

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**



TESIS:

**Sostenibilidad hídrica mediante estrategias de gestión ambiental
para el cultivo de palto en la quebrada saucillo, provincia
Lucanas, región Ayacucho, 2024**

Para optar el grado académico de:

**MAESTRA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN
GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR:

Bach. Jaquelin Rita YUPANQUI MONTOYA

ASESOR:

Msc. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres y a mi adorada hija Zeyneph Melany, por su incondicional comprensión y apoyo para poder realizarme como persona y como profesional.

A mis hermanos y familiares por todo el apoyo y sus amistades.

A ustedes que me han apoyado en el transcurso de mi vida les dedico este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo Poderoso, porque respiro, ando, camino, veo y porque me ha regalado un día más de vida. Todo lo bueno que tengo viene de ti.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por resguardarme en sus grandiosas aulas que inspiran superación.

A la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga que me permitió cumplir con una de mis metas académicas, a su plana de docentes y al personal administrativo.

A mi asesor el Msc. Ing. Jaime Bendezú Prado por su ensalzable labor de enseñanza y comprensión infinita, gestor del presente trabajo de investigación, quien incondicionalmente supo brindarme sus enseñanzas para la realización del mismo.

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática del uso ineficiente de los recursos hídricos en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, comunidad campesina de Lucanas, distrito de Lucanas, provincia de Lucanas, región Ayacucho; una zona donde el agua es fundamental para el desarrollo agrícola, especialmente para el cultivo de palto. La ausencia de estrategias adecuadas de gestión hídrica ha generado desequilibrios que afectan tanto a los productores como al ecosistema local. El objetivo principal fue evaluar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo mediante el análisis de estrategias de gestión ambiental aplicables al cultivo de palto. Para ello, se plantearon tres objetivos específicos: analizar la oferta y demanda hídrica para equilibrar las necesidades del cultivo, evaluar la calidad del agua para garantizar su aptitud, y simular escenarios de gestión ambiental que optimicen el uso del recurso hídrico, para lo cual se ha empleado una metodología de tipo de investigación descriptiva y explicativa, nivel de investigación es correlacional y el diseño de investigación es no experimental y transversal con una población conformada por todos los cultivos de palto que dependen de la quebrada Saucillo y una muestra no probabilística (dirigida y/o conveniencia). Para la obtención de datos en esta investigación se recurrirá a la técnica del análisis documental y simulación de escenarios y para la recolección de datos se empleará las fichas de registro como instrumento, el cual servirá para la recopilación y organización sistemática de los datos. Los resultados mostraron que la oferta hídrica varía significativamente a lo largo del año, con meses críticos como junio, en los que la oferta es de 3,193.81 m³/mes, mientras que la demanda estimada del cultivo de palto que abarca cuatro hectáreas en producción continúa siendo alta, lo cual refleja una presión considerable sobre el recurso. Además, el análisis de calidad del agua indicó que, aunque la mayoría de parámetros están dentro de los límites aceptables para riego, el manganeso excede los valores recomendados, lo que requiere monitoreo continuo. Se concluyó que implementar estrategias de gestión hídrica, como sistemas de almacenamiento mínima de 6,000 m³ y riego tecnificado, es crucial para asegurar la disponibilidad del recurso en meses críticos. Asimismo, se recomienda un monitoreo constante de la calidad del agua y la aplicación de prácticas de conservación del suelo, con el fin de optimizar su uso y garantizar la sostenibilidad del cultivo de palto en el largo plazo.

Palabras Claves: Calidad del agua, Cambio climático, Demanda Hídrica, Oferta Hídrica, Sostenibilidad hídrica.

ABSTRACT

This study addresses the issue of inefficient water use in the Saucillo stream, located in the Huayo sector of the rural community of Lucanas, Lucanas district, Lucanas province, Ayacucho region—an area where water is essential for agricultural development, particularly for avocado cultivation. The lack of adequate water management strategies has created imbalances that affect both producers and the local ecosystem. The main objective was to assess water sustainability in the Saucillo stream by analyzing environmental management strategies applicable to avocado cultivation. To this end, three specific objectives were established: to analyze water supply and demand to balance the needs of the crop, to evaluate water quality to ensure its suitability, and to simulate environmental management scenarios that optimize water resource use. For this purpose, a descriptive and explanatory research methodology was employed; the research level is correlational, and the research design is non-experimental and cross-sectional with a population made up of all the avocado crops that depend on the Saucillo ravine and a non-probabilistic sample (directed and/or convenience). To obtain data for this research, the techniques of literature review and scenario simulation will be used, and data collection will employ data sheets as a tool, which will serve for the systematic compilation and organization of the data. The results showed that the water supply varies significantly throughout the year, with critical months such as June, in which the supply is 3,193.81 m³/month, while the estimated demand of the avocado crop covering four hectares in production continues to be high, reflecting considerable pressure on the resource. Furthermore, the water quality analysis indicated that, although most parameters are within acceptable limits for irrigation, manganese exceeds recommended values, requiring continuous monitoring. It was concluded that implementing water management strategies, such as storage systems with a minimum capacity of 6,000 m³ and precision irrigation, is crucial to ensuring the availability of the resource during critical months. Likewise, constant monitoring of water quality and the application of soil conservation practices are recommended in order to optimize water use and ensure the long-term sustainability of avocado cultivation.

Keywords: Water quality, Climate change, Water demand, Water supply, Water sustainability.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda el tema de la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, comunidad campesina de Lucanas, distrito y provincia de Lucanas, región Ayacucho. Esta área representa una zona estratégica para el desarrollo agrícola regional, especialmente en lo referente al cultivo de palto (*Persea americana*), cuya demanda hídrica ha aumentado considerablemente en los últimos años. En este contexto, el agua constituye un recurso indispensable para el desarrollo socioeconómico de las comunidades altoandinas; sin embargo, su uso ineficiente, la falta de estrategias de manejo sostenible y el impacto del cambio climático están deteriorando la disponibilidad y calidad del recurso.

En la región Ayacucho, las condiciones climáticas y geográficas dificultan la disponibilidad constante de agua superficial. Las actividades agrícolas dependen en gran medida de las fuentes naturales como ríos y quebradas, siendo la quebrada Saucillo una de las más importantes para el riego de cultivos frutales en el sector Huayo. La creciente expansión del cultivo de palto ha generado una presión significativa sobre este recurso, acentuando la necesidad de una gestión adecuada. A nivel nacional, el cultivo de palta ha adquirido gran relevancia económica: en 2023, el Perú exportó más de 599 mil toneladas de palta, generando ingresos por aproximadamente 963 millones de dólares, siendo los principales mercados Países Bajos, España, Estados Unidos y Chile (MIDAGRI, 2024). Esta expansión ha incentivado también su siembra en regiones como Ayacucho, donde existen programas de fomento productivo que benefician a comunidades rurales con potencial exportador.

Sin embargo, el crecimiento de la frontera agrícola sin planificación hídrica ha generado desequilibrios entre la oferta y demanda del recurso, afectando la sostenibilidad de los ecosistemas y de las actividades productivas locales. La falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento y distribución del agua, sumada a una débil cultura de monitoreo y control, contribuye a esta problemática. Además, el cultivo de palto es considerado una especie de alta demanda hídrica, lo que exige un análisis técnico riguroso de su viabilidad en territorios donde la oferta es limitada y variable estacionalmente.

Esta investigación se plantea como una contribución al desarrollo de estrategias de gestión ambiental que permitan evaluar y optimizar el uso del agua para el cultivo de palto en la quebrada Saucillo. Se enfoca en tres ejes fundamentales: (1) análisis de la oferta y demanda hídrica en la microcuenca, determinando periodos críticos y excedentarios; (2) evaluación de la calidad del agua para garantizar su aptitud para el riego agrícola, y (3) simulación de escenarios de gestión ambiental que permitan prever los efectos de diversas medidas, como la implementación de reservorios o el uso de sistemas de riego tecnificado. La metodología empleada parte de un enfoque cuantitativo, recurriendo al modelamiento hidrológico, análisis de series de tiempo, coeficientes de cultivo y simulación de escenarios. Los datos utilizados incluyen registros históricos de precipitación, caudal y parámetros fisicoquímicos del agua.

El documento está organizado en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, formulación de problemas, justificación e importancia, limitaciones del estudio y planteamiento de los objetivos de la investigación. El Capítulo II desarrolla el marco teórico, abordando los antecedentes de las investigaciones, bases teóricas conceptos como sostenibilidad hídrica, demanda agrícola, calidad de agua y gestión ambiental. El Capítulo III detalla el diseño metodológico, instrumentos y técnicas utilizadas. El Capítulo IV: Resultados y Discusión presenta los hallazgos principales, con un análisis crítico de los escenarios hídricos en relación con la expansión del cultivo de palta y su demanda a nivel local, regional y nacional. Finalmente, se incluye las conclusiones y recomendaciones orientadas a una gestión sostenible del agua en la quebrada Saucillo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	12
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Descripción de la situación problemática	13
1.2 Formulación del Problema.....	14
1.2.1 Problema General.....	14
1.2.2 Problemas Específicos.....	14
1.3 Justificación e Importancia	15
1.3.1 Justificación	15
1.3.2 Importancia	15
1.4 Limitaciones de la investigación	16
1.5 Objetivos de la investigación	16
1.5.1 Objetivo General	16
1.5.2 Objetivos Específicos	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes de la investigación	17
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	17
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	18
2.2 Bases teóricas	19
2.2.1. Cuencas Hidrográficas.....	19
2.2.2. Ciclo Hidrológico.....	32
2.2.3 Modelamiento Hidrológico.....	34
2.2.4. Sostenibilidad hídrica	35
2.2.5. Disponibilidad hídrica	36
2.2.6. Balance Hídrico.....	37
2.2.7. Oferta Hídrica	39

2.2.8. Demanda Hídrica.....	40
2.2.9. Precipitación	42
2.2.10. Temperatura	46
2.2.11. Caudal	47
2.2.12. Hidrograma	48
2.2.13. Calidad del Agua.....	49
2.2.14. Planeamiento estratégico y análisis FODA para la gestión ambiental hídrica	50
2.2.15. Gestión ambiental para el cultivo de palto	51
2.3. Marco legal	51
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	54
3.1. Tipo de investigación.....	54
3.2. Nivel de investigación	54
3.3. Diseño de investigación.....	54
3.4. Hipótesis de la investigación.....	55
3.4.1. Hipótesis general	55
3.4.2. Hipótesis específicas	55
3.5. Operacionalización de variables.....	55
3.6. Población y Muestra	57
3.6.1. Población	57
3.6.2. Muestra	57
3.7. Técnicas e Instrumentos de Investigación	58
3.7.1. Técnicas	58
3.7.2. Instrumentos.....	58
3.8. Técnicas estadísticas de recolección de datos.....	59
3.9. Desarrollo del trabajo	60
3.9.1. Descripción General de la Fuente de Agua	60
3.9.2. Calidad de Agua	62
3.9.3. Fisiográfica y morfológica del área de estudio	66
3.9.4. Parámetros de Forma.....	67
3.9.5. Resultados de la Geomorfología de la Cuenca	72
3.10. Análisis y Estimación de la Oferta Hídrica.....	73
3.10.1. Información hidrometeorológica.....	73
3.10.2. Análisis Pluviométrico de la Cuenca de Interés.....	73

3.10.3. Modelo para estimación de la oferta hídrica.....	84
3.11. Análisis y Estimación de la Demanda Hídrica.....	88
3.11.1. Modelo para estimación de la demanda hídrica.....	95
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	102
4.1. Sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo	102
4.1.1. Calidad del agua en la quebrada Saucillo.....	102
4.1.2. Simulación de escenarios de gestión ambiental.....	105
4.1.3. Análisis FODA y formulación de estrategias de gestión ambiental.....	114
4.1.4. Propuesta de infraestructura hídrica.....	117
4.2. Contratación de hipótesis de la investigación.....	119
4.3. Discusión de resultados	123
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de Operacionalización de Variables.....	56
Tabla 2 Rutas de ingreso al proyecto.....	61
Tabla 3 Criterios sugeridos para la vigilancia de la calidad de las aguas superficiales	62
Tabla 4 Parametros físicos, inorganicos, nutrientes y metales	64
Tabla 5 Índices del coeficiente de compactación.....	68
Tabla 6 Características Geomorfológicas de la microcuenca de Saucillo	72
Tabla 7 Conjunto de estaciones meteorológicas próximas a la cuenca en análisis	73
Tabla 8 Registro de Precipitación Promedio Total de la estación Pampa Blanca (mm)	74
Tabla 9 Registro de Precipitación Promedio Total de la estación Llauta	77
Tabla 10 Promedio total de lluvias registrado en la estación HUAC - HUAS	79
Tabla 11 Promedio de lluvias registrado en las diferentes estaciones	81
Tabla 12 Precipitación Regional Vs. Altitud	82
Tabla 13 Promedio de lluvias de la estación.....	82
Tabla 14 Oferta Hídrica estimada	86
Tabla 15 Programa y cronograma de siembra	89
Tabla 16 Coeficientes Kc para el cultivo.....	89
Tabla 17 Requerimiento de volumen total (m ³ /mes) – Cultivo de palto.....	93
Tabla 18 Parámetros mensuales de riego estimados para cultivo de Palto.....	97
Tabla 19 Demanda Hídrica estimada	99
Tabla 20 Demanda hídrica en el sector huayo (4 ha.	107
Tabla 21 Oferta Hídrica Mensual Actual vs. Oferta Hídrica Proyectada con Infraestructura (+20%).....	108
Tabla 22 Análisis FODA de la gestión hídrica en la quebrada Saucillo	115
Tabla 23 Matriz de estrategias derivadas del FODA	116
Tabla 24 Presupuesto de la estrategia resultante (Construcción de un reservorio de 6,000 m ³)	118
Tabla 25 Síntesis de la Contrastación Estadística para la Hipótesis General.....	120
Tabla 26 Resumen de Contrastación de Hipótesis para la Tesis.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Contorno y extensión de una cuenca</i>	22
Figura 2 <i>Clasificación de los niveles de ramificación de los cursos de agua</i>	23
Figura 3 <i>Categoría del Tipo de Flujo de Agua</i>	23
Figura 4 <i>Categoría de Flujo Superficial</i>	24
Figura 5 <i>Diversidad en una cuenca</i>	26
Figura 6 <i>Tipología de Climas</i>	30
Figura 7 <i>Tipología según Variantes de Humedad</i>	31
Figura 8 <i>Categorización Climática basada en la Evapotranspiración Potencial</i>	31
Figura 9 <i>Clasificación de Subtipos según el Comportamiento Térmico</i>	32
Figura 10 <i>Esquema de un sistema de recursos hídricos</i>	35
Figura 11 <i>Diagrama de Estimación de Balance Hídrico</i>	38
Figura 12 <i>Clasificación de las precipitaciones</i>	44
Figura 13 <i>Movimiento del agua que pasa a través de una sección transversal</i>	48
Figura 14 <i>Clasificación de hidrogramas según la inclinación de la cuenca</i>	49
Figura 15 <i>Localización del sitio de muestreo</i>	64
Figura 16 <i>Demanda Hídrica con cambio climático</i>	106
Figura 17 <i>Oferta Hídrica con Infraestructura</i>	109
Figura 18 <i>Predicción estimada de la Oferta Hídrica</i>	112

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

10.1 Descripción de la situación problemática

La problemática de esta investigación está vinculada a la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en la provincia de Lucanas, región Ayacucho, una zona caracterizada por su dependencia de los recursos hídricos para el desarrollo de actividades productivas, principalmente agrícolas. El agua, siendo un recurso natural indispensable para la vida y las actividades humanas, está siendo utilizada de manera ineficiente en la región, lo que genera una preocupación creciente sobre su disponibilidad a largo plazo. A pesar de su importancia, la gestión del agua en la quebrada Saucillo no ha seguido principios de sostenibilidad, lo que ha llevado a su sobreexplotación y al riesgo de agotamiento en ciertos periodos críticos, especialmente durante la temporada seca (Palomino y Serna, 2022).

Uno de los principales problemas es que la demanda hídrica para el cultivo de palto en esta región, ha aumentado significativamente en los últimos años, sin que se hayan implementado mecanismos adecuados para gestionar el recurso de manera sostenible. El proyecto de cultivo de cuatro hectáreas de palto en el sector de Huayo, por ejemplo, depende de la captación de agua de la quebrada Saucillo (Palomino y Serna, 2022). Este tipo de iniciativas productivas, aunque vitales para el sustento económico de los agricultores locales, están ejerciendo una presión considerable sobre el recurso hídrico. La falta de una gestión integrada que contemple tanto el aprovechamiento como la conservación del agua ha contribuido a la degradación del ecosistema acuático y ha puesto en riesgo la sostenibilidad a largo plazo de estas actividades.

Otro aspecto crucial en esta problemática es la escasa planificación de la distribución y el uso del agua en la región. La ausencia de estudios detallados sobre la oferta hídrica y la demanda de agua para el cultivo de palto ha llevado a una explotación desmedida del recurso. Además, la quebrada Saucillo no está clasificada como cuerpo de agua superficial bajo los estándares nacionales, lo que complica aún más la implementación de regulaciones claras para su manejo. Sin un monitoreo adecuado de la calidad y cantidad de agua, los agricultores dependen de estimaciones imprecisas que no garantizan la sostenibilidad del recurso en el mediano y largo plazo.

Este escenario plantea la necesidad de implementar estrategias de gestión ambiental que promuevan el uso racional del agua y aseguren su disponibilidad para las generaciones futuras. La presente investigación busca abordar esta problemática mediante un análisis integral de la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo. Se pretende evaluar la oferta y demanda hídrica en la zona, con el fin de proponer medidas que permitan una distribución equitativa y sostenible del recurso, sin comprometer la productividad agrícola. Además, se busca implementar un balance hídrico que permita una mejor planificación del uso del agua y garantizar que las actividades productivas no perjudiquen el ecosistema.

La falta de estrategias de gestión eficientes ha generado desequilibrios que no solo afectan a los productores, sino también a los ecosistemas locales. Los agricultores enfrentan problemas relacionados con la reducción de la disponibilidad de agua durante ciertos periodos, lo que compromete la viabilidad de sus proyectos. Ante esta situación, es imperativo desarrollar un enfoque de gestión que considere la protección de las fuentes hídricas, la implementación de sistemas de riego tecnificados y la aplicación de tecnologías que optimicen el uso del recurso. Solo a través de estas medidas será posible garantizar la sostenibilidad hídrica y el desarrollo económico de los pequeños productores en la quebrada Saucillo.

10.2 Formulación del problema

10.2.1 Problema general

¿De qué manera las estrategias de gestión ambiental pueden mejorar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, para garantizar el uso eficiente del agua en el cultivo de palto?

10.2.2 Problemas específicos

- a. ¿De qué manera se puede equilibrar la oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo según clasificación de la Autoridad Nacional del Agua – ANA para satisfacer los requerimientos del cultivo de palto?

- b. ¿De qué manera la calidad del agua en la quebrada Saucillo influye en su aptitud para el cultivo de palto?
- c. ¿De qué manera los escenarios de gestión ambiental optimizan el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto?

10.3 Justificación e importancia de la investigación

10.3.1 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica debido a la necesidad de lograr un equilibrio sostenible entre la oferta y la demanda hídrica en la quebrada Saucillo, recurso vital para el cultivo de palto en el distrito de Lucanas. La ineficiencia en el manejo del recurso amenaza el desarrollo económico local y la conservación del ecosistema. Además, esta situación repercute directamente en el bienestar social de los productores, quienes dependen del agua para asegurar su productividad, ingresos y calidad de vida. Por ello, proponer estrategias de gestión ambiental hídrica permitirá optimizar el uso del agua, reducir conflictos por escasez, y promover una mejor calidad de vida en las comunidades agrícolas de la zona. La investigación se enmarca también en el contexto del cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales, lo que exige una gestión eficiente e inclusiva.

10.3.2 Importancia de la investigación

Esta investigación es importante porque aborda la sostenibilidad hídrica en una región vulnerable, donde el recurso agua es crucial para el desarrollo económico y social. Los resultados del estudio proporcionarán una base científica para mejorar la gestión del agua, contribuyendo a la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales y los productores agrícolas. Además, al garantizar un uso eficiente del agua, la investigación promoverá la conservación del ecosistema de la quebrada Saucillo, protegiendo así la biodiversidad y asegurando la disponibilidad de agua para futuras generaciones.

10.4 Limitaciones de la investigación

- La quebrada Saucillo se encuentra en una región con acceso limitado, lo que puede restringir las visitas de campo para la investigación.
- La investigación puede verse afectada por la variabilidad climática, que podría influir en la precisión de las simulaciones y modelos utilizados para estimar la oferta hídrica.
- Los resultados de esta investigación están específicamente orientados a las condiciones hidrológicas de la quebrada Saucillo en la provincia de Lucanas, región Ayacucho.
- Debido a las particularidades del área de estudio, como su clima, topografía y el tipo de cultivo, los hallazgos y conclusiones pueden no ser aplicables ni reflejarse de manera directa en otras regiones o cuencas con características diferentes.

10.5 Objetivos de la investigación

10.5.1 Objetivo general

Evaluar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, mediante el análisis de estrategias de gestión ambiental aplicables al cultivo de palto.

10.5.2 Objetivos específicos

- a. Analizar la oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo, utilizando registros de clasificación establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para determinar el equilibrio necesario para satisfacer los requerimientos del cultivo de palto.
- b. Analizar la calidad del agua en la quebrada Saucillo para asegurar su aptitud en el cultivo de palto.
- c. Simular escenarios de gestión ambiental para optimizar el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

11.1 Antecedentes de la investigación

11.1.1 Antecedentes internacionales

Hernández (2024) en su tesis *“Análisis de las estrategias de mitigación y gestión ambiental en la región del macizo colombiano y la subzona hidrográfica de Bogotá: Un estudio de caso en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)”*, tuvo como objetivo fortalecer la capacidad de respuesta de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en la región, brindando apoyo en la elaboración de análisis de escenarios climáticos, jerarquización de impactos ambientales, y evaluación de proyectos con licencia ambiental. La metodología incluyó el diseño de procedimientos para prevenir escenarios climáticos, la creación de un sistema jerárquico para clasificar impactos ambientales, y el desarrollo de recursos técnicos y cartográficos. Los resultados destacaron la identificación de 32 categorías de impacto ambiental en proyectos licenciados, facilitando una mejor toma de decisiones y optimización de los recursos para la mitigación de impactos críticos.

Carreño y Quintero (2022) en su tesis *“Análisis de la sostenibilidad hídrica de las dos microcuencas la zapatoca y el ramo que abastecen al municipio de zapatoca, santander, por medio de la metodología de la huella hídrica”*, tuvieron como objetivo determinar la sostenibilidad hídrica del municipio de Zapatoca, Santander, mediante el cálculo de la huella hídrica y el análisis de los recursos de las microcuencas que abastecen la región. La metodología incluyó la recopilación de datos climáticos, geográficos y socioeconómicos, así como la utilización de software como ARGIS y Cropwat para calcular la huella hídrica. Los resultados revelaron que el sector agrícola es el mayor consumidor de agua en el municipio y que la oferta hídrica de las microcuencas no es suficiente para satisfacer la demanda, especialmente en los meses críticos de enero, febrero, noviembre y diciembre.

Gárate et al. (2023) en su artículo *“Gobernanza del agua: un análisis sistemático de desafíos, temáticas y propuestas para una gestión hídrica sostenible”*, tuvieron como objetivo realizar un análisis sistemático de la gobernanza del agua, identificando los desafíos, temáticas y propuestas para una gestión hídrica sostenible. La metodología

consistió en una revisión de la literatura científica disponible en bases de datos como Scopus, SciELO y ScienceDirect, evaluando artículos relevantes sobre gobernanza del agua en diferentes regiones del mundo. Se utilizó un enfoque cualitativo para organizar y categorizar los temas más investigados. Los resultados destacaron la centralización y fragmentación en la gestión del agua, la necesidad de fortalecer capacidades técnicas, y la importancia de integrar la gestión del agua con la planificación. El estudio concluyó que existe una relación directa entre la gobernanza y la gestión eficiente del agua.

11.1.2 Antecedentes nacionales

Loayza (2022) en su tesis *“Evaluación del proyecto de gestión ambiental e infraestructura-PROGAISH en la microcuenca Huancaro Santiago, sub cuenca del Rios Huatanay-Cusco”*, tuvo como objetivo evaluar el impacto urbano-ambiental del Proyecto de Gestión Ambiental e Infraestructura (PROGAISH) en la microcuenca Huancaro, parte de la subcuenca del río Huatanay en Cusco. La metodología incluyó entrevistas, encuestas y trabajo de campo, permitiendo recopilar información directa y comparar las condiciones del área antes, durante y después del proyecto. Se emplearon fotografías y fichas de observación para evaluar el encauzamiento del río, la cobertura vegetal, y la percepción de los beneficiarios en cuanto a la educación y conciencia ambiental. Los resultados mostraron mejoras significativas en la recuperación del cauce del río, la reforestación y la sensibilización de la población, estableciendo a PROGAISH como un modelo de gestión ambiental sostenible en la región.

Lamadrid y Ninalaya (2020) en su tesis *“Sostenibilidad hídrica de la laguna Yanacocha al 2030 con relación al abastecimiento de la población de Carhuamayo, Junín, 2020”*, tuvieron como objetivo analizar la sostenibilidad hídrica de la laguna Yanacocha, considerando la oferta y demanda de agua, y evaluar la cultura del agua en la comunidad de Carhuamayo. La metodología incluyó un enfoque mixto, utilizando datos cuantitativos para generar una línea base sobre la oferta y demanda hídrica, y datos cualitativos para analizar el nivel de conciencia ambiental. Se realizaron procedimientos como el reconocimiento de la zona, toma de muestras de agua y suelo, y encuestas a la población. Los resultados mostraron que, a pesar de la baja contaminación antrópica, es necesario implementar acciones educativas para mejorar la gestión del recurso hídrico y fortalecer la cultura del agua en la comunidad.

Jara y Mendoza (2019) en su tesis “*Análisis de sostenibilidad de los sistemas de agua potable del distrito de Jesús-Cajamarca, 2018*”, tuvo como objetivo analizar la sostenibilidad de los sistemas de agua potable del distrito de Jesús, Cajamarca, en 2018. La metodología incluyó la aplicación de encuestas y observación directa de los sistemas de agua potable, utilizando la metodología de la Escuela Piloto de Acreditación en Agua y Saneamiento (EPILAS). Se evaluaron diferentes indicadores, como cobertura, calidad del agua, estado de la infraestructura y gestión de los servicios. Los resultados indicaron que el 80% de los sistemas evaluados presentaban un nivel de sostenibilidad medianamente sostenible, mientras que el 20% restante mostraba un buen estado. Sin embargo, se identificaron deficiencias en la capacitación de la JASS, lo que compromete la sostenibilidad a largo plazo.

11.2 Bases teóricas

2.2.1. Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrológicas se identifican como unidades de relieve compuestas por redes de ríos y acuíferos subterráneos. La particularidad de su forma y simetría en el relieve, a menudo distinta de la geología subyacente, puede dar lugar a sistemas subterráneos que desvían el curso de los flujos superficiales hacia otras regiones hidrográficas. Este fenómeno, denominado “Cuenca Hidrológica”, adquiere relevancia en la evaluación de balances de agua, destacando la necesidad de comprender las dinámicas internas de estas cuencas (Sánchez, 2022). Esta comprensión es esencial, ya que, en ocasiones, se realizan balances hídricos sin considerar los intercambios de agua entre cuencas contiguas. Según World Vision (2004), una cuenca hidrográfica se puede considerar hidrogeológica cuando no se observan transferencias significativas de agua subterránea entre ellas, permitiendo que las divisiones topográficas que separan los flujos superficiales actúen también como barreras para los flujos subterráneos entre cuencas vecinas, situación frecuente en cuencas de grandes dimensiones que superan los 1000 o 2000 km².

Una cuenca hidrográfica se entiende como una zona geográfica delimitada por contornos naturales, donde el agua se recoge y fluye hacia un punto de salida común. Esta región, rica en elementos naturales, es vital para la vida humana y animal, influenciada

tanto por el ciclo del agua como por las costumbres y la interacción de sus habitantes con el entorno. Su constante transformación y equilibrio dependen directamente de las acciones humanas, que pueden contribuir a su preservación o degradación. Se distingue por estar rodeada de montañas y colinas, donde se organiza un sistema de drenaje que converge hacia un río principal, el cual eventualmente desemboca en un mar, lago u otro río. La identificación de estas áreas puede realizarse en mapas topográficos, siguiendo el límite que separa las aguas. En ella se encuentran recursos como el suelo, agua y vegetación, y constituye el espacio donde la humanidad despliega sus actividades. Cualquier infraestructura o intervención humana ocurre dentro de una cuenca hidrográfica, siendo un concepto que abarca cada rincón del planeta (Faustino y Jiménez, 2000).

11.2.1.1 Manejo integrado de cuencas hidrográficas

La gestión integral de cuencas fluviales se define como una estrategia enfocada en el uso, administración y conservación de los recursos naturales dentro de estas áreas, considerando las demandas de las comunidades humanas. Este método intenta lograr un equilibrio adecuado entre la equidad social, la sostenibilidad ambiental, la rentabilidad económica y el crecimiento sostenible (Faustino y Jiménez, 2000).

Este método favorece un balance entre las distintas maneras de utilizar los recursos naturales y el impacto que estos usos generan en su conservación a largo plazo. Esto requiere una colaboración estructurada entre los recursos naturales y las poblaciones que residen en la cuenca, lo cual implica combinar conocimientos tanto de las ciencias naturales como de las sociales. Se promueve una visión holística, interdisciplinaria y multidimensional, incentivando una participación activa de la comunidad en todas las etapas del proceso, desde la planificación y toma de decisiones hasta la implementación, seguimiento y evaluación. Así, la gestión de cuencas impulsa el desarrollo de capacidades locales que aseguren una colaboración efectiva y significativa de todos los participantes (Faustino y Jiménez, 2000).

11.2.1.2 Gestión de recursos hídricos en cuencas hidrográficas

La gestión de los recursos acuáticos en áreas de captación requiere una labor organizada de planificación, desarrollo y administración del agua y del suelo dentro de una región hidrográfica. Este proceso busca maximizar los beneficios económicos y sociales de manera equitativa, sin comprometer la integridad de los ecosistemas esenciales. Incluye la gestión integrada de aguas superficiales y subterráneas, la conservación de los ecosistemas, la prevención de la contaminación y el fomento de un consumo responsable de agua en sectores como la agricultura, la industria y el uso doméstico. Para lograr una gestión eficiente de los recursos hídricos en las cuencas, es fundamental la colaboración entre múltiples sectores y disciplinas, así como la participación activa de la comunidad, asegurando un uso sustentable del agua que la preserve para las futuras generaciones (Faustino y Jiménez, 2000).

11.2.1.3 Parámetros de una Cuenca Hidrográfica

Los elementos de una cuenca se dividen en tres categorías clave: La inicial abarca los aspectos físicos vinculados a la estructura de la cuenca, prestando especial atención a su fisiografía. Los otros dos grupos se concentran fundamentalmente en las particularidades del relieve, como la inclinación y la elevación (Baldeon, 2016).

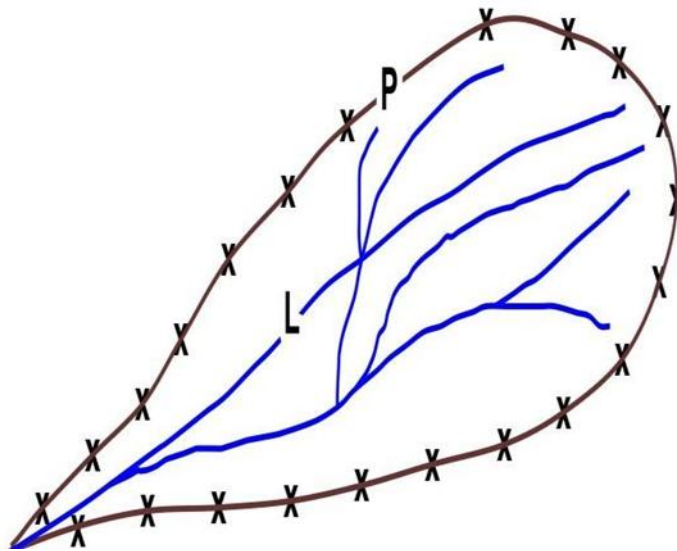
A. Dimensiones lineales. Estos elementos describen las características físicas de las cuencas, incluyendo sus dimensiones morfológicas, así como aspectos lineales y de superficie, usualmente expresados en metros o kilómetros.

- **Perímetro:** Es la medida total del límite topográfico de la cuenca, tomada desde el punto de salida o zona específica de interés en el cauce principal (Remenieras, 1974; Linsley, 1977).
- **Longitud del Cauce Principal (Lc):** Indica la distancia del cauce principal, desde el sitio de unión con el río receptor hasta su origen cercano a la divisoria de aguas. Al agregarle la longitud de los cauces secundarios (Lcs), se obtiene la longitud total de los cauces (Ltc). Este valor es esencial para calcular el tiempo de concentración y tiene gran influencia en la

mayoría de los índices morfométricos. Se mide utilizando el mapa digital de la red hidrográfica (Linsley, 1977).

Figura 1

Contorno y extensión de una cuenca



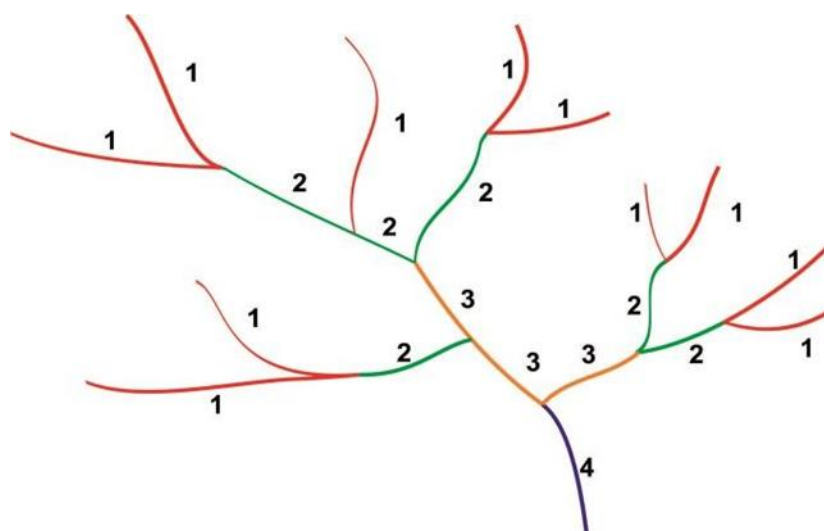
Nota. Tomado de (Baldeon, 2016).

- **Longitud Axial (L_a):** Es la mayor distancia medida en línea recta desde un extremo al otro de la cuenca, siguiendo su eje más largo.
- **Ancho Medio (A_m):** Se refiere al promedio del ancho de la cuenca, calculado a partir de mediciones en varios puntos a lo largo de su extensión. También puede obtenerse dividiendo el área total de la cuenca entre su longitud principal.
- **Longitud Total de Curvas de Nivel:** Indica la suma total de las longitudes de todas las curvas de nivel presentes en el área de la cuenca.
- **Orden de Corrientes:** Define el grado de ramificación o complejidad de los cursos de agua en una cuenca. Según Horton (1945), se asigna primer nivel a los cursos sin afluentes; el segundo nivel a los que reciben afluentes de primer nivel; y el tercer nivel a aquellos con dos o más afluentes de

segundo nivel o inferior. Así, el nivel del curso principal indica el grado de ramificación y la extensión de la red fluvial en la cuenca.

Figura 2

Clasificación de los niveles de ramificación de los cursos de agua



Nota. Tomado de (Baldeon, 2016).

La determinación del nivel de las corrientes se efectúa agrupando los cursos de agua según su grado de ramificación. Una corriente se clasifica como de primer nivel cuando no cuenta con afluentes. Cuando dos corrientes de primer nivel se combinan, generan una corriente de segundo nivel. De igual manera, la unión de dos corrientes de segundo nivel forma una de tercer nivel, y este patrón continúa en los niveles siguientes (Baldeon, 2016).

Figura 3

Categoría del Tipo de Flujo de Agua

Rango de Orden	Tipo de Clase
1 a 2	Bajo
2 a 4	Medio
> 6	Alto

Nota. Tomado de (Baldeon, 2016).

- **Cantidad de Escurrimiento:** Hace referencia al total de cursos de agua naturales presentes en la cuenca. Este valor se obtiene mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) al contabilizar los segmentos de corrientes en el mapa digital. Este recuento actúa como un indicador del potencial hídrico de la cuenca, su capacidad para recolectar agua y la magnitud de su red fluvial. Un mayor número de afluentes optimiza el sistema de drenaje, facilitando el flujo hídrico. Los datos correspondientes al número de afluentes están organizados en la tabla que se presenta a continuación.

Figura 4

Categoría de Flujo Superficial

Rango de Escurrimiento	Tipo de Clase
0 a 170	Bajo
171 a 340	Medio
341 a 510	Alto

Nota. Tomado de (Baldeon, 2016).

B. Superficiales. Las superficies se calculan empleando instrumentos como el planímetro, métodos de mallas de puntos, técnicas de integración, descomposición en figuras geométricas, o dispositivos digitales de captura. Estas mediciones suelen expresarse en hectáreas (ha) o kilómetros cuadrados (km²) (Remenieras, 1974).

- **Área de la Cuenca:** Representa el tamaño total de la cuenca, expresado en kilómetros cuadrados (km²), y equivale al área encerrada dentro de sus límites topográficos proyectada sobre un plano horizontal. Este valor se determina automáticamente mediante la creación de polígonos digitales en sistemas de información geográfica (SIG). Cabe destacar que el estudio de cuencas, independientemente de su escala, no sigue siempre los mismos criterios. En cuencas pequeñas, la forma y el volumen de escurrimiento dependen principalmente de las características físicas del terreno,

requiriendo un enfoque hidrológico enfocado en la propia cuenca. En cuencas de mayor tamaño, la capacidad de retención del cauce es un factor esencial, requiriendo un análisis minucioso de las propiedades del mismo (Tetuno, 1993).

11.2.1.4 Variables morfológicas de una cuenca

A. Densidad de drenajes (D_d)

La densidad de drenaje se refiere a la cantidad de canales fluviales por unidad de superficie dentro de una cuenca, siendo un indicador esencial para evaluar la complejidad y el grado de desarrollo de su red de drenaje. Un valor alto de densidad de drenaje sugiere una red hidrográfica más intrincada o una mayor capacidad de erosión (Gregory y Walling, 1973).

Este indicador vincula la forma de la cuenca con los procesos hídricos que tienen lugar a lo largo de sus cauces. La densidad de drenaje, por lo tanto, refleja diversos factores como la topografía, la composición geológica, el tipo de suelo, la vegetación, y también los efectos de la actividad humana en la zona (Gregory y Walling, 1973).

Se expresa en kilómetros por kilómetro cuadrado (km/km^2) y se calcula dividiendo la longitud total de los cauces de agua dentro de la cuenca por el área total de ésta.

$$D_d = Ltc/A \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

Ltc : Longitud de las corrientes efímeras e intermitentes de la cuenca (Km).

A : Área de la cuenca (km^2)

(Gregory y Walling, 1973).

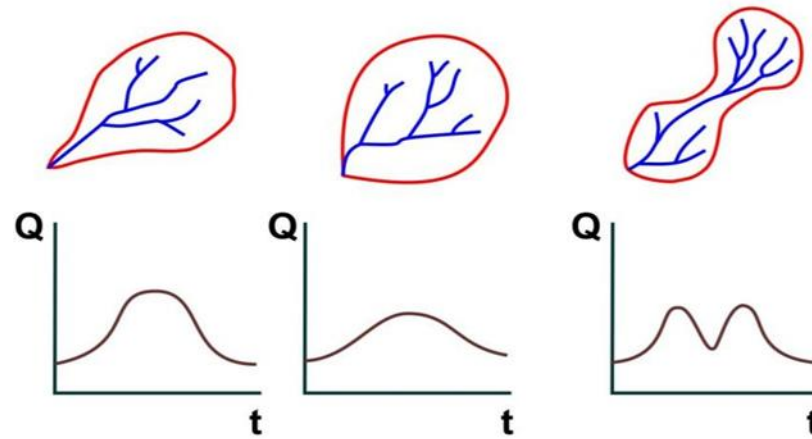
B. Variación en la formación de una cuenca

Dos cuencas de igual tamaño y perímetro pueden tener configuraciones distintas, lo cual influye en cómo se comportan respecto a la formación de

crecidas. Para estudiar estas diferencias entre cuencas, se utilizan diversos índices (Baldeon, 2016).

Figura 5

Diversidad en una cuenca



Nota. Tomado de (Baldeon, 2016).

- **Coefficiente de compacidad (K_c):** Este parámetro compara la forma de una cuenca con la de un círculo que posee la misma área que la cuenca analizada. El valor de K_c , se obtiene calculando la relación entre el perímetro de la cuenca, es decir, la longitud de su límite divisorio, y el perímetro de un círculo de igual superficie (Gregory y Walling, 1973). Las cuencas con una geometría más próxima a la circular presentan una mayor capacidad para concentrar el flujo superficial. En contraste, las cuencas más alargadas suelen ser más vulnerables a inundaciones cuando las precipitaciones avanzan hacia su zona baja. La fórmula para este índice es la siguiente:

$$K_c = 0.28 P/\sqrt{A} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

K_c = Representa el coeficiente de Compacidad

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca

- **Coeficiente de forma (K_f):** Este índice se obtiene calculando la relación entre el área total de la cuenca y su longitud principal, que es la distancia que va desde el punto de salida hasta el punto más lejano de la cuenca (Baldeon, 2016). El cálculo del índice de configuración se realiza de la siguiente forma:

$$K_f = A/(La^2) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

A = Área de la cuenca

La = Longitud axial

Este índice evalúa la forma de la cuenca en relación a un cuadrado, donde se asigna un valor de $K_f = 1$ a aquellas áreas que hipotéticamente se asemejan a esta figura. Un K_f superior a uno revela cuán más extendida es la cuenca o qué tan corto es el río principal. Así, una cuenca con un K_f alto tiende a concentrar el agua de precipitaciones intensas con mayor rapidez, lo que facilita la aparición de inundaciones importantes (Baldeon, 2016).

- **Índice de elongación (I_a):** Este índice, propuesto por Horton (1945), establece una relación entre la longitud máxima de la cuenca, medida siguiendo el curso principal del río, y el ancho máximo de la misma, evaluado de forma perpendicular (Baldeon, 2016). Su cálculo se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$I_a = L_m/l \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

I_a = Representa el índice de alargamiento de la cuenca

L_m = Longitud máxima

l = Ancho máximo

- **Coeficiente de masividad (K_m):** Este índice refleja la relación entre la elevación promedio de la cuenca y su superficie total.

$$K_m = \frac{\text{(Elevación de la cuenca (m))}}{\text{(Área de la cuenca (km } ^2 \text{))}}$$

Ecuación (5)

C. Relieve de la cuenca

La forma del terreno en una cuenca se representa mediante la curva hipsométrica y se analiza a través de distintos indicadores que relacionan la elevación con la superficie de la cuenca. Entre estos indicadores sobresalen el rectángulo equivalente, la altura media de la cuenca y la inclinación promedio.

- **Altitud promedio de la cuenca (H):** La altitud promedio (H) de la cuenca es fundamental, ya que influye en los niveles de precipitación, las pérdidas de agua por evaporación y transpiración, y, en consecuencia, en el flujo promedio de agua. Esta altura se obtiene midiendo el área contenida entre distintas curvas de nivel dentro de la cuenca. En el punto de altura media, el área total se divide de modo que el 50% queda por encima y el otro 50% por debajo de esta altitud (Tetuno, 1993).
- **Rectángulo equivalente:** Este parámetro de relieve se define a través de una transformación geométrica que determina las dimensiones de un rectángulo (lados mayor y menor) con área y perímetro iguales a los de la cuenca (Tetuno, 1993).

$$L \times l = A \text{ (km } ^2 \text{)}$$

$$2(L + l) = P \text{ (Km)}$$

Ecuación (6)

Donde:

L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

l = Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)

D. Clasificación climática

La clasificación del clima se basa en la fórmula de Thornthwaite, que considera la temperatura y la precipitación como las principales variables climáticas. A través de estas, se calcula la Evapotranspiración Potencial (ETP) y se elabora el Balance Hídrico, que permite identificar períodos de excedente o déficit de agua, elementos cruciales para caracterizar el clima (Thornthwaite, 1948).

El método de clasificación climática de Thornthwaite se representa mediante una combinación de cuatro letras y algunos subíndices. Las dos primeras letras, en mayúsculas, representan el “Índice de humedad” y la “Eficiencia térmica” de la región. Las dos últimas, en minúsculas, reflejan la “Variabilidad estacional de la humedad” y la “Distribución térmica durante el verano” (Thornthwaite, 1948).

- **Índice de humedad:** El coeficiente de humedad de acuerdo con Thornthwaite se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$I_h = I_E - 0.6I_D \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

I_E = Índice de exceso, que se calcula por la siguiente expresión:

$$I_E = E/ETP \times 100$$

I_D = Índice de déficit, que se calcula por la siguiente expresión:

$$I_D = D/ETP \times 100$$

- **Evaluación de la eficiencia térmica:** Según Thornthwaite (1948), la evapotranspiración potencial (ETP) se considera un indicador de la efectividad térmica. La suma de las evapotranspiraciones potenciales promedios mensuales se emplea para analizar la eficiencia térmica del clima en cuestión.
- **Análisis de la variabilidad estacional de la humedad:** Es relevante reconocer la aparición de intervalos secos en zonas de clima húmedo y, de manera contraria, intervalos húmedos en áreas de clima seco.

- **Determinación de la acumulación térmica estival:** Se obtiene sumando la ETP de los meses correspondientes al verano y contrastándola con la ETP anual total, expresando el resultado en forma de porcentaje.

$$C_v = \frac{[ETP]_{\text{verano}}}{[ETP]_{\text{anual}}} \times 100 \quad \text{Ecuación (8)}$$

Los parámetros para distinguir los diversos tipos de regímenes de agua se fundamentan en los valores derivados del índice de humedad. Estos se representan mediante letras mayúsculas sin acento. En la tabla 6, se presenta la clasificación climática basada en el Índice de Humedad.

Figura 6

Tipología de Climas

PROVINCIAS DE HUMEDAD		
Clasificación según Índice Hídrico		
TIPO	Índice de Pluvial	CLIMA
A	> a 100	Super húmedo
B4	80 a 100	Muy húmedo
B3	60 a 80	Húmedo
B2	40 a 60	Moderadamente húmedo
B1	20 a 40	Ligeramente húmedo
C2	0 a 20	Semi-húmedo
C1	(-20) a 0	Semi-seco
D	(-40 a -20)	Seco
E	(-60 a -40)	Arido

Nota. Tomado de (Thorntwaite, 1948).

Estas áreas húmedas se clasifican de acuerdo con el patrón de precipitación anual, analizando si presentan un déficit o un exceso de agua. Los subgrupos de humedad se identifican con letras minúsculas sin acento, cuya interpretación se describe en la tabla 7.

Figura 7*Tipología según variantes de humedad*

SubClasificación de Humedad según Índice de Exceso e Índice de Déficit		
SUB-TIPO	Índice de Exceso (%)	CLIMA SECO (por exceso de agua)
w'2	> 20	Exceso grande en invierno
s'2	> 20	Exceso grande en verano
w'	10 a 20	Exceso moderado en invierno
s'	10 a 20	Exceso moderado en verano
d	0 a 10	Poco o ningún exceso
SUB-TIPO	Índice de Déficit (%)	CLIMA HUMEDO (por falta de agua)
w2	> 33.3	Déficit grande en invierno
s2	> 33.3	Déficit grande en verano
w	16.7 a 33.3	Déficit moderado en invierno
s	16.7 a 33.3	Déficit moderado en verano
r	0 a 16.7	Déficit pequeño o ninguno

Nota. Tomado de (Thornthwaite, 1948).

En la categorización térmica que utiliza la evapotranspiración potencial como base, esta no se emplea como un índice hidrológico, sino como un parámetro influenciado por la temperatura solar promedio. Para distinguir entre las distintas categorías térmicas, se asignan letras mayúsculas con acentos. La tabla 8 ilustra la distribución de las clasificaciones térmicas en relación con la evapotranspiración.

Figura 8**Categorización climática basada en la evapotranspiración potencial**

PROVINCIAS TERMICAS		
Provincias Térmicas según Índice de Evapotranspiración Potencial		
TIPO	Eto (cm)	CLIMA
A'	> a 114.0	Cálido
B'4	99.7 a 114.0	Semicálido
B'3	85.5 a 99.7	Templado cálido
B'2	71.2 a 85.5	Templado frío
B'1	57.0 a 71.2	Semi frío
C'2	42.7 a 57.0	Frío moderado
C'1	28.5 a 42.7	Frío acentuado
D'	14.2 a 28.5	De tundra
E'	< a 14.2	Helado

Nota. Tomado de (Thornthwaite, 1948).

Estas clases climáticas se subdividen tomando en cuenta el patrón anual de temperatura, enfocándose en el porcentaje de acumulación de calor durante el año, particularmente en la estación estival o de verano, cuya interpretación se describe en la tabla 9.

Figura 9

Clasificación de subtipos según el comportamiento térmico

SubClasificación de Provincias Térmicas	
SUB-TIPO	Concentración Estival (Base % Eto del Verano)
d'	> 88.0
c'1	76.3 a 88.0
c'2	68.0 a 76.3
b'1	61.6 a 68.0
b'2	56.3 a 61.6
b'3	51.9 a 56.3
b'4	48.0 a 51.9
a'	< a 48.0

Nota. Tomado de (Thorntwaite, 1948).

2.2.2. Ciclo hidrológico

El ciclo del agua describe el movimiento incesante y dinámico del agua a través de diversas esferas de la Tierra, incluyendo la atmósfera, la superficie terrestre y los cuerpos de agua, para finalmente retornar a la atmósfera. Este ciclo abarca varias fases interconectadas: la evaporación del agua de fuentes como océanos, ríos, lagos y suelos; la formación de nubes mediante la condensación del vapor de agua; la precipitación en forma de lluvia, nieve o granizo que cae a la superficie; la acumulación de agua en lagos, ríos y suelos; el desplazamiento del agua a través de corrientes superficiales, y su eventual retorno a la atmósfera por medio de la evaporación. Este proceso continuo es impulsado principalmente por la radiación solar, que calienta el agua para su evaporación, y la fuerza de la gravedad, que regula tanto la precipitación como el movimiento de las aguas superficiales (Baldeon, 2016).

Es crucial subrayar que la velocidad y las características de cada fase pueden ser variables y difíciles de prever con exactitud en términos de tiempo y ubicación. A lo largo de este recorrido, las propiedades del agua pueden experimentar transformaciones

significativas. Como describen Chow et al. (1988), este ciclo complejo refleja la interdependencia y la interacción de los sistemas naturales del planeta, mostrando cómo el agua conecta y sostiene diversos procesos geofísicos y biológicos. Las principales fases de este ciclo se detallan a continuación:

A. Evaporación: El término “evapotranspiración” se emplea para referirse al proceso mediante el cual el agua se transforma en vapor, tanto desde los cuerpos de agua como los océanos y la tierra, así como por la transpiración de los organismos vivos, como las plantas. Esta expresión agrupa ambos fenómenos, ya que es complejo determinar con precisión cuánto vapor proviene de la evaporación y cuánto de la transpiración. Aproximadamente el 10% del agua que asciende a la atmósfera proviene de los seres vivos, particularmente de las plantas. Además, también se produce sublimación, especialmente en áreas cubiertas por hielo, como los glaciares, lo cual, aunque representa una pequeña fracción, forma parte del ciclo hidrológico (Vásquez, 2000).

B. Precipitación: El agua en la atmósfera se libera por medio de procesos como la condensación, lo que da lugar a fenómenos como la lluvia y el rocío, o a través de la deposición del vapor de agua, como ocurre con la nieve y la escarcha. , según las condiciones climáticas. Estas formas de precipitación pueden acumularse tanto en el suelo como en otras superficies terrestres. La gravedad es la responsable de que la lluvia, la nieve y el granizo (que se genera cuando las gotas de agua se congelan durante su caída) lleguen al suelo. Por otro lado, el rocío y la escarcha se forman directamente sobre las superficies debido a una transición directa de estado (Vásquez, 2000).

C. Infiltración: Este fenómeno ocurre cuando el agua que llega a la superficie terrestre se filtra a través de los poros del suelo, convirtiéndose en agua subterránea. La cantidad de agua que se infiltra, en contraste con la que fluye por la superficie (escorrentía), depende de diversos factores, como la capacidad de absorción del suelo, la inclinación del terreno, que puede dificultar la infiltración, y la presencia de vegetación. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por medio de la evaporación o, en mayor medida, a través de la transpiración de las plantas, cuyas raíces, largas y profundas, absorben el agua. Además, una porción

del agua subterránea se almacena en acuíferos, estructuras que pueden retener el agua tanto en reposo como en movimiento. En ciertos casos, el agua subterránea aflora en la superficie cuando los acuíferos, debido a las características del terreno, se encuentran con el nivel del suelo (Vásquez, 2000).

D. Escorrentía: Este concepto describe las distintas maneras en que el agua líquida se desplaza por la superficie terrestre, descendiendo por pendientes y formando corrientes visibles. En áreas con climas predominantemente áridos, como los desiertos, este flujo es un factor geológico clave en la erosión del suelo y el transporte de materiales sedimentarios. El agua que se desplaza de esta manera erosiona el terreno y arrastra consigo partículas y fragmentos de roca, creando canales, surcos y otros accidentes geográficos. A pesar de que en estas regiones las precipitaciones pueden ser escasas, la intensidad de las lluvias, cuando ocurren, favorece que grandes volúmenes de agua se movilicen rápidamente por la superficie, amplificando su capacidad erosiva. La escorrentía no solo moldea el paisaje, sino que también contribuye a la redistribución de los sedimentos a través de diversos procesos, como el arrastre y la acumulación en áreas más bajas, lo que resulta en la formación de nuevas características geológicas. Este fenómeno es particularmente importante en zonas desérticas, donde el suelo es menos permeable, aumentando la velocidad y el impacto del agua en movimiento, a diferencia de otras áreas con mayor capacidad de infiltración (Vásquez, 2000).

11.2.3 Modelamiento hidrológico

Oropeza (1990) define los modelos hidrológicos como representaciones simplificadas de sistemas hidrológicos reales, diseñadas para analizar las relaciones de causa y efecto en una cuenca a través del estudio de los datos de entrada y salida. Estos modelos permiten simular y prever el comportamiento de los procesos físicos que ocurren en el interior de la cuenca.

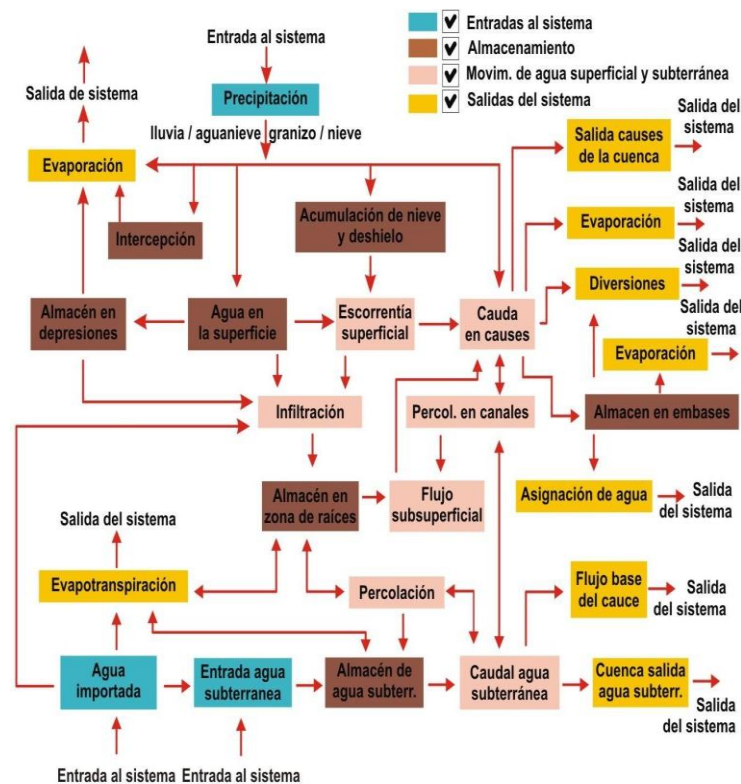
Un modelo puede ser una representación física o abstracta de un objeto, fenómeno o idea, que facilita predecir, aunque con algunas restricciones, el comportamiento de su equivalente en el mundo real. Se prefiere emplear modelos en lugar de analizar

directamente las entidades naturales, ya que trabajar con un modelo resulta generalmente más económico, práctico y rápido, de acuerdo con Palacios (2005).

Los modelos hidrológicos son, en esencia, representaciones simplificadas de sistemas hidrológicos reales, actuando como una versión condensada de la realidad. Estos modelos permiten examinar las interacciones de causa y efecto en una cuenca mediante datos de entrada y salida, facilitando una comprensión más profunda de los procesos físicos hidrológicos que se desarrollan en su interior (Baldeon, 2016).

Figura 10

Esquema de un sistema de recursos hídricos



Nota. Tomado de (Baldeon, 2016).

11.2.4 Sostenibilidad hídrica

La sostenibilidad hídrica se refiere a la capacidad de mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda de recursos hídricos de manera que se satisfagan las necesidades actuales sin comprometer la disponibilidad y calidad del agua para las generaciones futuras. Este concepto es clave en la gestión del agua, especialmente en contextos donde los recursos hídricos son limitados o están bajo presión debido al crecimiento poblacional,

la urbanización y el cambio climático. El manejo del agua implica una utilización eficiente del recurso, minimizando el desperdicio y promoviendo tecnologías que permitan la conservación, como sistemas de riego tecnificado, la recolección y el reciclaje de aguas pluviales, y el tratamiento de aguas residuales para su reutilización. Además, la sostenibilidad hídrica no solo abarca el aspecto cuantitativo del agua disponible, sino también su calidad. Es esencial garantizar que las fuentes de agua se mantengan libres de contaminantes que puedan afectar tanto a los ecosistemas como a la salud humana (Ordoñez, 2011).

El enfoque de la sostenibilidad hídrica también debe considerar la protección de los ecosistemas acuáticos, dado que estos son fundamentales para el ciclo del agua y para la regulación de su disponibilidad a largo plazo. Los ecosistemas, como humedales, lagos y ríos, actúan como reservas naturales que mantienen el equilibrio de los recursos hídricos, absorbiendo el exceso de agua durante las lluvias intensas y liberándola en periodos secos. Otro factor clave es la adaptación a los cambios climáticos, los cuales pueden alterar los patrones de precipitación y aumentar el riesgo de eventos extremos como sequías o inundaciones. Es por ello que los planos de gestión hídrica deben ser flexibles y estar diseñados para hacer frente a escenarios futuros inciertos, promoviendo la resiliencia en las comunidades y ecosistemas que dependen del agua (Chow et al., 1988).

11.2.5 Disponibilidad hídrica

La disponibilidad de recursos hídricos hace referencia a la cantidad total de agua derivada de las precipitaciones en una región específica que estará accesible en el futuro, tanto a corto como a largo plazo. Este recurso, presentado en términos de volumen o caudal en un punto particular de la cuenca hidrográfica, puede ser utilizado y aprovechado para diversas actividades. La disponibilidad hídrica es esencial para una gestión adecuada del agua, ya que permite planificar su uso en sectores como el agrícola, industrial, humano y ambiental, asegurando un suministro constante y eficiente (Sánchez, 2021). Comprender la cantidad de agua superficial disponible también es vital para la conservación de los ecosistemas acuáticos, que dependen de flujos regulares de agua para su estabilidad y funcionamiento. Asimismo, esta información es crucial para reducir riesgos asociados con fenómenos climáticos extremos, como sequías prolongadas o

inundaciones repentinas. Con una correcta evaluación de la disponibilidad hídrica, las autoridades y los gestores de recursos pueden tomar decisiones informadas que promuevan la sostenibilidad a largo plazo, garantizando que las necesidades actuales se satisfagan sin comprometer el acceso al agua para las generaciones futuras (Ordoñez, 2011).

11.2.6 Balance hídrico

El balance hídrico es una herramienta clave en el análisis hidrológico, utilizada para estimar tanto la disponibilidad como el movimiento del agua dentro de una cuenca. Este equilibrio se fundamenta en el principio de conservación de la masa, que establece que el agua que entra en un sistema debe ser equivalente a la suma del agua que sale y cualquier cambio en el almacenamiento del sistema. Aunque su formulación teórica es sencilla, expresada como la diferencia entre la precipitación, la evapotranspiración, el flujo superficial y las variaciones en el almacenamiento de agua, su aplicación práctica enfrenta numerosos desafíos. La medición precisa de sus componentes, como la infiltración, la escorrentía, la evapotranspiración y el almacenamiento subterráneo, resulta compleja debido a la falta de datos de campo. Factores como la distribución espacial y temporal irregular de las lluvias, las características del terreno, la composición del suelo y la cobertura vegetal afectan la precisión en las estimaciones del equilibrio hídrico. Además, la limitada cantidad de estaciones de monitoreo y la falta de datos históricos confiables dificultan aún más la obtención de un cálculo exacto del balance de agua en una determinada región (Ordoñez, 2011).

11.2.6.1 Aplicaciones del balance hídrico

El balance hídrico se aplica en una amplia gama de estudios hidrológicos, siendo una herramienta fundamental para analizar y gestionar los recursos hídricos en distintos escenarios. Su principal función es estimar la cantidad de agua disponible en una zona geográfica específica, ayudando a investigadores y gestores a comprender mejor el comportamiento del agua dentro del ciclo hidrológico. Además de determinar la disponibilidad de agua en la superficie y en el subsuelo, el balance hídrico se utiliza para planificar su uso en actividades agrícolas, industriales y urbanas, así como para la administración de cuencas hidrográficas. Asimismo, este equilibrio resulta esencial para

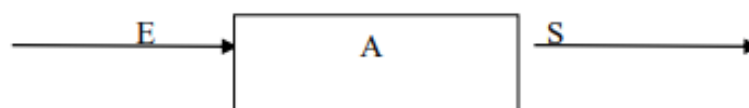
diseñar estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático, ya que ayuda a prevenir los impactos de fenómenos extremos como sequías e inundaciones. Con esta información, es posible implementar medidas para conservar y almacenar agua de manera eficiente, lo que asegura la sostenibilidad de los recursos hídricos en el largo plazo (Ordoñez, 2011). Por tanto, el equilibrio hídrico no solo contribuye a una gestión eficiente del agua, sino que también es vital para enfrentar los desafíos ambientales que afectan su disponibilidad futura.

11.2.6.2 Estimación de balance hídrico

El cálculo del balance hídrico en hidrología se fundamenta en el principio de conservación de masa, también conocido como la ecuación de continuidad. Este principio establece que, en un volumen de control determinado y durante un período específico, la diferencia entre el volumen de agua que ingresa y el que sale del sistema está directamente relacionado con los cambios en la cantidad de agua almacenada en dicho sistema. En otras palabras, cualquier cambio en el almacenamiento de agua en una cuenca es consecuencia de la diferencia entre las entradas, como la lluvia y la infiltración, y las salidas, que comprenden la evapotranspiración, el flujo superficial y las descargas subterráneas. Este método permite a los especialistas en hidrología medir con precisión tanto la disponibilidad como el movimiento del agua, lo que es clave para optimizar la gestión de los recursos hídricos y desarrollar estrategias adecuadas para su conservación y uso sostenible (UNESCO, 1971). Este enfoque facilita una comprensión más detallada de los flujos hídricos en una región, proporcionando herramientas esenciales para el manejo eficiente de las cuencas hidrográficas y la planificación de acciones que aseguren la sostenibilidad de los recursos en el futuro.

Figura 11

Diagrama de estimación de balance hídrico



Nota. Tomado de (UNESCO, 1971).

En el contexto de esta investigación, la estimación de la oferta hídrica de la quebrada Saucillo se ha desarrollado con base en los lineamientos metodológicos y registros hidrometeorológicos proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Esta entidad constituye la fuente oficial y técnica en el Perú para la evaluación del recurso hídrico superficial. Según datos reportados por la ANA, se observa que la disponibilidad de agua en la zona de estudio varía estacionalmente, siendo los meses de abril, mayo y junio los más críticos, con volúmenes por debajo de los requerimientos agrícolas del cultivo de palto. Esta información ha sido clave para identificar desequilibrios entre oferta y demanda y sustentar la necesidad de estrategias de gestión ambiental para asegurar la sostenibilidad hídrica del sector Huayo.

11.2.7 Oferta hídrica

La oferta hídrica hace referencia al volumen de agua que, después de precipitar sobre una cuenca hidrográfica y satisfacer las demandas de evapotranspiración y absorción del suelo y la vegetación, se desplaza a través de ríos y otras corrientes superficiales. Este flujo de agua, conocido como escorrentía superficial, desempeña un papel fundamental en la dinámica hidrológica de una región. No solo alimenta los ríos y arroyos, sino que también contribuye al mantenimiento de lagos, lagunas y reservorios, tanto naturales como artificiales. La escorrentía se une con otras corrientes de agua y, en última instancia, fluye directa o indirectamente hacia el océano. La medición de este flujo es considerada por los hidrólogos como un elemento clave en las redes de monitoreo hidrológico implementadas en diversos países, ya que brinda información vital sobre la cantidad de agua disponible para distintas aplicaciones (IDEAM, 2004).

La cantidad de agua disponible en una cuenca está directamente vinculada con la capacidad de satisfacer las demandas humanas, tanto en términos sociales como económicos. Calcular la escorrentía superficial es esencial para determinar el volumen de agua disponible en la cuenca, lo cual es crucial para gestionar actividades como la agricultura, el suministro de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y la preservación de ecosistemas acuáticos. Sin embargo, varios factores pueden afectar la precisión de las estimaciones de la oferta hídrica, como el conocimiento detallado de los caudales de los ríos, la calidad de los datos disponibles y la longitud de los registros históricos.

El caudal de un río, que mide la cantidad de agua que fluye en un período determinado, es un indicador esencial para evaluar la disponibilidad de agua superficial. La precisión y consistencia en las mediciones del caudal, conocidas como confiabilidad, son aspectos críticos para asegurar la exactitud de los datos. Además, los registros históricos a largo plazo son fundamentales para identificar patrones y tendencias en la disponibilidad de agua, permitiendo una planificación adecuada y una toma de decisiones informada en la gestión sostenible de los recursos hídricos. En cuencas donde se cuenta con datos históricos confiables sobre los caudales, el caudal promedio anual de un río se utiliza como un indicador representativo de la oferta hídrica de la cuenca (CORPONARIÑO, 2009).

La oferta hídrica no solo depende de las precipitaciones y la escorrentía, sino también de una evaluación precisa y confiable del flujo de agua en la cuenca. Esta información es clave para gestionar de manera eficiente los recursos hídricos y garantizar el suministro adecuado para diversas necesidades, incluyendo el abastecimiento humano, la producción agrícola y la protección de ecosistemas. La disponibilidad de datos de calidad, así como el análisis de registros a largo plazo, son esenciales para anticipar y responder a las variaciones en la oferta de agua, especialmente en el contexto de un clima cambiante y de crecientes demandas sobre los recursos hídricos.

11.2.8 Demanda hídrica

El concepto de demanda hídrica es fundamental en la gestión de recursos hídricos, ya que se refiere a la cantidad de agua necesaria para cubrir los diversos usos y actividades que se desarrollan en una cuenca hidrográfica. En términos generales, la demanda de agua se define como el volumen y flujo requeridos para realizar actividades económicas como el suministro de agua potable, la agricultura, la industria y la producción de energía, entre otras (Balairon, 2002).

Dentro de una cuenca, la demanda de agua se divide en dos grandes grupos: el agua necesaria para el consumo humano y el agua destinada a actividades productivas. El consumo humano incluye el agua utilizada para fines domésticos, como el abastecimiento en hogares, así como para servicios públicos, recreativos y de saneamiento. Por otro lado, la demanda para actividades productivas comprende el uso de agua en sectores como la

agricultura, la ganadería, la industria y los procesos comerciales y energéticos (Balairon, 2002). El consumo de agua potable es un componente importante, ya que es esencial para la vida humana y el bienestar de las comunidades. Sin embargo, el sector agrícola suele ser el mayor consumidor de agua en muchas regiones, especialmente en aquellas dedicadas a la producción de alimentos. La agricultura requiere grandes cantidades de agua para el riego de cultivos, y en algunos casos, se utilizan métodos de riego intensivo que incrementan el uso de este recurso. La ganadería también demanda agua para la cría y el mantenimiento de animales, mientras que la industria depende del agua para procesos de fabricación, refrigeración y limpieza.

Además de estos usos directos, la demanda hídrica también incluye la cantidad necesaria para generar energía. Las plantas hidroeléctricas, por ejemplo, dependen del flujo constante de agua para la producción de electricidad. Asimismo, el uso de agua en la industria energética se extiende a los procesos de enfriamiento en plantas térmicas y nucleares. Estos sectores son claves para el desarrollo económico de las regiones, y su demanda de agua puede ser significativa (Castillo, 2022).

Un factor crucial en la gestión de la demanda hídrica es el equilibrio entre la disponibilidad de agua en la cuenca y los requerimientos de los diferentes sectores. La creciente presión sobre los recursos hídricos debido al crecimiento poblacional y al aumento de actividades económicas genera la necesidad de optimizar el uso del agua y promover estrategias sostenibles que permitan satisfacer las demandas actuales sin comprometer la disponibilidad para las generaciones futuras (Ordoñez, 2011). Además, las fluctuaciones en la disponibilidad de agua, influenciadas por factores como el cambio climático, pueden afectar la capacidad de satisfacer la demanda en ciertos momentos del año. Por tanto, la planificación hídrica debe considerar tanto los patrones estacionales de disponibilidad como la implementación de medidas de conservación que reduzcan el desperdicio y promuevan un uso más eficiente del recurso.

11.2.8.1 Demanda hídrica poblacional

La demanda hídrica de la población se refiere a la cantidad de agua necesaria para cubrir las necesidades diarias de una comunidad específica, obtenida de una fuente de agua determinada. Estas necesidades incluyen el uso doméstico, como beber, cocinar, el

aseo personal, la limpieza y otros usos esenciales que garantizan la salud y el bienestar de la población (Díaz, 2017). Este tipo de demanda es crucial para la gestión y planificación de los recursos hídricos, ya que permite garantizar un suministro adecuado y sostenible de agua para el uso cotidiano de la población. Asegurar que este recurso esté disponible en cantidad suficiente es esencial para mantener la calidad de vida en cualquier comunidad, y es un factor importante en la gestión del agua en diversas regiones del mundo.

11.2.8.2 Demanda hídrica para la producción

La demanda hídrica para la producción hace referencia a la cantidad de agua que necesitan individuos o empresas, obtenida de una fuente específica, para llevar a cabo diversas actividades económicas. Entre estas actividades se encuentran la agricultura, la ganadería, la industria, la minería y otros sectores productivos que dependen del agua como un recurso fundamental para su funcionamiento y crecimiento (Díaz, 2017). Este tipo de demanda es clave en la gestión adecuada de los recursos hídricos, ya que garantiza que las actividades económicas que requieren agua puedan desarrollarse de manera sostenible, sin afectar la disponibilidad de este recurso para otros usos esenciales, como el consumo humano. El equilibrio entre la demanda productiva y el uso eficiente del agua es un aspecto crítico para asegurar que tanto los sectores productivos como los ecosistemas y la población general puedan tener acceso a agua de calidad en el largo plazo. Manejar adecuadamente esta demanda permite optimizar el uso del agua, asegurando que las necesidades económicas se cumplan sin comprometer la sostenibilidad de las fuentes hídricas (Martínez et al., 2021).

11.2.9 Precipitación

La precipitación es el proceso mediante el cual el agua, ya sea en estado líquido o sólido, cae desde la atmósfera hasta la superficie terrestre. Este fenómeno es fundamental en el ciclo hidrológico y ocurre cuando el aire húmedo asciende, lo que provoca su enfriamiento y la posterior condensación del vapor de agua en gotas diminutas o en cristales de hielo. A medida que estas partículas se agrupan y alcanzan un tamaño considerable, la gravedad las hace descender en forma de lluvia, nieve, granizo o diferentes tipos de precipitación (Vásquez, 2000).

La cantidad de precipitación varía significativamente de un lugar a otro, incluso en zonas geográficamente cercanas. Estas diferencias se deben a múltiples factores, tanto locales como estacionales. En algunos lugares, en un solo día puede caer más agua de la que en otras zonas se recibe durante todo el año. La distribución global del receptor está condicionada por factores como la proximidad al océano, el nivel de humedad en la atmósfera y los movimientos ascendentes del aire. Cuando el aire húmedo se encuentra con barreras geográficas como las montañas, estos movimientos se intensifican, forzando al aire a subir y enfriarse. En estas áreas montañosas, las laderas expuestas a los vientos predominantes, conocidas como laderas de barlovento, suelen recibir más precipitación debido a este enfriamiento rápido que causa la condensación (Guzmán et al., 2024).

Los diferentes tipos de precipitación dependen de las condiciones atmosféricas y geográficas en las que se generan. Las precipitaciones convectivas, por ejemplo, se producen cuando el aire caliente aumenta con rapidez, se enfría y el vapor de agua se condensa en gotas o cristales de hielo. Esto da lugar a lluvias intensas o granizo, y es un tipo de precipitación común en regiones tropicales o durante tormentas eléctricas. Las precipitaciones orográficas, por su parte, ocurren cuando el aire húmedo es obligado a elevarse al encontrarse con montañas, lo que provoca la formación de nubes y precipitación en las laderas orientadas hacia los vientos dominantes. En cambio, las precipitaciones frontales se generan cuando se encuentran dos masas de aire con diferentes temperaturas, lo que hace que el aire caliente y húmedo se eleva sobre el aire frío. Este ascenso genera condensación y, eventualmente, precipitación (Ruíz et al., 2019).

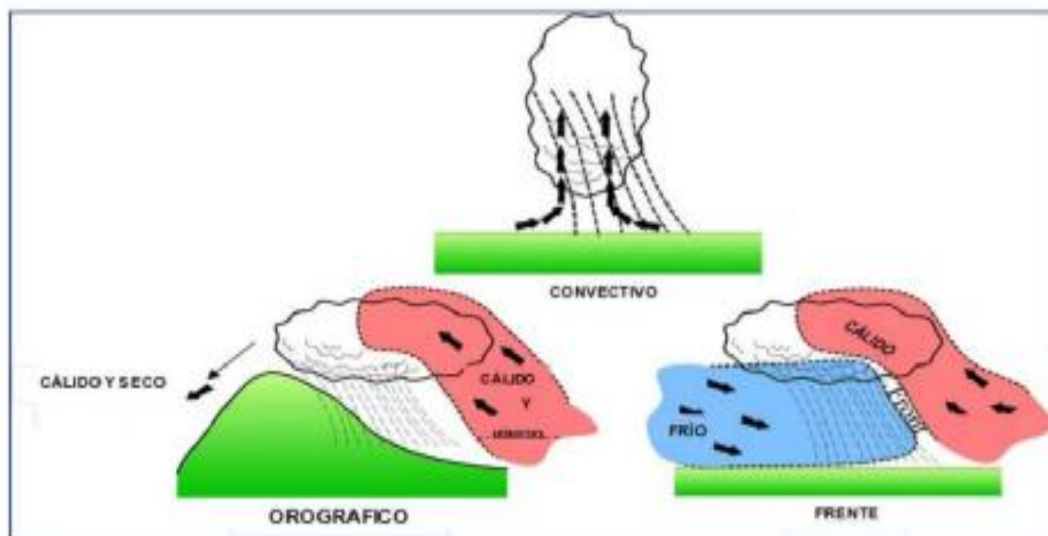
Cada uno de estos tipos de receptores juega un papel esencial en la distribución del agua sobre la superficie terrestre, contribuyendo a la recarga de acuíferos y ríos, así como al mantenimiento de los ecosistemas (ver Figura 2). Las precipitaciones, además de nutrir las fuentes de agua superficiales y subterráneas, son cruciales para el desarrollo agrícola y la preservación de la biodiversidad. Los patrones de precipitación determinan, en gran medida, la disponibilidad de agua en diferentes regiones, lo que afecta tanto a las actividades humanas como al equilibrio natural de los ecosistemas.

La precipitación no solo es un componente esencial del ciclo hidrológico, sino que también es clave para la gestión de los recursos hídricos en todo el mundo. Las

variaciones en su distribución y tipo influyen directamente en el acceso al agua y en la sostenibilidad de los ecosistemas y actividades económicas, siendo vital comprender los mecanismos que la generan para una mejor planificación y adaptación a los cambios climáticos futuros.

Figura 12

Clasificación de las precipitaciones



Nota. Tomado de (Musy, 2001).

11.2.9.1 Precipitación ortográfica

Las precipitaciones ortográficas, como montañas o cadenas montañosas, actúan como barreras naturales que obligan a los vientos húmedos a ascender. Este ascenso forzado provoca un enfriamiento adiabático del aire a medida que se eleva a mayores altitudes, lo que a su vez genera la condensación del vapor de agua en la atmósfera y la posterior formación de nubes. Como resultado, se produce precipitación. Las áreas situadas en el lado de barlovento de estas barreras geográficas suelen experimentar precipitaciones regulares y constantes, debido a la elevación continua del aire húmedo. Este fenómeno, denominado reducción orográfica, ocurre frecuentemente en zonas donde el terreno montañoso es prominente.

En particular, en la región andina del Perú, las cordilleras actúan como una barrera que obliga a los vientos cargados de humedad provenientes del océano a ascender. Este

proceso crea condiciones óptimas para la formación de lluvias intensas y persistentes en las áreas montañosas. El dispensador orográfico es un componente clave del clima en estas regiones, ya que proporciona agua tanto para los ecosistemas como para las actividades humanas, como la agricultura. Este tipo de precipitación es especialmente común en zonas donde las montañas actúan como obstáculos naturales para los vientos predominantes, facilitando un ciclo recurrente de lluvias en estas áreas (Vásquez, 2000).

11.2.9.2 Precipitación convectiva

La precipitación convectiva se produce cuando una masa de aire caliente asciende en la atmósfera debido a su menor densidad en comparación con el aire más frío que la rodea. Este ascenso es provocado por el calentamiento del suelo, del agua o del aire en contacto directo con dichas superficies. A medida que el aire caliente y húmedo sube, experimenta un enfriamiento adiabático que lleva a la condensación del vapor de agua, formando nubes que eventualmente generan lluvias. Durante este proceso, el aire más frío desciende para ocupar el espacio dejado por el aire caliente, calentándose en el proceso y reiniciando el ciclo convectivo (Vásquez, 2000).

Este tipo de precipitación es común en regiones de relieve llano y en áreas tropicales con densa vegetación, como las llanuras amazónicas y las zonas oceánicas. En Perú, la precipitación convectiva ocurre principalmente en la franja norte de la costa, especialmente en las regiones de Piura y Tumbes. Esta precipitación está influenciada por la presencia de los anticiclones del Atlántico norte y sur, que crean condiciones propicias para la convección, facilitando la formación de lluvias intensas y de carácter localizado en estas zonas. Las precipitaciones convectivas son particularmente relevantes en áreas tropicales donde el calor del día provoca ascensos rápidos de aire, contribuyendo a la generación de lluvias frecuentes y menudo torrenciales.

11.2.9.3 Precipitación frontal o ciclónica

La precipitación frontal, también conocido como ciclónico, ocurre en el contexto de un ciclón, que es una gran masa de aire en rotación rápida alrededor de un centro de baja presión. Este fenómeno se genera por las significativas diferencias de temperatura entre las capas atmosféricas. En el núcleo del ciclón, la presión atmosférica es

extremadamente baja, lo que provoca que corrientes de aire cálido y húmedo se once rápidamente. A medida que estas corrientes ascienden, se expanden de manera adiabática, lo que produce el enfriamiento del aire. Como resultado, el vapor de agua presente en la atmósfera se condensa, lo que favorece la formación de nubes. Posteriormente, este proceso da lugar a precipitaciones intensas y prolongadas, características de los sistemas ciclónicos (Vásquez, 2000).

Este tipo de precipitación es común en áreas donde las masas de aire cálido se encuentran con masas de aire frío, lo que provoca que el aire caliente ascienda sobre el más frío, generando las condiciones necesarias para la condensación y la formación de lluvias. Las precipitaciones ciclónicas suelen estar asociadas a condiciones meteorológicas extremas, como tormentas y vientos fuertes, y pueden provocar grandes cantidades de lluvia en cortos periodos de tiempo. Este fenómeno es especialmente frecuente en regiones donde las condiciones atmosféricas propician la formación de ciclones, como en zonas tropicales y subtropicales.

11.2.10 *Temperatura*

La temperatura representa la medida de la energía solar que se acumula en el aire en un momento determinado y es una variable esencial en los estudios de climatología e hidrología. Su valor está principalmente influenciado por la radiación solar, que calienta tanto el aire como la superficie terrestre. Para medirla, se emplea un termómetro, un dispositivo que debe ser colocado a una altura estándar de 1,5 metros sobre el suelo para asegurar que la medición refleje con precisión la temperatura del aire, evitando la influencia del calor emitido por el terreno. Además, es importante que el termómetro esté ubicado en un lugar ventilado y protegido de la luz solar directa, ya que la exposición directa podría alterar la lectura, haciendo que el instrumento registre valores incorrectos.

Las mediciones de temperatura suelen expresarse en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F), dependiendo del país o del contexto en el que se utilicen. La temperatura es una variable fundamental en muchos estudios ambientales porque influye en procesos como la evapotranspiración, la dinámica de los cuerpos de agua, y otros fenómenos hidrológicos importantes. Su monitoreo preciso es crucial para entender cómo las

variaciones térmicas afectan estos procesos y, por lo tanto, la disponibilidad y el comportamiento de los recursos hídricos (Ordoñez, 2011).

11.2.11 Caudal

El caudal se refiere a la cantidad de agua que pasa a través de una sección específica de un río o canal en un período determinado. Este término es clave en el campo de la hidrología y en la administración de los recursos hídricos, ya que proporciona una medida precisa del volumen de agua que fluye por un curso, lo cual es crucial para evaluar la disponibilidad de agua. Conocer el caudal es fundamental para planificar el uso del agua en actividades como la agricultura, el abastecimiento humano y la generación de energía, además de ser vital para comprender cómo las acciones humanas pueden afectar los sistemas fluviales.

El caudal también permite monitorear la capacidad de los cuerpos de agua para mantener su ecosistema, ya que influye en la calidad del agua, el transporte de sedimentos y la biodiversidad acuática. La medición precisa de este flujo, representada visualmente en la Figura 3 y descrita matemáticamente en la ecuación 1, es esencial para tomar decisiones informadas sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos. En resumen, el caudal es un indicador clave no solo para medir la cantidad de agua en movimiento, sino también para evaluar cómo las actividades humanas y los fenómenos naturales impactan los cursos de agua y su capacidad de regeneración.

$$Q = V/t \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

Donde:

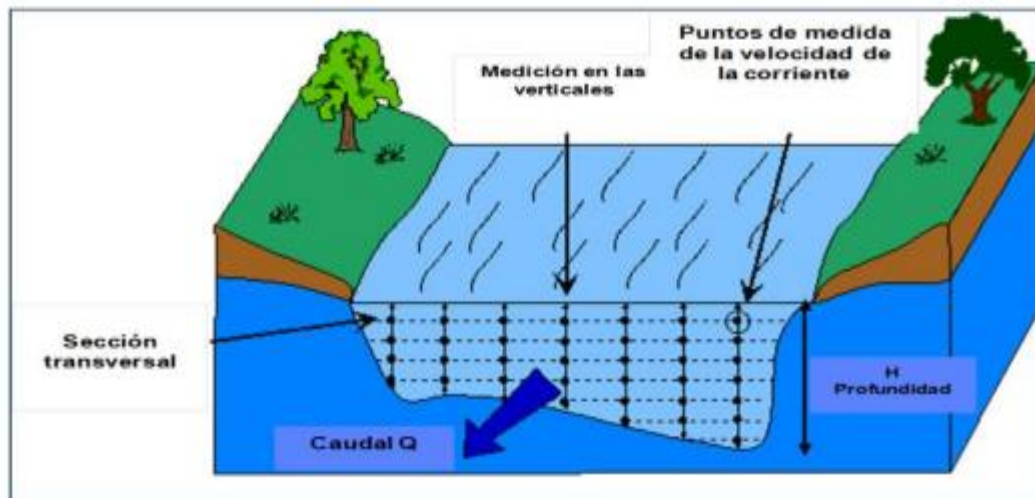
Q : Caudal

V : Volumen

t : Tiempo

Figura 13

Movimiento del agua que pasa a través de una sección transversal



Nota. Tomado de (Musy, 2001).

11.2.12 Hidrograma

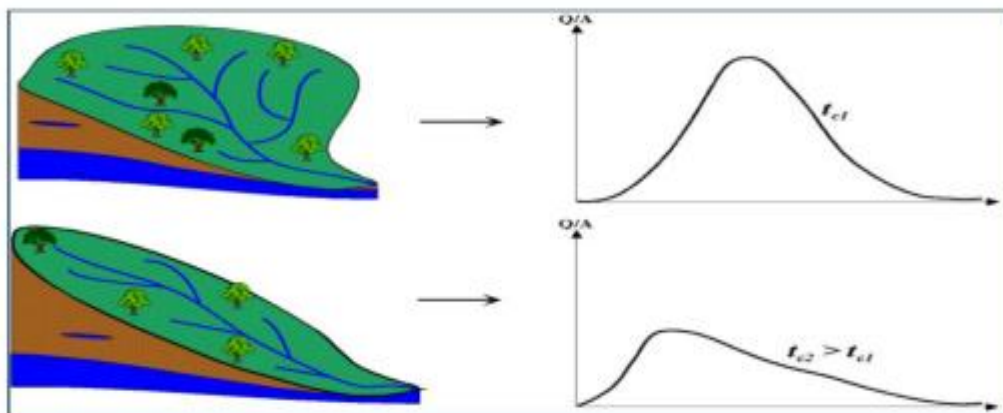
Un hidrograma es una representación gráfica que muestra cómo varía el caudal de un río o canal a lo largo del tiempo, lo que permite visualizar las fluctuaciones en el flujo de agua. Según Ordoñez (2011), el hidrograma es una herramienta esencial en hidrología, ya que facilita el análisis de la respuesta de una cuenca ante eventos de precipitación. La forma y las características del hidrograma están influenciadas tanto por la cantidad de precipitación que cae sobre la cuenca como por las propiedades físicas de esta, como su forma, tamaño, pendiente, y tipo de suelo.

La Figura 4 ilustra cómo estas variables afectan la forma de un hidrograma, comparando dos hidrogramas correspondientes a cuencas con diferentes características geomorfológicas, como se muestra en la Figura 6. En cuencas con pendientes más pronunciadas, el hidrograma tiende a mostrar una respuesta rápida con un pico de caudal más alto. Esto se debe a que el agua de lluvia escurre más rápidamente hacia los ríos, lo que disminuye el tiempo de concentración y acelera la llegada al caudal máximo. Por otro lado, en cuencas con pendientes más suaves, el hidrograma refleja una respuesta más lenta, con un incremento gradual en el caudal y un pico menos pronunciado, lo que sugiere una mayor absorción e infiltración del agua en el suelo.

El análisis de hidrogramas permite a los hidrólogos y a los responsables de la gestión de recursos hídricos comprender mejor el comportamiento del flujo de agua en respuesta a las precipitaciones. Esto es crucial para la planificación de la gestión del agua, el diseño de infraestructuras hidráulicas y la implementación de medidas para mitigar inundaciones. Además, el estudio de hidrogramas es útil para identificar patrones de escorrentía, predecir eventos de crecidas, y evaluar cómo las actividades humanas y el cambio climático pueden afectar los sistemas fluviales. A través de los hidrogramas, los expertos pueden observar cómo la cantidad de lluvia y las características de la cuenca influyen en el comportamiento de los ríos, lo que es vital para la toma de decisiones en la planificación y gestión de recursos hídricos. Al identificar con precisión las características de un hidrograma, es posible prever la respuesta de una cuenca ante eventos extremos, como fuertes lluvias o sequías, y tomar medidas preventivas o de adaptación adecuadas para minimizar riesgos de inundaciones o escasez de agua.

Figura 14

Clasificación de hidrogramas según la inclinación de la cuenca



Nota. Tomado de (Musy, 2001).

11.2.13 Calidad del Agua

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas del agua que determinan su aptitud para diferentes usos, como el consumo humano, la agricultura, la industria y la preservación de ecosistemas acuáticos. Evaluar la calidad del agua es fundamental para garantizar que los recursos hídricos sean seguros y adecuados para sus diferentes aplicaciones. Algunos de los parámetros más comunes para medir la calidad del agua incluyen la temperatura, el pH, la cantidad de oxígeno disuelto, la

turbidez y la presencia de contaminantes como metales pesados, pesticidas y bacterias patógenas. La calidad del agua está influenciada por una variedad de factores naturales y antropogénicos. Entre los factores naturales se encuentran la geología del terreno, el clima y los procesos biológicos que ocurren en el entorno acuático. Por otro lado, las actividades humanas, como la agricultura intensiva, la descarga de aguas residuales industriales y domésticas, y la urbanización, son fuentes significativas de contaminación. La introducción de contaminantes en los cuerpos de agua puede afectar negativamente no solo su uso para el consumo humano, sino también su capacidad para sustentar la vida acuática (Guzmán et al., 2024).

El monitoreo continuo de la calidad del agua es clave para identificar cambios y tomar medidas correctivas cuando los niveles de contaminación superan los límites aceptables. Para ello, es necesario establecer normativas que regulen los niveles permitidos de sustancias en el agua. Además, garantizar la calidad del agua es crucial para la salud pública y el bienestar de las comunidades, ya que el agua contaminada puede ser una fuente de enfermedades y poner en riesgo la biodiversidad acuática y terrestre.

11.2.14 *Planeamiento estratégico y análisis FODA para la gestión ambiental hídrica*

El planeamiento estratégico en el contexto de la gestión ambiental busca identificar, evaluar y priorizar las estrategias más eficaces para el uso sostenible de los recursos. En esta investigación, se aplica la herramienta FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) como base para estructurar estrategias de gestión hídrica en la quebrada Saucillo, orientadas a mejorar la sostenibilidad del cultivo de palto. Esta herramienta permite diagnosticar el entorno interno y externo de la zona de estudio, facilitando la identificación de intervenciones concretas que respondan a los desafíos actuales. A partir de la matriz FODA, se proponen estrategias integradas dentro de un plan de acción que incluye medidas como el uso de riego tecnificado, construcción de reservorios, y monitoreo constante de la calidad del agua. El análisis se complementa con herramientas del planeamiento estratégico ambiental, como la matriz de priorización y la evaluación de escenarios, lo que garantiza que las propuestas estén alineadas con las condiciones reales del territorio y con un enfoque sostenible de largo plazo (Ballesteros et al., 2010).

11.2.15 *Gestión ambiental para el cultivo de palto*

La gestión ambiental aplicada a la agricultura consiste en el conjunto de acciones planificadas que buscan asegurar el uso racional de los recursos naturales, reducir el impacto ecológico de las actividades productivas y promover la sostenibilidad a largo plazo. En el caso del cultivo de palto, esta gestión adquiere especial relevancia debido a la alta demanda hídrica de este cultivo y al contexto de estrés hídrico presente en muchas zonas altoandinas, como es el caso de la quebrada Saucillo. La gestión ambiental para el cultivo de palto considera diversas estrategias orientadas a la conservación del agua, la mejora del suelo y la reducción de contaminantes. Entre las acciones destacadas se encuentran: la implementación de sistemas de riego tecnificado (por goteo o aspersión), la construcción de reservorios o qochas, el monitoreo de la calidad del agua y la aplicación de prácticas de conservación de suelos, tales como zanjas de infiltración, cobertura vegetal y barreras vivas. Asimismo, la planificación ambiental incluye la evaluación de escenarios de disponibilidad hídrica, el análisis de riesgo climático y la participación activa de los actores locales en la toma de decisiones. Esta visión integral es necesaria para adaptar el sistema productivo a las condiciones hidrológicas reales y asegurar que el cultivo de palto no comprometa el equilibrio ecológico de la microcuenca (Cabrera, 2024).

En este estudio, la gestión ambiental se asume como la variable independiente, dado que sus acciones y estrategias pueden modificar directamente la sostenibilidad hídrica (variable dependiente), optimizando la relación entre la oferta y demanda de agua, y garantizando la aptitud del recurso para uso agrícola.

11.3 Marco legal

Para el análisis de la sostenibilidad hídrica mediante, es esencial contar con un marco legal que oriente la gestión y protección de los recursos hídricos, así como la aplicación de estrategias ambientales en el ámbito de la provincia de Lucanas, región Ayacucho. A continuación, se detallan los principales instrumentos legales y normativos aplicables a esta investigación:

a. Ley de recursos hídricos (Ley N° 29338)

Esta ley establece los principios de la gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú, promoviendo el uso eficiente, equitativo y sostenible del agua. Regula la planificación, gestión y conservación de los recursos hídricos a nivel de cuencas hidrográficas, priorizando el consumo humano y garantizando su protección para las futuras generaciones.

b. Reglamento de la Ley de recursos hídricos (Decreto Supremo N° 001-2010-AG)

Desarrolla los aspectos técnicos y normativos de la Ley N° 29338, regulando el uso, aprovechamiento y protección del agua. Define los mecanismos para la autorización de derechos de uso de agua y la necesidad de estudios técnicos y ambientales previos a cualquier proyecto productivo que implique el uso de recursos hídricos.

c. Ley general del ambiente (Ley N° 28611)

Marco normativo fundamental para la protección ambiental en el Perú. Establece las bases para la gestión ambiental sostenible y promueve la integración de medidas de conservación de los recursos naturales, incluidos los recursos hídricos, en las actividades productivas. Además, regula la necesidad de realizar evaluaciones de impacto ambiental (EIA) para proyectos que puedan afectar el medio ambiente.

d. Reglamento de la Ley general del ambiente (Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM)

Este reglamento detalla las disposiciones de la Ley N° 28611, promoviendo la sostenibilidad y la prevención de la contaminación. Especifica las responsabilidades de los actores involucrados en la protección de los recursos hídricos y la implementación de buenas prácticas ambientales.

e. Norma de calidad ambiental para agua (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM)

Defina los límites máximos permisibles de sustancias contaminantes en los cuerpos de agua para preservar su calidad. Esta normativa es crucial para garantizar que los cultivos en la Quebrada Saucillo respeten los estándares de calidad del agua y no afecten la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región.

f. Ley de evaluación de impacto ambiental (Ley N° 27446)

Regula la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental antes de ejecutar proyectos que puedan tener efectos negativos sobre el medio ambiente y los recursos hídricos. Cualquier proyecto productivo que implique el uso del agua en la Quebrada Saucillo deberá someterse a esta evaluación.

g. Plan nacional de gestión de recursos hídricos (PNGRH)

Establece las directrices para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos en todo el país. El PNGRH promueve la conservación del agua, su uso eficiente, y la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático, fundamentales para asegurar la sostenibilidad hídrica en la Quebrada Saucillo.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y explicativa, ya que se busca, por un lado, describir las características actuales de la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, incluyendo la oferta y demanda de agua, así como su calidad, y, por otro lado, explicar cómo las estrategias de gestión ambiental pueden afectar el uso eficiente del agua en el cultivo. Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que la investigación descriptiva se centra en detallar los elementos principales de un fenómeno, mientras que la investigación explicativa tiene como objetivo identificar las causas y efectos de los fenómenos estudiados, en este caso, la relación entre la gestión ambiental y la sostenibilidad hídrica.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es correlacional, ya que el propósito principal es analizar cómo se relacionan la oferta y demanda hídrica con las prácticas de gestión ambiental. De acuerdo con Hernández et al. (2014), la investigación correlacional busca determinar la fuerza y dirección de la relación entre dos o más variables. En este caso, se pretende correlacionar cómo una mejor gestión ambiental puede impactar positivamente la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental y transversal. En un diseño no experimental, las variables de estudio no se manipulan deliberadamente, sino que se observan tal y como ocurren en su contexto natural. Esto implica que el investigador no tiene control directo sobre las variables, por lo que se limita a registrar la información tal como se presenta en el entorno. Según Hernández et al. (2014), este tipo de diseño es adecuado cuando el objetivo es observar y analizar fenómenos en su estado actual sin intervenir sobre ellos.

Además, el diseño es transversal porque la recolección de datos se realizará en un solo momento o en un período específico, lo que implica que los datos reflejarán una “instantánea” de las variables en ese punto temporal. Esto es particularmente útil para medir las relaciones entre la sostenibilidad hídrica y la gestión ambiental en un momento determinado, sin hacer un seguimiento longitudinal en el tiempo. Este diseño es apropiado para esta investigación, ya que se busca analizar cómo las prácticas de gestión ambiental están relacionadas con la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo en un contexto específico, sin intervenir directamente en los factores que se están evaluando.

3.4. Hipótesis de la investigación

3.4.1. *Hipótesis general*

La sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, depende directamente de la aplicación de estrategias de gestión ambiental orientadas al cultivo de palto.

3.4.2. *Hipótesis específicas*

- a. La oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo, evaluada con base en los registros de clasificación proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), presenta desequilibrios estacionales que afectan la sostenibilidad del cultivo de palto.
- b. El análisis de la calidad del agua en la quebrada Saucillo permitirá asegurar su aptitud para el cultivo de palto, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica.
- c. La simulación de escenarios de gestión ambiental optimizará el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto, mejorando la sostenibilidad hídrica de la quebrada Saucillo.

3.5. Operacionalización de variables

- a. **Variable dependiente:** Sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo
- b. **Variable independiente:** Gestión ambiental para el cultivo de palto

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION OPERACIONAL	TIPO	NATURALEZA	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo	Se refiere a la gestión eficiente y equilibrada del recurso hídrico, garantizando su disponibilidad a largo plazo para satisfacer las necesidades productivas y ambientales sin comprometer los ecosistemas ni las futuras generaciones (Ordoñez, 2011).	Dependiente	Cuantitativa	Oferta Hídrica	Caudal ecológico	(l/s)
					Oferta hídrica mensual y anual	(m³)
					Superávit hídrico	(m³)
				Demanda Hídrica	Volumen de agua	(m³)
					Demanda de agua mensual y anual	(m³)
				Calidad del Agua	Parámetros fisicoquímicos	(mg/L)
					Parámetros biológicos	(UFC/100 mL)
Gestión ambiental para el cultivo de palto	Implica la planificación y aplicación de estrategias orientadas a minimizar el impacto ambiental, optimizar el uso de recursos naturales, como el agua, y asegurar la sostenibilidad de las actividades productivas sin comprometer los ecosistemas y recursos disponibles (Cabrera, 2024).	Independiente	Cuantitativa	Eficiencia en el uso del recurso hídrico	Eficiencia de uso del agua proyectada	(%)
					Demanda hídrica proyectada	(m³)
				Simulación de escenarios de balance hídrico	Proyección del balance hídrico	(m³/ha)
					Proyección de disminuciones en la disponibilidad de agua	(m³)
					Proyección de aumentos en la disponibilidad de agua	(m³)

Nota. Elaboración Propia

3.6. Población y Muestra

3.6.1. Población

La población está conformada por todos los cultivos de palto que dependen de la quebrada Saucillo para el riego, incluyendo tanto los actuales como los proyectados en el área del sector Huayo, provincia de Lucanas. Esta población abarca los diferentes tipos de cultivos de palto que utilizan el agua superficial de la quebrada, cada uno con diferentes demandas hídricas y estrategias de gestión. Se consideran todos los cultivos que dependen de las fuentes hídricas superficiales, lo que permite tener una visión integral del uso del recurso en la zona.

3.6.2. Muestra

La muestra es no probabilística, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Johnson, 2014, Hernández-Sampieri et al., 2013 y Battaglia, 2008b). Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación.

En este trabajo de investigación se optó por la muestra no probabilística (ya que se centra en una muestra por conveniencia y/o dirigida), por ello este estudio, se ajusta exclusivamente en el cultivo de palto en las 4 hectáreas proyectadas en el sector Huayo. Este cultivo es el objeto principal de estudio debido a su importancia económica ya su dependencia del riego constante para un desarrollo óptimo. En la muestra se analizarán específicamente las estrategias de gestión ambiental aplicadas a este cultivo, las cuales permitirán evaluar su sostenibilidad hídrica a largo plazo. El estudio incluye un análisis del caudal disponible para el cultivo de palto, la eficiencia del uso del agua y el impacto de las condiciones ambientales sobre el rendimiento del cultivo.

3.7. Técnicas e instrumentos de investigación

3.7.1. Técnicas

Las técnicas de investigación utilizadas en este estudio serán principalmente de análisis documental y simulación de escenarios. El análisis documental se enfocará en la revisión de datos históricos sobre la oferta y demanda hídrica, calidad del agua, y estrategias de gestión ambiental implementadas en la quebrada Saucillo. Por otro lado, se empleará la simulación para modelar diferentes escenarios de balance hídrico y gestión del agua, utilizando herramientas computacionales que permitan prever el comportamiento del recurso bajo distintos supuestos. Esta técnica es útil para evaluar el impacto de posibles estrategias de gestión ambiental en la sostenibilidad hídrica.

3.7.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizarán incluyen:

- a. Fichas de recolección de datos:** Estas fichas se emplearán para sistematizar la información obtenida de fuentes documentales, como informes de calidad del agua, datos hidrológicos y registros de gestión ambiental. Incluirán campos para registrar parámetros como caudales, volúmenes de agua extraídos y calidad del agua.
- b. Software de simulación hidrológica:** Se utilizarán programas especializados para modelar los escenarios de oferta y demanda hídrica a partir de los datos proporcionado por fuentes oficiales; el software de código abierto Visual Studio se utiliza para simular el comportamiento de los recursos hídricos bajo diferentes condiciones de gestión ambiental.
- c. Bases de datos hidrológicas:** Serán fundamentales para alimentar los modelos de simulación. Incluirán datos históricos sobre caudales, precipitaciones, y consumo de agua en el cultivo de palto, obtenidos de fuentes oficiales como el SENAMHI, ANA o estudios regionales.
- d. Software Excel:** Excel se utilizará como herramienta de análisis para organizar y procesar los datos recopilados. Permitirá realizar cálculos, crear gráficos y realizar

análisis estadísticos básicos para visualizar las tendencias de la oferta y demanda hídrica, así como el comportamiento de la calidad del agua.

- e. Lenguaje de programación Python:** Python se empleará para realizar análisis más avanzados de los datos, incluyendo simulaciones y modelaciones de escenarios de gestión hídrica. Con bibliotecas como Pandas, NumPy y Matplotlib, se podrán procesar grandes volúmenes de datos y generar proyecciones sobre la sostenibilidad hídrica. Además, se podrán implementar modelos de predicción utilizando técnicas de machine learning, si es necesario.

3.8. Técnicas estadísticas de recolección de datos

Para esta investigación, se utilizarán diversas técnicas estadísticas para la recolección y análisis de datos, con el objetivo de obtener información precisa y confiable sobre la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo. Las principales técnicas serán:

- a. Análisis descriptivo:** Esta técnica se aplicará para resumir y describir los datos recolectados sobre la oferta y demanda hídrica, así como la calidad del agua. Utilizando herramientas como medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar), se podrá comprender mejor el comportamiento de las variables estudiadas.
- b. Regresión lineal:** Se empleará para evaluar la relación entre la oferta y demanda hídrica, así como para identificar los factores que influyen en la sostenibilidad hídrica de la zona. Esta técnica permitirá modelar cómo los cambios en las prácticas de gestión ambiental pueden afectar la disponibilidad del recurso hídrico.
- c. Simulación y proyección de datos:** Se utilizará para generar escenarios futuros sobre la oferta y demanda hídrica, aplicando técnicas como la simulación de Monte Carlo. Esto permitirá estimar la probabilidad de diferentes escenarios de equilibrio hídrico y su sostenibilidad en el tiempo. Se utilizó la Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon y la Prueba de Shapiro-Wilk para validar los escenarios simulados.

- d. Análisis de correlación:** Esta técnica permitirá medir la fuerza y dirección de la relación entre variables como la calidad del agua y la gestión ambiental aplicada. Con el coeficiente de correlación de Pearson, se podrá determinar si existe una relación significativa entre estas variables.
- e. Distribuciones de frecuencia:** Se utilizarán para organizar y visualizar los datos recolectados, lo que permitirá identificar patrones en la oferta y demanda hídrica, así como en la calidad del agua. Esta técnica es útil para resumir los datos en categorías o intervalos y facilitar su interpretación.

3.9. Desarrollo del trabajo

3.9.1. Descripción General de la Fuente de Agua

3.9.1.1. Ubicación y demarcación de la unidad hidrográfica

A continuación, se muestra la localización política, geográfica, administrativa e hidrográfica del origen del recurso de agua.

A. Ubicación política

Desde el punto de vista político, el área de análisis se sitúa en el Sector de Huayo, perteneciente a:

Departamento: Ayacucho

Provincia: Lucanas

Distrito: Laramate

Sector: Huayo

B. Ubicación geográfica

La quebrada Saucillo, la cual se utilizará en esta investigación, se ubica entre las coordenadas 513749 E, 8412588 N, a una altitud de 2400 metros sobre el nivel del mar. La microcuenca asociada se extiende desde una altitud de 2340 msnm hasta alcanzar los 3900 msnm.

C. Ubicación hidrográfica y administrativa

La jurisdicción administrativa de la microcuenca analizada se encuentra bajo la gestión de la Autoridad Local del Agua Grande, que está integrada dentro de la Autoridad Administrativa del Agua Chaparra-Chincha.

D. Accesos al proyecto

Para llegar a la zona de estudio y al área operativa del proyecto en la quebrada Saucillo, existen dos rutas principales:

Ruta 1: Desde la ciudad de Lima

- **Lima – Palpa:** 446 km por carretera asfaltada, aproximadamente 7 horas.
- **Palpa – Laramate:** 120 km por carretera asfaltada, aproximadamente 3 horas.
- **Laramate – Proyecto palto:** 10 km por trocha carrozable, aproximadamente 50 minutos.

Total: 576 km, aproximadamente 10 horas 50 minutos.

Ruta 2: Desde la ciudad de Ayacucho

- **Ayacucho – Laramate:** 264 km por carretera asfaltada, aproximadamente 5 horas 41 minutos.
- **Laramate – Proyecto palto:** 10 km por trocha carrozable, aproximadamente 50 minutos.

Total: 274 km, aproximadamente 6 horas 31 minutos.

Tabla 2

Rutas de ingreso al proyecto

Ruta	Distancia (km)	Tipo de vía	Tiempo estimado
Lima – Palpa	446	Carretera asfaltada	7 horas
Palpa – Laramate	120	Carretera asfaltada	3 horas
Laramate – Proyecto Palto	10	Trocha carrozable	50 minutos
Total (Ruta desde Lima)	576	—	10 h 50 min
Ayacucho – Laramate	264	Carretera asfaltada	5 h 41 min
Laramate – Proyecto Palto	10	Trocha carrozable	50 minutos
Total (Ruta desde Ayacucho)	274	—	6 h 31 min

Nota. Información tomada del informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

3.9.2. Calidad de Agua

De acuerdo con la Resolución Jefatural N°056-2018-ANA, que aprueba la Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales, el artículo 4 establece que los estándares de calidad para aguas en cuerpos naturales no clasificados se aplicarán según el recurso hídrico al que estén conectados. Esto es válido mientras la Autoridad Nacional del Agua no les haya asignado una categoría específica mediante el proceso de clasificación. Este criterio sigue lo indicado en la tercera disposición complementaria transitoria del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, que menciona que, si un cuerpo de agua natural no cuenta con una categoría asignada, se tomará la categoría del recurso hídrico al cual contribuye. La quebrada Saucillo no se considera un cuerpo de agua continental superficial; por lo tanto, se tomará como punto de referencia la fuente natural de agua a la cual desemboca, que es el río Vizcas, el cual posee la siguiente clasificación.

Río Vizcas:

Extensión: 79.9 km

Identificación: 13728

Tomando en cuenta el Protocolo Nacional para la Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

Tabla 3

Criterios sugeridos para la vigilancia de la calidad de las aguas superficiales

Parámetros	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4 Ríos, lagunas y lagos	Categoría 4 Ecosistemas marino- costeros
Parámetros de campo	pH, T, Cond., DO	pH, T, DO	pH, T, Cond., DO	pH, T, Cond., DO	pH, T, DO
Parámetros químico- físicos	DBO, AyG, N-NO ₃ , N- NH ₄ , P, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO, AyG, SST, N-NO ₃ , N-NH ₄ , P, sulfuros, metales (As, Ba, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO, AyG, SST, N-NO ₃ , sulfatos, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO, AyG, SST, N-NO ₃ , N-NH ₄ , P, metales (As, Ba, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO, AyG, SST, N-NO ₃ , N-NH ₄ , P, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)

Parámetros microbiológicos	Coliformes termotolerantes, Escherichia coli, Organismo de vida libre	Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes, Escherichia coli, Huevos y larvas de helmintos	Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes

Nota. Información tomada del informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

Considerando la clasificación: se tienen en cuenta fines agrícolas, por lo que se seleccionan los parámetros de campo y los parámetros fisicoquímicos. No se incluyen los parámetros microbiológicos, ya que aguas arriba del punto de intersección entre la quebrada Saucillo y el río Vizcas no existen actividades poblacionales o industriales. Basándose en este contexto, se optó por evaluar los parámetros de campo y fisicoquímicos. Con estos factores en mente, se procedió a la recolección de una muestra de agua.

A) Parámetros definidos para la muestra

- Los parámetros se eligen en función de las actividades humanas, fuentes de contaminación y la Clasificación de los Recursos Hídricos Nacionales. Parámetros de campo: pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.
- Parámetros de análisis en laboratorio: Físicos: turbidez, sólidos totales y sólidos suspendidos. Iones principales: nitratos, sulfatos, fosfatos, cianuro (WAD y libre), cloruros, nitritos, dureza total y cálcica, alcalinidad. Metales: bario (Ba), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), mercurio (Hg) y arsénico (As).

a. Localización del sitio de muestreo

La posición de los sitios de muestreo deberá ajustarse a los siguientes criterios:

- **Identificación:** para definir la ubicación, se empleará el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), registrando las coordenadas en formato UTM bajo el sistema WGS84.

Figura 15

Localización del sitio de muestreo



Nota. Información tomada del informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM.

Parámetros de Campo: Registrados en el punto donde se cruzan la quebrada Saucillo y el río Vizcas

- pH: 6.93
- Conductividad Eléctrica: 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Temperatura: 18.0 $^{\circ}\text{C}$
- Oxígeno Disuelto: 4 mg/L

Tabla 4

Parámetros físicos, inorgánicos, nutrientes y metales

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3	Río Vizcas
Ubicación			Río Vizcas
Este			512322
Norte			8211850
PARÁMETROS FÍSICOS			
Oxígeno disuelto (O_2)	mg O_2/l	$\geq 4 / \geq 5$	4.00
pH	Unidad de pH	6.5-8.5 / 6.5-8.4	6.93
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	$\Delta 3^{\circ}\text{C}$	18.0
Conductividad (Cond.)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2500 / 5000	350

Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l O ₂	15 / 15	< 2
Demanda Química de Oxígeno	mg/l O ₂	40 / 40	16
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	---	31
Parámetros inorgánicos			
Bario total (Ba tot)	mg/l	0.7 / --	0.07
Bicarbonatos	mg/l	518 / --	3.94
Carbonato	mg/l	--	--
Cianuro libre	mg/l	--	--
Cianuro WAD	mg/l	0.1 / 0.1	< 0.001
Cloruros	mg/l	500 / --	6.59
Fósforo total	mg/l	--	--
Magnesio total (Mg tot)	mg/l	-- / 250	1.72
Potasio total (K)	mg/l	--	2.79
Calcio (Ca)	mg/l	--	4.48
Litio total (Li tot)	mg/l	2.5 / 2.5	0.0311
Selenio	mg/l	0.02 / 0.05	< 0.0006
Sodio total (Na tot)	mg/l	--	2.57
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/l	1000 / 1000	171.4
Sulfuros (S ²⁻)	mg/l	--	--
Nutrientes			
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/l	--	--
Nitrógeno amoniacal	mg/l	--	--
Nitrógeno total	mg/l	--	--
Nitratos (NO ₃ -N)	mg NO ₃ /l	100 / 100	0.170
Nitratos (como N)	mg NO ₃ -N/l	--	0.088
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/l	10 / 10	--
Metales y Metaloides			
Aluminio total (Al tot)	mg/l	5 / 5	3.27
Antimonio total (Sb)	mg/l	--	0.0044
Arsénico total (As tot)	mg/l	0.1 / 0.2	0.0015
Boro total (B tot)	mg/l	1 / 5	0.037
Cromo total (Cr)	mg/l	0.1 / 1	< 0.0007
Cobre total (Cu tot)	mg/l	0.2 / 0.5	0.0139
Estaño total	mg/l	--	--

Estroncio total	mg/l	--	--
Hierro total (Fe tot)	mg/l	5 / --	2.039
Mercurio total (Hg tot)	mg/l	0.001 / 0.01	< 0.00005
Manganeso total (Mn tot)	mg/l	0.2 / 0.2	0.54
Níquel total (Ni tot)	mg/l	0.2 / 1	< 0.0002
Plata total (Ag tot)	mg/l	--	--
Plomo total (Pb tot)	mg/l	0.05 / 0.05	0.0028
Vanadio total (v tot)	mg/l	--	--
Zinc total (zn tot)	mg/l	2/24	0,077

Nota. Información tomada del informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

La muestra de agua del río Vizcas cumple con los límites establecidos en la ECA-Agua: Categoría 3 "Riego de vegetales y consumo de animales" según el D.S. N° 004-2017-MINAM, sin que ningún parámetro haya sobrepasado los valores permitidos. La recolección de la muestra se realizó en la intersección de la quebrada Saucillo con el río Vizcas, siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Se tomaron en cuenta los parámetros recomendados en el numeral 6.7 de la normativa de calidad para recursos hídricos superficiales, tal como se establece en la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA.

3.9.3. Fisiográfica y morfológica del área de estudio

El estudio de muchos de los fenómenos hidrológicos que se presentan en un área geográfica específica suele basarse en la unidad fisiográfica denominada cuenca.

Existen múltiples definiciones para el término “cuenca hidrográfica”. Una de ellas describe la cuenca de drenaje de un río, en un punto específico de su recorrido, como el área delimitada por un contorno dentro del cual el agua de lluvia fluye en la superficie, convergiendo y pasando por un punto específico en el cauce. Otra interpretación define una cuenca como una zona geográfica que es abastecida exclusivamente por las precipitaciones, cuyos excesos de agua o materiales sólidos transportados se canalizan hacia un único punto, que puede ser una desembocadura, una estación de medición, o una ubicación arbitraria.

3.9.4. Parámetros de forma

La configuración de una cuenca influye significativamente en las características del hidrograma de salida de un río, especialmente durante eventos de caudales máximos. En términos generales, cuencas con áreas similares, pero con formas distintas, producen hidrogramas variados. Para definir la forma de una cuenca, se emplean los coeficientes que se detallan a continuación.

3.9.4.1. Área de la cuenca

El área de la cuenca representa la extensión de superficie que contribuye al flujo de agua en la red hidrográfica. Cuanto mayor es el área, mayor es la cantidad de agua que puede acumularse y escurrir en el sistema. Con un área de 23.51 km², la microcuenca de Saucillo tiene una capacidad moderada de captación de agua de lluvia, lo que puede influir en los volúmenes de caudal durante eventos de precipitación.

3.9.4.2. Perímetro de la cuenca

Perímetro de la Cuenca (P): 20,55 km

El perímetro de la cuenca es la medida de la longitud que define el borde de la cuenca. Este parámetro es fundamental para calcular otros índices geomorfológicos, como el índice de Gravelius. Un perímetro mayor implica una cuenca más alargada o con bordes irregulares, lo que puede influir en la distribución del flujo y la velocidad de concentración del agua en la red hidrográfica.

3.9.4.3. Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (K_c)

Definido por Gravelius como la relación entre el perímetro de una cuenca y la circunferencia de un círculo que tendría la misma área que dicha cuenca. La peligrosidad de una cuenca aumenta a medida que el coeficiente K se aproxima a uno, o cuando adquiere una forma circular, ya que esto sugiere que las distancias de los puntos de la divisoria respecto al punto central son similares, lo cual reduce el tiempo de concentración y aumenta la probabilidad de que las ondas de caudal sean continuas. Este coeficiente es igual a uno en una cuenca completamente circular y puede alcanzar hasta un valor de tres

en cuencas muy alargadas. Generalmente, el valor de Kc es superior a 1. El Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc) se calcula utilizando la fórmula:

$$K_c = 0.2821P/\sqrt{A}$$

Dónde:

K_c : Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius.

P : Perímetro de la cuenca (km).

A : Área de la cuenca (km^2).

$$K_c = 0.2821 \times 20.55/\sqrt{23.51}$$

$$K \cong 1.20$$

Se menciona que las cuencas de gran tamaño suelen tener una forma similar a una pera, mientras que las más pequeñas adoptan una estructura de abanico; sin embargo, la distinción en sus formas se establece a partir de su cuantificación (Palomino y Serna, 2021).

Tabla 5

Índices del coeficiente de compactación

Kc	Forma de la cuenca	Tendencia de crecidas
1.00 - 1.25	De casi redonda a oval redonda	ALTA
1.25 - 1.50	De oval redonda a oval oblonga	MEDIA
1.50 - 1.75	De oval oblonga a rectangular	BAJA

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

Este valor de 1,20 indica que la cuenca de Saucillo es casi redonda a ovalada redonda. Esta forma sugiere una disposición geométrica que facilite la concentración del agua en el punto de salida.

3.9.4.4. Factor de forma

Este índice, al igual que otros empleados en este estudio, sirve como referencia para determinar la dinámica prevista de la escorrentía superficial en una cuenca. En general, las cuencas de forma alargada suelen mostrar un flujo de agua más rápido en comparación con las cuencas redondeadas, lo que permite una evacuación más eficiente, mayor desarrollo de energía cinética y un arrastre más potente de sedimentos hacia el nivel de base. Una cuenca se considera alargada cuando el factor de forma se aproxima a cero, mientras que adquiere una forma más circular a medida que el factor se acerca a uno. Este coeficiente, propuesto por Horton, influye en los hidrogramas de escorrentía y en los valores de caudales máximos (Palomino y Serna, 2021).

El coeficiente de forma se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_f = A/L_c^2$$

Dónde:

F_f : Factor de forma.

A: Área de la cuenca (km^2).

L_c : Longitud del cauce principal (km).

$$F_f = 23.51/(5.33)^2$$

$$F_f \cong 0.83$$

Este valor de 0,83 sugiere que la microcuenca de Saucillo tiene una forma intermedia, no es completamente circular ni muy alargada. Un factor de forma cercano a 1 indica una cuenca redondeada, lo que facilita una rápida concentración de agua y aumenta el riesgo de crecidas. Aunque el valor calculado no es exactamente 1, sigue indicando una tendencia moderada a concentrar el flujo rápidamente en el cauce principal, lo que es coherente con el riesgo de crecidas elevado mencionado previamente en función del Índice de Gravelius (1.20).

3.9.4.5. Rectángulo equivalente

Para comparar el comportamiento hidrológico entre dos cuencas, se emplea un enfoque geométrico que considera la cuenca como si fuera un rectángulo con el mismo perímetro y área, coincidiendo así con el índice de Gravelius (o coeficiente de compacidad, K_c). De esta manera, las curvas de nivel se simplifican en líneas paralelas al lado más corto del rectángulo, y el punto de desagüe de la cuenca se representa en dicho lado menor.

Los lados del rectángulo equivalente se determinan mediante las siguientes expresiones:

$$A = L \times B$$

$$P = 2 \times (L + B)$$

$$L = \left(\frac{K_c}{2} \times \sqrt{(\pi \times A)} \right) / \left(1 + \sqrt{1 - 4 / (\pi \times K_c^2)} \right)$$

$$B = \left(\frac{K_c}{2} \times \sqrt{(\pi \times A)} \right) / \left(1 - \sqrt{1 - 4 / (\pi \times K_c^2)} \right)$$

Dónde:

L : Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km).

B : Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km).

A : Área de la cuenca (km²).

K_c : Coeficiente de compacidad.

Reemplazando los datos con las fórmulas mencionadas anteriormente obtenemos los siguientes resultados:

Lado Mayor (L): aproximadamente 6.91 km

Lado Menor (B): aproximadamente 3,40 km

3.9.4.6. Radio de elongación (R_e)

Establecido por S. A. Schumm como la proporción entre el diámetro (D) de un círculo con una superficie igual a la de la cuenca y la longitud mayor de la cuenca (L_m).

$$R_e = 1.128 \sqrt{A/L_B}$$

Dónde:

R_e = Radio de elongación

A = Área de la cuenca (km^2).

L_B = Longitud máxima de la cuenca (km).

El valor de R_e tiende a aproximarse a uno cuando la cuenca es de superficie plana; en cuencas con un relieve marcado, el valor obtenido oscila entre 0.6 y 0.8.

3.9.4.7. Radio de circularidad (R_c)

Este coeficiente se calcula como la relación entre el área de la cuenca y el área de un círculo que tiene una circunferencia igual al perímetro de dicha cuenca.

Se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$R_c = 4\pi A/p^2$$

R_c : Radio de circularidad.

Dónde:

A : Área de la cuenca (km^2).

p : Perímetro de la cuenca (km).

$$R_c = (4 \times 3.1416 \times 23.51) / (20.55)^2$$

$$R_c \cong 0.70$$

La Radio de Circularidad es un índice que describe qué tan circular es la cuenca. Un valor cercano a 1 indicaría una cuenca más circular, mientras que un valor más bajo

sugiere una forma más alargada. En este caso, una radio de circularidad de aproximadamente 0.70 indica que la cuenca de Saucillo es moderadamente alargada. Esto tiene implicaciones en su respuesta hidrológica, ya que una cuenca menos circular tiende a tener un tiempo de concentración más largo, afectando la rapidez con la que el agua se concentra en el cauce principal.

3.9.5. Resultados de la geomorfología de la cuenca

Dada la relevancia de caracterizar con precisión los parámetros geomorfológicos de las unidades hidrográficas, se ha realizado un análisis detallado de la microcuenca de Saucillo, que aporta flujo al punto de captación de agua en la quebrada. Esta caracterización abarca parámetros esenciales que describen la forma, estructura y comportamiento de la cuenca, lo cual es fundamental para comprender su respuesta hidrológica y las implicaciones en la dinámica de flujo.

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros geomorfológicos más significativos, los cuales incluyen la forma de la cuenca, su índice de compacidad, altitud promedio, y pendientes de la cuenca y del cauce principal. Estos valores aportan información clave para prever el comportamiento del flujo en eventos de precipitación y para el diseño de medidas de gestión de recursos hídricos en la microcuenca.

Tabla 6

Características geomorfológicas de la microcuenca de saucillo

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área de la Cuenca	A	23.51	Km ²
Perímetro de la Cuenca	P	20.55	Km
Longitud del Cauce	L	5.33	Km
Índice de Gravelius	Kc	1.20	Adim.
Cota del Centroido	Z.CENT.	3225.72	m.s.n.m
Altitud más Baja de la Cuenca	Z.MIN.	2349.88	m.s.n.m
Altitud más Alta de la Cuenca	Z.MÁX.	3900.00	m.s.n.m
Altitud Media Simple de la Cuenca	Hms	3118.78	m.s.n.m
Rectángulo Equivalente: Lado Mayor	LM	6.91	Km
Pendiente de la Cuenca	S	21.36	%

Pendiente del Cauce Principal	Sc	0.11	%
Tiempo de Concentración	Tc	0.39	Horas

Nota. Información tomada del informe técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

3.10. Análisis y estimación de la oferta hídrica

3.10.1. Información hidrometeorológica

Los datos hidrometeorológicos se han recopilado de estaciones situadas en las proximidades de la cuenca de interés, siendo esta información registrada y analizada por las siguientes entidades: el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tabla 7

Conjunto de estaciones meteorológicas próximas a la cuenca en análisis

N°	Estaciones	DPTO	PROV.	DIST.	Latitud	Longitud	Altitud
1	Pampa blanca	Ica	Palpa	Rio grande	14° 14' 14.31"	75° 6' 14.31"	1009.00
2	Llauta	Ayacucho	Lucanas	Llauta	14° 14' 47.72"	74° 55' 31.75"	2445.00
3	Huac - huas	Ayacucho	Lucanas	Huac - huas	14° 7' 56.49"	74° 56' 27"	3180.00

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

3.10.2. Análisis pluviométrico de la cuenca de interés

En la cuenca analizada no se encontró ningún dispositivo de medición o control de caudales, y tampoco cuenta con pluviómetros. Sin embargo, se realizó un análisis de estaciones cercanas a la cuenca de estudio. Con base en las consideraciones mencionadas y en los valores de correlación obtenidos, se puede afirmar con certeza que los registros de precipitaciones utilizados en este estudio presentan patrones o comportamientos similares, lo cual facilita el desarrollo de una ecuación regional de precipitación para

estimar registros de lluvias medias anuales y mensuales en cualquier punto de la región hidrológica. En las siguientes tablas, se presentan los registros de precipitación promedio total de las estaciones Pampa Blanca, Huac-huas y Llauta, los cuales sustentan el análisis y la generación de estimaciones regionales de recepción para la cuenca de interés.

Tabla 8

Registro de precipitación promedio total de la estación pampa blanca (mm)

Estación: Est. Pampa Blanca						Latitud: 14° 14' 14.31" S				Dpto.: Ica			
Parámetro:						Longitud: 75° 6' 14.31" W				Prov.: Palpa			
Precipitación Total Mensual (mm)						Altitud: 1009.0 msnm				Dist.: Río Grande			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1965	2.27	2.15	2.88	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.47
1966	0.85	5.02	6.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.50	1.00	17.70
1967	10.30	69.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	42.60	0.00	124.40
1968	8.00	4.13	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	11.30
1969	0.00	7.00	29.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	42.80
1970	0.00	0.00	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30
1971	0.00	13.50	19.60	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.60
1972	29.50	18.90	59.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.30	0.00	0.00	127.20
1973	50.90	43.30	21.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.10	0.00	131.40
1974	33.50	22.30	30.10	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.40
1975	7.90	23.90	32.40	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.40
1976	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.50
1977	14.70	10.00	11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.20
1978	0.00	0.00	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	14.90
1979	12.2	12.4	90.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	5.7	125.30
1980	45.3	16.3	41.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	3.2	113.90
1981	53.8	66.7	103.1	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	68.3	337.10
1982	50.2	133.0	49.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	3.6	1.0	255.60
1983	49.0	56.8	125.2	26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	0.0	285.50
1984	114.4	145.8	90.7	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	36.5	16.9	416.10
1985	1.0	109.7	57.1	17.5	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	37.6	0.0	228.20
1986	158.4	148.3	55.5	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	66.2	442.80
1987	78.2	20.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	131.20
1988	93.5	69.7	62.6	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.70
1989	44.5	175.9	98.1	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	325.90
1990	12.4	0.0	36.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	17.2	100.4	170.50
1991	50.6	11.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	0.0	44.7	144.70

1992	2.3	5.4	7.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	3.6	20.94
1993	5.7	90.3	137.9	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	18.0	261.96
1994	82.8	88.2	28.1	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1	1.5	237.00
1995	73.3	9.0	97.1	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	13.6	0.0	212.40
1996	53.8	102.8	60.7	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	1.2	233.00
1997	53.4	62.1	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.8	9.3	31.7	218.80
1998	166.8	124.9	89.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	39.9	0.0	433.00
1999	45.3	172.8	8.7	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	344.10
2000	98.7	80.2	61.1	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	15.0	283.90
2001	48.7	125.0	101.2	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	288.90
2002	28.7	51.5	67.5	22.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.4	7.9	210.70
2003	8.9	44.0	40.6	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	24.1	127.90
2004	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.5	153.90
2005	21.5	77.8	12.1	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	146.54
1979	12.2	12.4	90.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	5.7	125.30
1980	45.3	16.3	41.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	3.2	113.90
1981	53.8	66.7	103.1	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	68.3	337.10
1982	50.2	133.0	49.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	3.6	1.0	255.60
1983	49.0	56.8	125.2	26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	0.0	285.50
1984	114.4	145.8	90.7	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	36.5	16.9	416.10
1985	1.0	109.7	57.1	17.5	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	37.6	0.0	228.20
1986	158.4	148.3	55.5	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	66.2	442.80
1987	78.2	20.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	131.20
1988	93.5	69.7	62.6	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.70
1989	44.5	175.9	98.1	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	325.90
1990	12.4	0.0	36.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	17.2	100.4	170.50
1991	50.6	11.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	0.0	44.7	144.70
1992	2.3	5.4	7.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	3.6	20.94
1993	5.7	90.3	137.9	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	18.0	261.96
1994	82.8	88.2	28.1	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1	1.5	237.00
1995	73.3	9.0	97.1	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	13.6	0.0	212.40
1996	53.8	102.8	60.7	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	1.2	233.00
1997	53.4	62.1	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.8	9.3	31.7	218.80
1998	166.8	124.9	89.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	39.9	0.0	433.00
1999	45.3	172.8	8.7	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	344.10
2000	98.7	80.2	61.1	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	15.0	283.90
2001	48.7	125.0	101.2	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	288.90
2002	28.7	51.5	67.5	22.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.4	7.9	210.70
2003	8.9	44.0	40.6	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	24.1	127.90
2004	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.5	153.90
2005	21.5	77.8	12.1	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	146.54
2006	3.10	31.30	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	0.00	40.80
2007	0.00	0.00	3.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	5.10
2008	24.80	24.40	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	58.00

2009	17.80	14.30	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.20	0.00	0.00	43.90
2010	1.20	18.00	3.10	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	29.30
2011	27.20	19.70	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.90	0.00	50.60
2012	0.40	62.30	4.60	1.60	0.00	0.00	0.00	2.20	0.20	0.70	0.70	0.00	69.30
2013	5.40	15.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	24.50
2014	11.90	4.70	7.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.30
2015	0.00	31.10	27.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.20
2016	0.50	3.18	11.64	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	15.69
2017	42.35	29.19	131.72	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	6.90	0.90	0.00	0.00	203.77
2018	8.50	8.60	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	19.23
Promedio	8.6	15.5	11.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	4.0	0.2	39.3
Máximo	50.9	69.0	131.7	10.4	0.0	0.0	0.0	6.9	0.9	5.3	19.3	3.7	203.8
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
P-50%	4.1	8.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	25.2
P-75%	17.9	31.7	40.7	2.4	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	1.2	0.6	0.1	145.6
D. Estándar	11.5	17.5	20.5	1.8	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.1	4.1	0.1	38.6

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

La estación de Llauta, ubicada en el departamento de Ayacucho, provincia de Lucanas, ya una altitud de 2445 msnm, proporciona datos sobre la precipitación en la región. Estos registros, que cubren varios años, ofrecen un panorama de la variabilidad y distribución de la precipitación mensual y anual en esta zona. La información pluviométrica de Llauta es crucial para el análisis hidrológico de la cuenca, ya que, en ausencia de mediciones directas en la cuenca de interés, permite aproximarse a los patrones de precipitación regionales. Esto facilita la estimación de precipitaciones medias anuales y mensuales, esenciales para la gestión y planificación de los recursos hídricos en la región. A continuación, se presenta un resumen de los datos de precipitación mensual y anual registrados en la estación Llauta, incluyendo valores promedio, máximos y mínimos, así como análisis estadísticos que ayudan a comprender mejor los patrones de precipitación en la zona.

Tabla 9*Registro de Precipitación Promedio Total de la estación Llauta*

Estación: Est. Llauta				Latitud: 14° 14' 47.72" S				Dpto.: Ayacucho					
Parámetro:				Longitud: 74° 55' 31.75" W				Prov.: Lucanas					
Precipitación Total Mensual (mm)				Altitud: 2445.0 msnm				Dist.: Llauta					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1965	51.1	56.9	69.4	8.5	0	0	0	0	0	0	0	2.6	188.6
1966	9.5	46.4	53	0	0	0	0	0	0	28.5	0	7.9	145.31
1967	18.7	185.3	87.5	57.6	0	0	0	0	0	0	0	0	349.1
1968	12.8	10.3	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.4
1969	20	42.9	90.3	0.8	0	0	0	0	0	0	4.2	0	157.5
1970	137.6	19	15.5	0	0	0	0	0	0	0	4.4	5	182.1
1971	2.3	15	37.5	25.6	0	0	0	0	0	0	0.8	9.3	90.2
1972	94.4	43.5	122.8	0	0	0	0	0	0	3.8	36	0	300.5
1973	43.9	54	53.5	6.3	0	0	0	0	0	1.6	2	0	161.8
1974	141.4	74.7	65.7	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	287.3
1975	30.6	83.2	119.6	3.9	0	0	0	0	0	3.5	28.4	7.5	276.1
1976	84.5	126.1	155	5.1	0	0	0	0	0	7.2	4.8	8.4	391.1
1977	1.9	126.6	91.4	4.1	0	0	0	0	0	2.8	10.7	7.8	245.3
1978	49.8	60.9	55.3	8.5	0	0	0	0	0	0	0	2.4	176.9
1979	36.4	42.4	2.4	0	0	0	0	0	0	4.6	0	5.7	125.3
1980	45.3	16.3	41.1	0.5	0	0	0	0	0	6.5	0	0	113.9
1981	53.8	66.7	103.1	20.5	0	0	0	0	7.7	0	17	68.3	337.1
1982	50.2	133	49.5	3.5	0	0	0	0	1	13.8	3.6	1	255.6
1983	49	56.8	125.2	26.6	0	0	0	0	0	0	27.9	0	285.5
1984	114.4	145.8	90.7	5.9	0	0	0	0	0	5.9	36.5	16.9	416.1
1985	10	109.7	57.1	17.5	0	0	0	0	0	0	3	37.6	228.2
1986	158.4	148.3	55.5	11.2	0	0	0	0	0	0	66.2	4.4	442.8
1987	78.2	20	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	131.2
1988	93.5	69.7	62.6	9.9	0	0	0	0	0	2.7	0	0	235.7
1989	44.5	175.9	98.1	4.7	0	0	0	0	0	0	0	2.7	325.9
1990	124	0	36.9	1.8	0	0	0	0	0	1.8	17.2	100.4	170.5
1991	50.6	110	64.1	6.8	0	0	0	0	0	12.2	0	0	144.7
1992	2.3	5.4	7.6	0.6	0	0	0	0	0	1.4	0	3.6	20.94
1993	5.7	90.3	137.9	4.5	0	0	0	0	0	0.5	5.1	18	261.96
1994	82.8	88.2	28.1	12.7	1.1	0	0	0	0	0	24.1	0	237

1995	73.3	9	97.1	3.7	0	0	0	0	0	15.2	13.6	0	212.4
1996	53.8	102.8	60.7	8.7	0	0	0	0	0	0	5.1	0	233
1997	53.4	62.1	33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	39.7	218.8
1998	166.8	124.9	89.2	0	0	0	0	0	0	0	39.7	13.7	344.4
1999	45.3	172.8	87.3	12.6	0	0	0	0	0	0	11.9	13.7	283.9
2000	98.7	80.2	61.1	24	1.1	0	0	0	0	0.3	3.5	15	283.9
2001	48.7	125	101.2	22.8	0	0	0	0	0	0	5.5	2.3	288.9
2002	28.7	55.1	67.5	22.3	0	0	0	0	0	25.4	7.9	21	210.7
2003	43.2	29.3	50.3	8.8	0	0	0	0	0	0	1.5	24.1	127.9
2004	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	31.5	153.2
2005	21.5	77.8	12.1	3.5	0	0	0	0	0	0	31.5	0	146.54
2006	57	121.1	93.4	15.2	0	0	0	0	2.8	4.2	16.1	13.5	323.3
2007	6.1	50.9	34.3	4.4	0	0	0	0	0	0	5.8	5.8	107
2008	121.4	151.8	90.2	11.8	0	0	0	0	0	10.4	4.5	6.3	385.6
2009	81.7	114.1	72.7	22.6	0	0	0	0	11.7	6.1	6.1	0	311.2
2010	11.6	31.6	37.5	13.9	0	0	0	0	0	22.2	0	5	122.8
2011	80.7	160.6	38.2	14.1	0	0	0	0	0	30.6	3	0.6	327.3
2012	27.9	146.9	46.9	36.7	0	0	0	0	16.9	5.1	16.9	17.6	314.6
2013	30.6	143	44.6	4.3	0	0	0	0	9.1	0	25.4	2	260.6
2014	44	32	92.4	5.5	0	0	0	0	0	4.6	0	21.5	199.7
2015	15.5	97.8	66	23.7	0	0	0	0	0	12	0	0	341.6
2016	3.2	42.6	60.9	23.7	0	0	0	0	0	0	3.5	3.5	137.7
2017	271.7	147.4	240.3	56	0.9	0	0	0	0	8.6	0	0	721.04
2018	81.3	71.3	70.9	13.9	0	0	0	0	0	0.7	0	7	257.96
Promedio	56.1	79	70.2	11.2	0	0.2	0.4	0	2.5	3.5	15.7	0.7	240.1
Máximo	271.7	185.3	240.3	57.6	0.6	0.8	0	3.6	28.8	28.5	36.5	10.4	721
Mínimo	0	0	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.9
P-50%	45.3	73	63.4	7.7	0	0	0	0	0	10.1	0	0.1	236.4
P-75%	17.9	31.7	40.7	2.4	0	0	0	0	0	10.6	0.5	0.3	145.6
D. Estándar	51.6	53.9	40.8	12.9	1.8	0.4	0	4.1	0.5	5.3	19.3	0.4	120

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

La estación Huac-Huas, ubicada en la provincia de Lucanas, a una altitud de 3180 msnm, proporciona datos sobre la precipitación en la zona de estudio. A continuación, se

presenta el promedio total de precipitaciones registradas en esta estación, incluyendo valores estadísticos clave como el promedio, máximo, mínimo y percentiles, que proporcionan una visión integral de las condiciones de lluvia en esta área geográfica.

Tabla 10

Promedio total de lluvias registrado en la estación HUAC - HUAS

Estación: Est. Huac-Huas					Latitud: 14° 7' 56.49" S					Dpto.: Ayacucho			
Parámetro: Precipitación					Longitud: 74° 56' 27" W					Prov.: Lucanas			
Total Mensual (mm)					Altitud: 3180.0 msnm					Dist.: Huac-Huas			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1965	101.3	128.6	218.7	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	30.6	500.27
1966	58.3	128.3	139.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	27.6	3.5	26.9	0.0	386.84
1967	102.7	306.6	146.8	88.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	655.33
1968	40.7	77.2	36.5	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	1.6	14.3	3.3	140.58
1969	11.3	32.4	209.4	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	31.5	7.1	7.3	0.3	311.18
1970	126.5	38.9	49.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.5	39.5	0.0	239.50
1971	74.7	42.7	129.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.2	0.9	254.97
1972	162.0	129.0	204.2	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	87.8	0.0	588.70
1973	227.8	181.7	77.7	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	3.3	86.0	585.68
1974	195.8	359.2	227.1	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.5	0.0	808.48
1975	195.8	277.2	217.4	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.7	0.0	42.4	842.88
1976	135.8	44.1	159.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	10.5	0.0	485.30
1977	56.9	151.1	188.2	55.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	18.7	0.0	511.31
1978	205.1	236.8	206.4	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	27.8	46.3	754.07
1979	94.4	263.8	180.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	8.8	0.0	599.90
1980	15.7	82.3	159.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	3.6	272.45
1981	56.9	151.1	188.2	55.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	18.7	0.0	511.31
1982	205.1	236.8	206.4	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	27.8	46.3	754.07
1983	205.1	236.7	251.6	37.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	23.0	754.07
1984	94.2	263.8	190.6	22.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	8.6	17.0	0.0	599.08
1985	7.9	196.7	79.4	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	69.9	0.0	381.10
1986	211.0	200.5	68.4	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	94.2	0.0	612.05
1987	149.4	47.4	65.0	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	298.90
1988	161.1	129.5	148.2	19.9	4.3	0.0	0.0	0.0	1.4	0.7	91.5	0.0	556.60
1989	117.6	243.5	368.6	36.2	10.8	0.0	0.0	0.0	3.3	33.8	1.0	0.0	815.10
1990	137.9	33.0	172.6	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.1	0.0	0.0	122.80
1991	80.9	33.3	157.4	67.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	348.20
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.1	14.8	0.0	17.08
1993	136.8	175.1	236.4	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	9.2	33.6	0.0	606.10
1994	202.8	256.9	66.6	26.8	0.7	0.0	0.0	0.0	2.5	4.1	37.2	3.2	597.60

1995	188.6	22.1	182.5	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.1	23.3	0.0	462.50
1996	81.2	180.9	70.0	73.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	0.0	0.0	422.00
1997	97.8	82.7	42.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	2.5	64.6	0.0	301.60
1998	345.4	245.2	213.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	6.6	53.9	0.0	858.96
1999	144.7	262.8	198.6	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	31.4	6.1	0.0	704.65
2000	286.5	207.6	190.3	34.5	1.7	0.0	0.0	0.0	7.0	8.1	95.6	0.0	831.30
2001	193.2	465.5	310.6	54.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	1.5	0.0	0.0	1034.30
2002	56.3	160.6	167.9	45.4	2.8	1.1	0.0	0.0	5.6	37.8	15.6	0.0	493.10
2003	53.0	148.8	139.0	5.4	0.0	0.0	1.6	11.1	83.5	0.0	0.0	0.0	444.90
2004	132.2	170.3	133.2	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	9.1	95.4	0.0	576.10
2005	131.0	128.5	89.7	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	43.5	0.0	453.50
2006	208.9	303.9	289.7	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	2.4	33.8	25.8	882.10
2007	37.9	68.0	106.3	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	32.7	260.70
2008	383.6	426.5	214.9	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.7	54.8	1.5	1173.00
2009	202.0	177.4	165.8	34.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	28.4	16.9	0.0	633.20
2010	53.1	176.0	103.3	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	54.6	0.0	0.0	414.40
2011	319.3	384.6	100.7	65.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	58.2	0.0	934.30
2012	117.4	478.0	230.7	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.8	66.6	0.0	1049.20
2013	86.6	426.4	153.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	4.2	49.0	0.0	742.80
2014	146.7	98.5	216.9	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	11.9	45.0	0.0	539.60
2015	78.3	254.6	338.6	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	4.2	10.2	0.0	708.51
2016	16.5	83.5	146.6	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	2.5	21.1	0.0	255.49
2017	544.7	435.5	430.3	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	20.6	0.0	1368.00
2018	149.9	178.6	180.5	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	536.40
Promedio	136.4	187.5	156.0	25.1	0.2	0.4	0.4	0.3	3.9	5.3	41.1	0.1	558.0
Máximo	544.7	478.0	430.3	127.1	1.7	3.2	0.8	0.7	41.7	31.5	95.6	2.9	1368.0
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1
P-50%	122.1	176.7	155.4	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	35.4	0.0	548.1
P-75%	62.4	93.0	78.1	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	17.1	0.1	382.5
D. Estándar	102.5	121.8	93.2	26.5	1.8	0.4	0.0	0.0	8.0	8.9	28.8	0.4	275.1

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

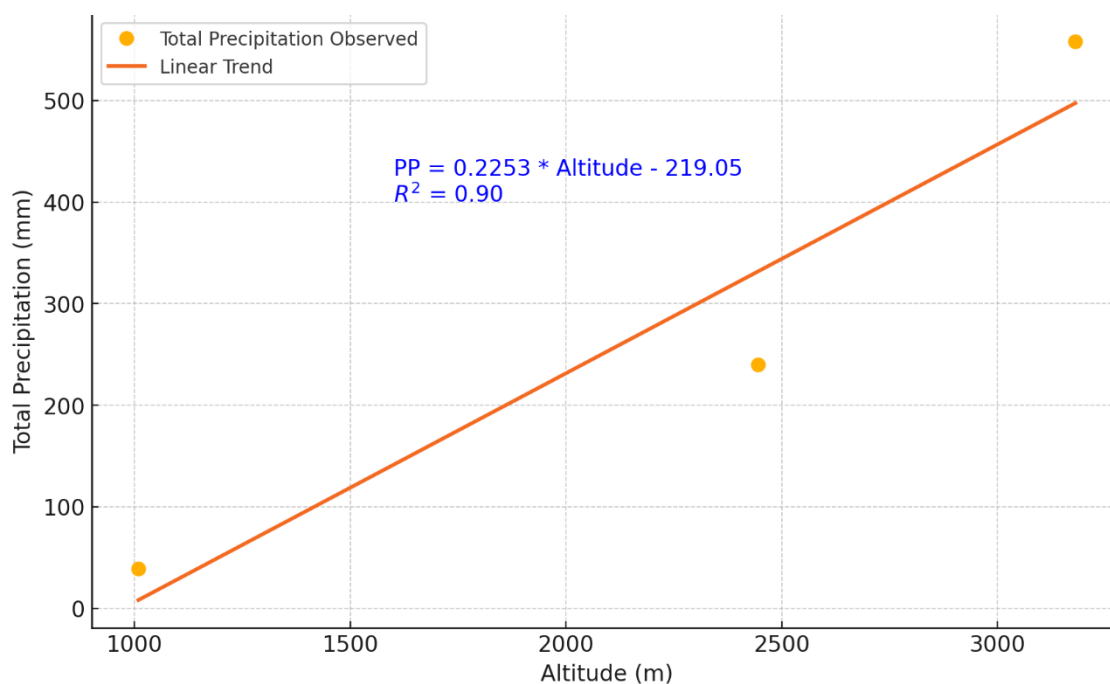
La tabla 11 presenta el promedio mensual de precipitaciones registradas en tres estaciones meteorológicas clave: Pampa Blanca, Llauta y Huac-Huas. Estas estaciones, ubicadas a distintas altitudes en la región de Ayacucho, ofrecen una perspectiva comparativa de las precipitaciones en diversas elevaciones, desde los 1009 msnm hasta los 3180 msnm

Tabla 11*Promedio de lluvias registrado en las diferentes estaciones*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PP total	Altitud
Est. Pampa Blanca	8.6	15.5	11.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.4	2.0	39.3	1009
Est. Llauta	56.1	79.0	70.2	11.2	0.6	0.2	0.2	0.9	0.2	2.5	3.5	15.7	240.1	2445
Est. Huac- Huas	136.4	187.5	156.0	25.1	0.6	0.1	0.2	0.4	1.4	3.9	5.3	41.1	558.0	3180

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

Los datos muestran que, en general, las precipitaciones aumentan con la altitud, siendo la estación de Huac-Huas (3180 msnm) la que registra el mayor promedio total de lluvias anuales (558 mm), mientras que Pampa Blanca (1009 msnm) presenta el menor total anual (39,3 mm). Este patrón sugiere que las zonas más elevadas experimentan mayores niveles de precipitación, un fenómeno común en regiones montañosas debido a la orografía que favorece la condensación del vapor de agua. La metodología empleada se basa en calcular la altura promedio de la cuenca. Utilizando la ecuación regional de precipitación y aplicando un análisis de tendencia lineal, se obtiene una correlación de $R^2 = 0.9047$. Así, la ecuación de tendencia para los datos anuales resulta en $P_p = 0.2253x - 219.05$, lo que permite estimar la precipitación media multianual en cada punto de interés. Dado que la ecuación es de tipo exponencial, se evidencia que la magnitud de la precipitación varía de manera proporcional al cambio en la altitud.

Tabla 12*Precipitación Regional Vs. Altitud**Nota. Elaboración Propia***3.10.2.1. Precipitación media mensual en la zona de estudio**

El promedio mensual de lluvias en la cuenca de estudio se determinará utilizando la relación de altura de precipitación mencionada anteriormente. La estimación de las lluvias en la cuenca se realiza mes a mes para cada año de las series de datos de las estaciones pertenecientes al grupo hidrológico. La ecuación general es la siguiente:

$$P_p = (A \times B) + B$$

Dónde:

P_p : Precipitación

A y B : Constantes determinadas con una estimación lineal de precipitación y la altitud de las estaciones.

Tabla 13*Promedio de lluvias de la estación*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1965	108	120.3	146.8	18	0	0	0	0	0	0	0	5.5	398.7

1966	20.1	98.2	112	0	0	0	0	0	0	60.3	0	16.8	307.2
1967	39.5	381.5	185	121.8	0	0	0	0	0	0	0	10.6	738.1
1968	27.1	21.8	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60.1
1969	99.8	57.5	190.9	0	0	0	0	0	0	0	8.9	0	273
1970	209.9	40.2	42.5	0	0	0	0	0	0	0	8.4	84.7	385
1971	4.9	21.1	37.5	54.1	0	0	0	0	0	0	20.7	20.7	159
1972	199.6	159.2	259.6	0	0	0	0	0	0	0	30.4	0	648.7
1973	98.4	148.4	139	11.1	0	0	0	0	0	0	30.7	217.3	645.9
1974	299	158.5	139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	596.5
1975	64.7	175.9	82.6	27.7	0	0	0	0	0	0	0	62.6	413.5
1976	178.7	266.6	159.5	0	0	0	0	0	0	6.8	32.5	20.4	664.5
1977	4	266.4	193.3	4.2	0	0	0	0	0	6.8	28.1	22.6	525.4
1978	40.2	161.8	49.8	0	0	0	0	0	0	9.7	2.1	0	264.9
1979	25.8	266.2	191.1	0	0	0	0	0	0	0	0	18.1	501.2
1980	89.1	238.3	104.6	43.4	0	0	0	0	0	16.3	35.9	144.4	712.7
1981	113.7	141	218	43.3	0	0	0	0	16.3	0	35.9	144.4	712.7
1982	103.6	102.1	264.7	56.2	4.2	0	0	0	0	0	75.2	7.5	613.5
1983	241.9	341.1	198.1	1.6	0	0	0	0	29.2	72.7	75.2	7.5	666.4
1984	2.1	231.9	57.9	12.7	4.9	0	0	0	6.3	79.5	3.7	75.2	482.5
1985	158.4	148.3	55.5	11.2	0	0	0	0	0	4.2	66.2	4.4	442.8
1986	165.3	42.3	67.7	23.7	0	0	0	0	0	0	0	0	277.4
1987	197.7	147.4	132.4	20.9	0	0	0	0	0	0	0	0	498.3
1988	94.1	371.9	207.4	9.9	0	0	0	0	0	0	5.7	0	689
1989	94.1	371.9	207.4	9.9	0	0	0	0	0	0	5.7	0	689
1990	26.2	0	78	3.8	0	0	0	0	0	36.4	212.3	3.6	360.5
1991	107	23.3	135.5	14.4	0	0	0	0	0	25.8	8.3	11	305.9
1992	4.9	11.4	16.1	1.3	0	0	0	0	3	0	7.7	0	44.3
1993	31.9	190.9	291.6	0.5	0	0	0	0	0	1.1	38.1	0	553.9
1994	175.1	186.5	59.4	26.9	2.3	0	0	0	0	0	0	51.1	501.1
1995	155	19	205.3	7.8	1.1	0	0	0	0	32.1	28.8	0	449.1
1996	113.7	217.3	188.3	0	0	0	0	0	4	4	0	0	492.6
1997	112.9	131.3	71.7	0	0	0	0	0	60.9	1.9	0	83.9	462.6
1998	352.7	264.1	188.6	0	0	0	0	0	0	25.8	84.4	0	915.5
1999	95.8	365.3	142.8	26.6	0	0	0	0	1.1	25.2	25.8	3.1	685.7
2000	208.7	169.6	129.2	50.7	2.3	0	0	0	6.6	7.4	31.7	0	600.2
2001	103	264.3	214	27.1	0	0	0	0	0	2.5	0	0	610.8
2002	60.7	116.5	142.7	47.1	0	0	0	0	0	53.7	16.7	0.6	445
2003	18.8	93	85.8	18.6	0	0	0	0	0	0	51	3.2	270.4
2004	91.3	61.9	106.3	18	0	0	0	0	4.7	1.3	11.7	3.7	323.9
2005	45.5	164.6	25.6	7.4	0	0	0	0	0	66.6	8.8	15.5	328.9
2006	120.5	256	197.5	32.1	0	0	0	0	5.9	8.9	34	28.5	683.5
2007	12.9	107.6	72.5	9.3	0	0	0	0	8	10.6	16.2	0	226.2
2008	256.7	320.9	107.4	24.9	0	0	0	0	0	22.3	0	81.3	815.5
2009	172.7	241.2	153.7	47.8	0	0	0	0	24.7	12.9	4.9	0	658
2010	37.2	66.8	79.3	29.4	4	0	0	0	0	0	46.9	25.6	259.6

2011	170.6	339.5	80.8	29.8	0.4	0	0	0	0	0.6	64.7	6.2	692
2012	59	368.9	99.2	77.6	0	0	0	0	0	24.7	0	35.7	665.1
2013	64.7	302.3	94.3	0	0	0	0	0	0	19.2	0	53.7	550.1
2014	93	67.7	195.4	11.6	0	0	0	0	9.7	0	44.4	0.4	422.2
2015	91.1	207	346.3	72.5	0	0	0	2.7	0	2.5	0	15.4	722.1
2016	6.8	90.1	128.8	50.1	0	0	0	0	0	2.3	5.1	7.2	291.1
2017	574.4	311.6	508.1	118.5	1.9	0	0	2.3	2.5	5.1	2.5	212.3	1524.5
2018	171.9	150.7	149.9	29.4	23.3	18.2	2	0	0	0.5	1.6	0	545.4
PROMEDIO	118.6	167	148.3	23.7	1.4	0.4	0.3	1.8	0.4	5.2	7.4	33.2	507.6
Máximo	574.4	391.8	508.1	121.8	23.3	18.2	2	7.7	6.9	60.3	77.2	212.3	1524.5
Mínimo	0	0	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.3
P-50%	95.8	154.4	133.9	16.2	0	0	0	0	0	10.1	0	21.4	497.7
P-75%	37.8	67	86.1	5	0	0	0	1.1	0.4	5.8	5.8	307.9	253.8
D. Estándar	109.1	114	86.3	27.2	4.3	1.3	0.5	8.6	1.1	11.1	15.5	40.8	253.8

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

3.10.3. Modelo para estimación de la oferta hídrica

La investigación sobre sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo busca identificar cómo el recurso hídrico disponible puede ser aprovechado para el desarrollo agrícola, especialmente en el cultivo de palto, sin comprometer su permanencia en el tiempo. En este proceso, la oferta hídrica, es decir, el volumen de agua disponible que fluye a través de la cuenca, interviene de manera directa al definir del cuánto puede ser recurso empleado en actividades productivas. Este análisis permite observar cómo interactúan las precipitaciones, la capacidad de escorrentía y el área de la cuenca para determinar el flujo de agua que llega a la superficie, lo cual afecta las decisiones sobre cómo se puede y debe utilizar este recurso en beneficio de la actividad agrícola. La estimación de la oferta hídrica aporta información clave para valorar si el recurso disponible en la quebrada Saucillo puede cubrir la demanda del cultivo de palto, considerando las variaciones en la disponibilidad mensual de agua. De esta forma, el análisis no solo permite prever los períodos de mayor y menor disponibilidad de agua, sino que también ayuda a evaluar la capacidad de la cuenca para abastecer las necesidades de riego en épocas de menor precipitación. A su vez, esto influye en las prácticas de manejo que los agricultores deberán implementar para asegurar que el uso del agua sea racional y que las épocas de escasez no afecten negativamente el rendimiento del cultivo.

El cálculo detallado de la oferta hídrica implica analizar varios elementos, como el coeficiente de escorrentía y las precipitaciones en diferentes periodos. Estos datos se procesan mediante un modelo en Python que, al integrar los valores de precipitación mensual y anual con el área de la cuenca y el número de curva (CN) (Ver Tabla 6 y Tabla 9), proporciona estimaciones del volumen de agua en metros cúbicos (m³). Este enfoque permite tener una visión cuantitativa de la disponibilidad de agua, lo cual contribuye a la toma de decisiones más informadas sobre la gestión del recurso hídrico en el sector agrícola de la quebrada.

```
import numpy as np

# Datos proporcionados
precipitaciones_anuales = [
    188.6, 145.31, 349.1, 28.4, 157.5, 182.1, 90.2, 300.5, 161.8,
    287.3,
    276.1, 391.1, 245.3, 176.9, 125.3, 113.9, 337.1, 255.6, 285.5,
    416.1,
    228.2, 442.8, 131.2, 235.7, 325.9, 170.5, 144.7, 20.94, 261.96,
    237,
    212.4, 233, 218.8, 344.4, 283.9, 283.9, 288.9, 210.7, 127.9, 153.2,
    146.54, 323.3, 107, 385.6, 311.2, 122.8, 327.3, 314.6, 260.6,
    199.7,
    341.6, 137.7, 721.04, 257.96
]

años = [
    1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975,
    1976, 1977, 1978, 1979, 1980,
    1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991,
    1992, 1993, 1994, 1995, 1996,
    1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007,
    2008, 2009, 2010, 2011, 2012,
    2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018
]

# Promedio de lluvias mensual registrado en la estación Llauta (en mm)
precipitaciones_mensuales = [56.1, 79.0, 70.2, 11.2, 0.6, 0.2, 0.2,
0.9, 0.0, 2.5, 3.5, 15.7]

# Datos de la cuenca
A_km2 = 23.51 # Área de la cuenca en km^2

# Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) usando el Número de Curva (CN)
CN = 32 # Número de curva asumido
denominador = (100 - CN) + ((CN - 20) ** 2)
C = ((CN - 20) ** 2) / denominador

# Conversión de unidades
A_m2 = A_km2 * 1e6 # Convertir km^2 a m^2
```

```

# Cálculo de la oferta hídrica potencial mensual (Q) para cada mes
oferta_hidrica_mensual = []
for PMM_mm in precipitaciones_mensuales:
    PMM_m = PMM_mm / 1000 # Convertir mm a metros
    Q_m3 = PMM_m * A_m2 * C # Oferta hídrica en m^3
    oferta_hidrica_mensual.append(Q_m3)

# Resultados
print("Años considerados: ", años)
print(f"El coeficiente de escorrentía calculado es aproximadamente {C:.2f}.")
print("Oferta hídrica mensual (m³/mes):")
meses = ["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre"]
for mes, oferta in zip(meses, oferta_hidrica_mensual):
    print(f"{mes}: {oferta:.2f} m³")

```

La Tabla 14 muestra la oferta hídrica estimada para cada mes en metros cúbicos (m³), permitiendo observar la variabilidad mensual en la disponibilidad de agua en la quebrada Saucillo.

Tabla 14

Oferta hídrica estimada

Mes	Oferta Hídrica (m³/mes)
Enero	895.864,08
Febrero	1.261.555,47
Marzo	1.121.027,77
Abril	178.853,43
Mayo	9.581,43
Junio	3.193,81
Julio	3.193,81
Agosto	14.372,15
Septiembre	3.193,81
Octubre	39.922,64
Noviembre	55.891,70
Diciembre	250.714,19

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 14 se puede inferir lo siguiente:

a) Meses de alta disponibilidad de agua:

- Durante los primeros meses del año, especialmente enero, febrero y marzo, la oferta hídrica es significativamente alta, con valores de 895.864,08 m³, 1.261.555,47 m³ y 1.121.027,77 m³, respectivamente. Esto coincide con los meses de mayor precipitación, indicando que el recurso hídrico está en su punto más abundante en esta época.
- Esta disponibilidad elevada sugiere que durante estos meses se podría aprovechar el agua para el riego intensivo o para el almacenamiento, lo cual podría garantizar un suministro adecuado en los meses más secos. Además, esta abundancia de agua podría utilizarse en estrategias de recarga de acuíferos o en sistemas de captación y almacenamiento.

b) Meses de baja disponibilidad de agua:

- Entre mayo y septiembre, la oferta hídrica cae a niveles muy bajos. Por ejemplo, en mayo y junio, la oferta hídrica se reduce a 9.581,43 m³ y 3.193,81 m³, respectivamente, y permanece baja en julio y septiembre con 3.193,81 m³. Estos valores reflejan una disminución considerable en la disponibilidad de agua, probablemente debido a la reducción en las precipitaciones.
- Estos meses de baja disponibilidad sugieren la necesidad de prácticas de manejo del agua que optimicen su uso, como el riego por goteo o el uso de cultivos de cobertura que reduzcan la evapotranspiración. En esta etapa también es relevante el almacenamiento de agua de los meses anteriores, de forma que se mantenga un suministro estable para el riego del cultivo de palto.

c) Transición en la disponibilidad de agua:

- En los meses de abril y diciembre, hay una oferta hídrica moderada, con 178.853,43 m³ en abril y 250.714,19 m³ en diciembre. Estos valores marcan la transición entre los meses húmedos y secos y pueden representar momentos en los que la recarga hídrica comienza a disminuir o, en el caso de diciembre, a recuperarse.
- Estos meses son claves para la planificación de riego, pues se puede empezar a evaluar la cantidad de agua que será necesaria para los próximos meses secos. En abril, podría comenzar a implementarse una disminución en la frecuencia de riego,

mientras que en diciembre se puede considerar el inicio de un uso más intensivo del agua, aprovechando la disponibilidad moderada antes del periodo de alta oferta.

d) Meses intermedios con oferta reducida:

- Meses como octubre y noviembre presentan valores ligeramente superiores a los de los meses secos, con 39.922,64 m³ y 55.891,70 m³ de oferta hídrica respectivamente. Aunque estos valores aún son bajos, podrían usarse para actividades agrícolas que no demanden grandes cantidades de agua o, en el caso de noviembre, como un inicio de preparación para la temporada alta de agua.

3.11. Análisis y estimación de la demanda hídrica

La estimación de la demanda hídrica en el cultivo de palto en la quebrada Saucillo es un paso importante para comprender el volumen de agua necesario para satisfacer los requerimientos de este cultivo a lo largo del año. En esta investigación, se considera un área de 4 hectáreas dedicadas exclusivamente al cultivo de palto, cuya demanda varía en función de las diferentes etapas de desarrollo de la planta y de las condiciones climáticas que afectan la evapotranspiración. Para calcular dicha demanda, se toma en cuenta dos factores principales: el cronograma de siembra, los coeficientes de cultivo (K_c) y el requerimiento de volumen total, los cuales permiten ajustar el consumo hídrico a las necesidades específicas de la planta en cada mes.

La Tabla 15 muestra el área de siembra destinada al cultivo de palto, que es de 4 hectáreas, y evidencia que esta área se mantiene constante durante todo el año. Este cronograma indica una siembra estable, sin variaciones en el área cultivada de un mes a otro. Esto sugiere una demanda hídrica continua y relativamente predecible, lo que permite una planificación de riego constante y uniforme a lo largo del año. El hecho de que el área de cultivo se mantenga en 4 hectáreas mensualmente implica que la variación en la demanda hídrica no proviene de cambios en la extensión del área sembrada, sino de las necesidades específicas del cultivo según su etapa de crecimiento y el ciclo de desarrollo anuales.

Tabla 15*Programa y cronograma de siembra*

Primera Principal	Meses - Área (Has)											
Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Palto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Nota. Elaboración propia

La Tabla 16 presenta los valores del coeficiente de cultivo (Kc) del palto para cada mes del año. El coeficiente Kc es un valor que representa la relación entre la evapotranspiración del cultivo específico y la evapotranspiración de referencia (ET_o).

Tabla 16*Coeficientes Kc para el cultivo*

Primera Principal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
CULTIVO	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
PALTO	0,65	0,65	0,65	0,65	0,4	0,5	0,6	0,6	0,65	0,65	0,65	0,65

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

A través de estos valores, se puede ajustar la demanda de agua de acuerdo con las necesidades específicas del palto en cada etapa de su crecimiento y con las condiciones climáticas.

- **Meses de alta demanda hídrica:** De enero a abril y de septiembre a diciembre, el Kc se mantiene en 0.65, lo cual indica que, durante estos periodos, el cultivo del palto requiere una cantidad significativa de agua para satisfacer sus necesidades de crecimiento y mantenimiento. Estos meses coinciden con etapas del ciclo de desarrollo del cultivo que exigen un riego más constante, lo que es crucial para el mantenimiento de la productividad y la salud de la planta.
- **Meses de baja demanda hídrica:** Entre mayo y agosto, los valores de Kc disminuyen, llegando al mínimo de 0.4 en mayo. Esta reducción sugiere que en estos meses el cultivo entra en una etapa de menor actividad fisiológica, lo cual

se traduce en una demanda hídrica más baja. Esto puede deberse a una combinación de factores como temperaturas más bajas o menor actividad vegetativa, y permite realizar un riego menos frecuente o de menor intensidad durante estos meses.

El análisis de la demanda hídrica permite organizar y ajustar el uso del agua de manera adecuada para el cultivo de palto en la quebrada Saucillo. La tabla 17 proporciona detalladamente el volumen total de agua requerido para este cultivo, distribuyéndolo mes a mes y considerando variables clave como la evapotranspiración (E_{tp}), el coeficiente de cultivo (K_c) y la precipitada efectiva. Esta información ayuda a comprender cómo varía el consumo de agua a lo largo del año y adaptar la gestión hídrica a las necesidades específicas del cultivo en cada fase de su ciclo anual.

Al contar con estos datos desglosados, es posible identificar los períodos de mayor y menor consumo de agua y tomar decisiones informadas sobre la cantidad de agua que debe aplicarse en cada mes. De esta manera, se optimiza el uso del recurso y se asegura que las necesidades del cultivo estén cubiertas sin incurrir en un gasto innecesario de agua.

Para la presente estimación se considerará como punto de referencia el mes de enero, dado que representa uno de los meses con mayor evapotranspiración potencial (E_{tp}) en la zona de estudio y, por tanto, una demanda significativa de agua para el cultivo de palto. El cálculo del volumen requerido de agua se ha realizado en etapas sucesivas, empleando las siguientes fórmulas:

1. Uso consuntivo (UC)

Corresponde al requerimiento neto del cultivo en base a la evapotranspiración potencial y el coeficiente del cultivo:

$$UC = E_{tp} \times K_c$$

Donde:

- E_{tp} : Evapotranspiración potencial mensual (mm)
- K_c : Coeficiente del cultivo

Para enero:

$$UC = 130,33mm \times 0.65 = 84,7145 mm$$

2. Requerimiento de agua (Req. Agua)

Se obtiene descontando la precipitación efectiva del uso consuntivo:

$$Req. Agua = UC - P_{efectiva}$$

Para enero:

$$Req. Agua = 84.71mm - 35.5mm = 49.2145mm$$

3. Volumen neto por hectárea

Se convierte el requerimiento de agua (en mm) a volumen, considerando que 1 mm equivale a 10 m³ por hectárea:

$$Vol. Neto = Req. Agua \times 10 = 49.2145 \times 10 = 492,145 m^3/ha$$

4. Volumen bruto por hectárea

Se ajusta el volumen neto según la eficiencia del sistema de riego:

$$Vol. Bruto = (Vol. Neto)/Eficiencia = 492.1/0.5 = 984.29 m^3/ha$$

5. Volumen total para el área sembrada

El cultivo abarca una superficie de 4 hectáreas, por lo tanto:

$$Vol. Total = 984.2 \times 4 = 3,937.16 m^3$$

Este valor coincide con el volumen bruto estimado en la tabla 17 para el mes de enero.

6. Caudal requerido (Q demanda)

Para estimar el caudal en litros por segundo requerido para abastecer dicho volumen, se emplea la fórmula:

$$Q = (Volumen Bruto Total (m^3))/(N \times 3600 \times D)$$

Donde:

- N = horas de riego por día (24 h)
- D = días del mes (31 en enero)

$$Q = 3,937.16 / (24 \times 3600 \times 31) \approx 1.47 \text{ l/s}$$

Los datos completos para todos los meses se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 17

Requerimiento de volumen total (m³ /mes) – Cultivo de palto

VARIABLES	UNID	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Etp	mm	130,33	124,92	138,31	108,11	85,11	56,63	58,52	69,15	84,94	98,41	102,96	127,67	
Kc	***	0,65	0,65	0,65	0,65	0,4	0,5	0,6	0,6	0,65	0,65	0,65	0,65	
UC	mm	84,71	81,2	89,9	70,27	34,04	28,32	35,11	41,49	55,21	63,97	66,92	82,99	
P, Efectiva	mm	35,5	59,8	74,2	5	0	0	0	0	0	0	0	5,8	
Req, Agua	mm	49,21	21,4	15,7	65,27	34,04	28,32	35,11	41,49	55,21	63,97	66,92	77,19	
Req, Vol, Neto	m3/ha	492,145	213,98	157,015	652,715	340,44	283,15	351,12	414,9	552,11	639,665	669,24	771,855	5538,34
Eficiencia	***	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Req, Vol, Bruto	m3/ha	984,29	427,96	314,03	1305,43	680,88	566,3	702,24	829,8	1104,22	1279,33	1338,48	1543,71	11076,67
Nro Horas	horas	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
MR	lts/ha	0,37	0,18	0,12	0,5	0,25	0,22	0,26	0,31	0,43	0,48	0,52	0,58	
Área Total	ha	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Q, Demanda	l/s	1,47	0,71	0,47	2,01	1,02	0,87	1,05	1,24	1,7	1,91	2,07	2,31	
Req, Vol, Bruto	m3	3937,2	1711,8	1256,1	5221,7	2723,5	2265,2	2,809.00	3319,2	4416,9	5117,3	5353,9	6174,8	44306,68
Total (m3/año)														44306,68
Total (Hm3/año)														0,044

Nota. Información tomada del Informe Técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM. Fuente (Palomino y Serna, 2021).

a) Evapotranspiración (Etp):

- La Etp, medida en milímetros (mm), representa la cantidad de agua que el cultivo necesita en función de la temperatura y otros factores ambientales. Se observa una tendencia más alta en los meses de verano (enero, febrero, marzo y diciembre), con valores de 130.33 mm, 124.92 mm, 138.31 mm, y 127.67 mm, respectivamente. Esto indica una mayor demanda de agua en estas épocas debido a temperaturas más elevadas y mayor radiación solar.
- Durante los meses más fríos y menos demandantes, como mayo a julio, la Etp disminuye significativamente, reflejando menores necesidades de riego en estos períodos.

b) Coeficiente de cultivo (Kc):

- El Kc ajusta la evapotranspiración de referencia para reflejar las necesidades específicas del palto en cada etapa de su desarrollo. Los valores de Kc son más altos (0.65) en los meses de crecimiento activo y desarrollo del cultivo, como enero a abril y septiembre a diciembre. Durante los meses intermedios (mayo a agosto), el Kc baja a valores entre 0.4 y 0.6, lo que implica que el cultivo tiene una menor demanda hídrica en estas etapas.

c) Requerimiento de agua y volumen neto (Req. Agua y Req. Vol. Neto):

- El requerimiento de agua mensual (en mm) y el volumen neto de agua necesario (en m³/ha) muestran cuánto necesita el cultivo después de considerar la precipitación efectiva.
- En los meses de alta demanda, como abril, el volumen neto requerido alcanza hasta 652.715 m³/ha, mientras que en meses de menor demanda, como marzo y julio, el volumen es mucho menor, con 157.015 m³/ha y 351.12 m³/ha, respectivamente. Esta variabilidad refleja la adaptación del riego a las condiciones climáticas y la etapa del cultivo.

d) Eficiencia del riego y requerimiento de volumen bruto (Req. Vol. Bruto):

- La eficiencia de riego se mantiene constante en 0,5. Esto significa que, debido a pérdidas en el sistema de riego, solo el 50% del agua aplicada es efectiva para el

cultivo. Por lo tanto, el volumen bruto (agua realmente aplicada) es el doble del volumen neto requerido.

- Los valores de volumen bruto varían considerablemente a lo largo del año, alcanzando hasta 1543.71 m³/ha en diciembre y siendo mínimos en meses como marzo (314.03 m³/ha). Esto sugiere una necesidad de ajustar la cantidad de agua suministrada en función de las necesidades efectivas de cada período.

e) Demanda de caudal (Q, Demanda):

- La demanda de caudal en litros por segundo (l/s) también varía mensualmente, alcanzando su pico en diciembre con 2,31 l/s y valores más bajos en marzo con 0,47 l/s. Este dato es relevante para dimensionar la infraestructura de riego, ya que permite planificar el suministro de agua en función de las demandas pico.

f) Requerimiento de volumen total bruto (m³):

- El volumen total bruto de agua requerido para el cultivo de palto durante el año asciende a 44306,68 m³. Esto es el agua total que debe aplicarse al cultivo teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego.
- En términos de hectómetros cúbicos (Hm³), esto equivale a 0,044 Hm³/año, proporcionando una perspectiva global de la demanda hídrica anual del cultivo.

3.11.1. Modelo para estimación de la demanda hídrica

El modelo de estimación de la demanda hídrica busca calcular las necesidades de agua del cultivo de palto en la quebrada Saucillo, tomando en cuenta factores climáticos y características específicas del cultivo. Este modelo permite ajustar el riego de acuerdo con la variabilidad mensual de la demanda de agua, lo que contribuye a un uso más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

```
import pandas as pd

meses = ["Ene", "Feb", "Mar", "Abr", "May", "Jun", "Jul", "Ago", "Set",
"Oct", "Nov", "Dic"]

# Evapotranspiración (Etp) en mm
```

```

etp_values = [130.33, 124.92, 138.31, 108.11, 85.11, 56.63, 58.52,
69.15, 84.94, 98.41, 102.96, 127.67]

# Coeficiente de cultivo (Kc) para el palto
kc_values = [0.65, 0.65, 0.65, 0.65, 0.4, 0.5, 0.6, 0.6, 0.65, 0.65,
0.65, 0.65]

# Precipitación efectiva (P. Efectiva) en mm
p_efectiva_values = [35.5, 59.8, 74.2, 5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 5.8]

data = {
    "Mes": meses,
    "Etp (mm)": etp_values,
    "Kc": kc_values,
    "P. Efectiva (mm)": p_efectiva_values
}
df = pd.DataFrame(data)

# Evapotranspiración de Referencia (ETo)
df["ETo (mm)"] = df["Etp (mm)"] * df["Kc"]

# Precipitación Efectiva (Pe)
df["Pe (mm)"] = df["P. Efectiva (mm)"]

# Mostrar resultados
print(df)

df.to_csv("eto_pe_calculations.csv", index=False)

```

En el código, se está implementando un modelo en Python utilizando datos de evapotranspiración (Etp), coeficiente de cultivo (Kc), y precipitación efectiva (P. Efectiva) para cada mes (Ver Tabla 16). A partir de estos valores, se calcula la evapotranspiración de referencia ajustada (ETo) y la precipitación efectiva (Pe), dos parámetros fundamentales para estimar la cantidad de agua que debe aplicarse al cultivo.

- a) **Evapotranspiración (Etp):** Representa la cantidad de agua que se pierde debido a la combinación de evaporación y transpiración del cultivo en condiciones específicas de clima. Estos valores varían mes a mes, reflejando la influencia de la temperatura y otros factores ambientales.
- b) **Coeficiente de Cultivo (Kc):** Este coeficiente ajusta la Etp para el cultivo de palto en particular, teniendo en cuenta las diferentes fases de crecimiento y la capacidad del palto para extraer agua. Un valor más alto de Kc indica una mayor necesidad de agua por parte del cultivo, mientras que valores más bajos reflejan una menor demanda.

- c) **Precipitación efectiva (P. Efectiva):** Este parámetro representa la cantidad de lluvia que es realmente aprovechada por el cultivo, después de descontar las pérdidas por escorrentía y otros factores. La precipitación efectiva reduce la cantidad de riego necesaria en meses con mayor disponibilidad de agua de lluvia.
- d) **Evapotranspiración de referencia ajustada (ETo):** Calculada multiplicando la Etp por el Kc, la ETo representa el volumen de agua necesario para cubrir la demanda de evapotranspiración del palto. Este valor varía a lo largo del año y depende de las condiciones climáticas y de la etapa de crecimiento del cultivo.

La Tabla 18 proporciona una visión detallada de los parámetros mensuales de riego estimados para el cultivo de palto, que son clave para entender las necesidades de agua del cultivo a lo largo del año.

Tabla 18

Parámetros mensuales de riego estimados para cultivo de Palto

Mes	ETP (mm)	Kc	P. Efectiva (mm)	ETo (mm)	Pe (mm)
Ene	130.33	0,65	35.5	84,71	35.5
Feb	124,92	0,65	59,8	81.2	59,8
Mar	138.31	0,65	74.2	89,90	74.2
Abr	108.11	0,65	5	70.27	5
May	85.11	0,40	0	34.04	0
Jun	56,63	0,50	0	28.32	0
Jul	58,52	0,60	0	35.11	0
Ago	69,15	0,60	0	41,49	0
Sept	84,94	0,65	0	55.21	0
Oct	98,41	0,65	0	63,97	0
Nov	102,96	0,65	0	66,92	0
Dic	127,67	0,65	5.8	82,99	5.8

Nota. Elaboración propia

A continuación, se explican los resultados de cada columna y cómo varían mes a mes:

a) Evapotranspiración (ETP en mm):

- Representa la cantidad de agua que se evapora y transpirada en cada mes, afectada por las condiciones climáticas, especialmente la temperatura y la radiación solar.

- Los valores son más altos en los meses de verano (enero, febrero, marzo y diciembre), con valores como 130,33 mm en enero y 127,67 mm en diciembre. Estos resultados reflejan que el cultivo necesita más agua en estas épocas debido a las altas temperaturas.
- En los meses de invierno, como mayo y junio, la ETP disminuye considerablemente (por ejemplo, 85,11 mm en mayo y 56,63 mm en junio), lo que implica una menor demanda hídrica debido a condiciones climáticas más frescas.

b) Coeficiente de cultivo (Kc):

- El valor de Kc ajusta la ETP para el cultivo específico del palto, y cambia en función de la etapa de crecimiento de la planta.
- Durante la mayoría de los meses, el Kc se mantiene en 0.65, indicando una demanda de agua constante en esos períodos.
- Sin embargo, en los meses de mayo a agosto, el Kc disminuye (a 0,4 en mayo y 0,5-0,6 en junio, julio y agosto). Estos valores más bajos reflejan que el palto requiere menos agua durante estos meses, probablemente porque está en una fase de menor actividad vegetativa.

c) Precipitación efectiva (P. Efectiva en mm):

- Representa la cantidad de precipitación que realmente puede ser aprovechada por el cultivo, descontando las pérdidas por escorrentía y otros factores.
- Se observa que en la mayoría de los meses no hay precipitaciones efectivas, reflejando la estación seca de la región, excepto en meses como enero (35.5 mm), febrero (59.8 mm), marzo (74.2 mm), abril (5 mm) y diciembre (5,8 mm). Esto sugiere que, durante estos meses, parte de las necesidades de agua del cultivo pueden ser cubiertas naturalmente por la lluvia, reduciendo la necesidad de riego adicional.

d) Evapotranspiración de referencia ajustada (ETo en mm):

- Calculada como el producto de la ETP y el Kc, este valor representa el agua necesaria para satisfacer la demanda de evapotranspiración específica del palto.

- Los valores de ETo reflejan la demanda hídrica ajustada del cultivo y son más altos en los meses de verano y de crecimiento activo, con un máximo de 89,9 mm en marzo. En meses de menor actividad y menor Kc, como junio (28.32 mm), la ETo es considerablemente más baja.

e) Precipitación efectiva total (Pe en mm):

- Esta columna es una repetición de los valores de P. Efectiva y destaca que solo en algunos meses la precipitación aporta agua al cultivo de palto.
- En la mayoría de los meses secos (mayo a noviembre), Pe es 0 mm, lo que implica que toda la demanda hídrica debe cubrirse mediante riego en esos períodos.

La demanda neta de riego (DNR) es un indicador importante para planificar la cantidad de agua necesaria para el cultivo de palto, considerando tanto las necesidades de evapotranspiración como la contribución de la precipitación efectiva. La Tabla 19 muestra la demanda hídrica estimada para cada mes del año, incluyendo la evapotranspiración de referencia ajustada (ETo), la precipitación efectiva (Pe), y la demanda neta de riego (DNR), expresadas en milímetros.

Tabla 19

Demanda hídrica estimada

Mes	ETo (mm)	Pe (mm)	DNR (mm)
Ene	84,71	35.5	49.21
Feb	81.20	59,8	21.40
Mar	89,90	74.2	15,70
Abr	70.27	5	65,27
May	34.04	0	34.04
Jun	28.32	0	28.32
Jul	35.11	0	35.11
Agos	41,49	0	41,49
Sept	55.21	0	55.21
Oct	63,97	0	63,97
Nov	66,92	0	66,92
Dic	82,99	5.8	77,19

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 19 se infiere lo siguiente:

a) Meses de alta demanda neta de riego:

- Los valores más altos de demanda neta de riego (DNR) se observan en abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, con 65,27 mm, 55,21 mm, 63,97 mm, 66,92 mm, y 77,19 mm, respectivamente. Esto se debe a la baja emisión efectiva durante estos meses, lo que hace que el riego sea la única fuente de agua para cubrir las necesidades del cultivo.
- En estos meses, la ausencia de lluvias efectivas obliga a depender completamente del riego suplementario, lo que incrementa la cantidad de agua que debe aplicarse manualmente para satisfacer las necesidades del cultivo.

b) Meses de baja demanda neta de riego:

- En enero, febrero y marzo, la DNR es más baja, alcanzando valores de 49 mm, 21,4 mm, y 15,7 mm, respectivamente. Esto se debe a que la contaminación efectiva es considerable en estos meses (35.5 mm en enero, 59.8 mm en febrero y 74.2 mm en marzo), lo cual reduce la necesidad de riego.
- Durante estos meses, el agua de lluvia cubre una parte importante de la demanda del cultivo, disminuyendo así la cantidad de agua que debe ser aplicada mediante sistemas de riego, lo cual resulta beneficioso en términos de ahorro y eficiencia del uso del recurso hídrico.

c) Meses sin precipitación efectiva:

- Entre mayo y noviembre, la contaminación efectiva (Pe) es nula, lo que implica que toda la demanda de agua debe ser satisfecha mediante el riego. En estos meses, la DNR coincide con la ETo, indicando que no hay aporte de lluvias y que la totalidad de la evapotranspiración debe ser cubierta de forma artificial.
- Por ejemplo, en mayo y junio, los valores de DNR son 34.04 mm y 28.32 mm, respectivamente, reflejando la necesidad de aplicar riego para suplir completamente la evapotranspiración.

d) Variabilidad en la demanda hídrica:

- Los meses como abril y diciembre muestran una combinación de alta ETo y baja Pe, lo que resulta en una DNR alta. Por ejemplo, en diciembre, aunque hay una pequeña cantidad de precipitación efectiva (5.8 mm), esta no es suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo, lo que lleva a una DNR elevada de 77.19 mm.
- En febrero y marzo, la Pe supera o se aproxima a la ETo, resultando en una DNR baja. Esto muestra cómo la lluvia puede reducir significativamente la necesidad de riego suplementario, mejorando la eficiencia en el uso del agua.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo

4.1.1. Calidad del agua en la quebrada Saucillo

Para asegurar que el agua de la quebrada Saucillo sea apta para el cultivo de palto, se han evaluado diversos parámetros fisicoquímicos, inorgánicos, nutrientes y metales según los datos presentados en la Tabla 4. Estos parámetros se comparan con los estándares establecidos en la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, que aplica a aguas destinadas a riego de cultivos.

I. PARÁMETROS DE CAMPO Y FÍSICOS

- a) **pH:** El pH registrado es 6.93, lo cual se encuentra dentro del rango ideal para el cultivo de palto, que prospera en suelos con un pH entre 6.0 y 7.5. Además, este valor cumple con el rango recomendado por los ECA (6.5-8.5), lo cual indica que el agua es adecuada en cuanto a acidez/alcalinidad.
- b) **Conductividad eléctrica (CE):** La conductividad eléctrica es 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica un bajo nivel de salinidad. Este valor está muy por debajo del límite establecido por los ECA para la categoría de riego (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que significa que el agua es adecuada para el cultivo sin riesgo de salinización del suelo. Valores bajos de CE aseguran que las sales presentes en el agua no afectan negativamente al palto, que es sensible a niveles altos de salinidad.
- c) **Temperatura:** La temperatura del agua es de 18°C, lo cual es adecuada para el uso en riego agrícola. Esta temperatura no representa un riesgo térmico para el cultivo ni para la estructura del suelo.
- d) **Oxígeno disuelto (O_2):** El nivel de oxígeno disuelto es de 4 mg/L, que cumple con el estándar mínimo requerido por los ECA para la categoría de riego agrícola (≥ 4 mg/L). Esto indica que el agua tiene suficiente oxigenación, lo cual contribuye al desarrollo saludable de las raíces y la vida microbiana beneficiosa en el suelo.

II. PARÁMETROS INORGÁNICOS Y DE CALIDAD DEL AGUA

a) **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO):** La DBO es menor a 2 mg/L, y la DQO es de 16 mg/L, ambos valores se encuentran bien por debajo de los límites máximos establecidos por los ECA (DBO: 15 mg/L, DQO: 40 mg/L). Estos resultados sugieren que el agua no contiene una carga significativa de materia orgánica biodegradable, lo cual es favorable para evitar la acumulación de contaminantes que pueden afectar negativamente al cultivo.

b) **Sólidos suspendidos totales (SST):** Los SST registrados son 31 mg/L. Aunque no hay un límite específico para este parámetro en el contexto de los ECA para riego, un nivel bajo de sólidos suspendidos favorece la eficiencia del riego y previene la obstrucción de los sistemas de distribución de agua.

c) Metales y metaloides:

- Según los datos de la Tabla 4, los niveles de algunos metales deben considerarse cuidadosamente. El manganeso (Mn tot) se presenta con un valor de 0.54 mg/L, que excede el límite permitido por los ECA para riego agrícola (0.2 mg/L). Aunque este nivel no representa un problema grave a corto plazo, el uso continuado del agua con este contenido de manganeso podría afectar la salud del cultivo, ya que puede interferir con la absorción de otros nutrientes.
- Otros metales como hierro (2.039 mg/L) y aluminio (3.27 mg/L) se encuentran dentro de los límites recomendados por los ECA para el riego, pero al estar relativamente cerca de los límites permitidos, requieren monitoreo constante para asegurar que no se acumulan y afectan la calidad del suelo y la productividad del cultivo.
- La concentración de otros metales como arsénico (0.0015 mg/L), plomo (0.0028 mg/L) y cromo (< 0.0007 mg/L) se encuentran muy por debajo de los límites de seguridad, lo cual indica que no hay un riesgo significativo de toxicidad para el cultivo.

- d) Nutrientes:** Se registran concentraciones muy bajas de nitratos ($0,17 \text{ mg NO}_3/\text{l}$) y nitratos como N ($0,088 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$). Estos niveles bajos son adecuados para el cultivo, ya que el exceso de nitratos puede causar problemas de fertilización y afectación en la calidad del suelo.

III. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL AGUA PARA EL CULTIVO DE PALTO

Los resultados obtenidos a partir de los datos de la Tabla 4 para la quebrada Saucillo y el río Vizcas sugieren que, en general, el agua es adecuada para el riego del cultivo de palto, cumpliendo con la mayoría de los estándares de calidad establecidos por los ECA para la categoría de riego agrícola.

- Los valores de pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, DBO, DQO, y la mayoría de los metales cumplen con los niveles recomendados para riego. Estos parámetros aseguran que el agua no causa efectos adversos significativos en el cultivo o en el suelo.
- Sin embargo, el nivel de manganeso (0.54 mg/L) excede los niveles recomendados, lo cual podría representar un riesgo a largo plazo si no se gestiona adecuadamente o si no se realiza un monitoreo regular. Un exceso de manganeso puede interferir con la absorción de otros nutrientes por parte de las plantas y afectar el desarrollo de las raíces.

En base a todo lo anterior el agua de la quebrada Saucillo puede ser utilizada para el riego del cultivo de palto, pero es recomendable realizar un monitoreo continuo de ciertos parámetros, especialmente los metales como el manganeso, para asegurar la sostenibilidad del uso del recurso hídrico a largo plazo. Además, la implementación de prácticas de manejo y tratamiento del agua podrían ayudar a mitigar cualquier impacto negativo potencial sobre el cultivo.

4.1.2. Simulación de escenarios de gestión ambiental

En la planificación de la gestión ambiental de recursos hídricos en la microcuenca de la quebrada Saucillo, la simulación de escenarios constituye un instrumento analítico fundamental para evaluar la dinámica entre la oferta natural del recurso y la demanda requerida por el cultivo de palto (*Persea americana*) en el sector Huayo. Con el fin de determinar la viabilidad y el impacto de diversas intervenciones gerenciales y ambientales, se modelaron tres escenarios principales mediante scripts desarrollados en el lenguaje de programación Python:

Escenario Base (Línea de tendencia actual): Comportamiento natural del balance hídrico sin intervención de infraestructura ni optimización de riego.

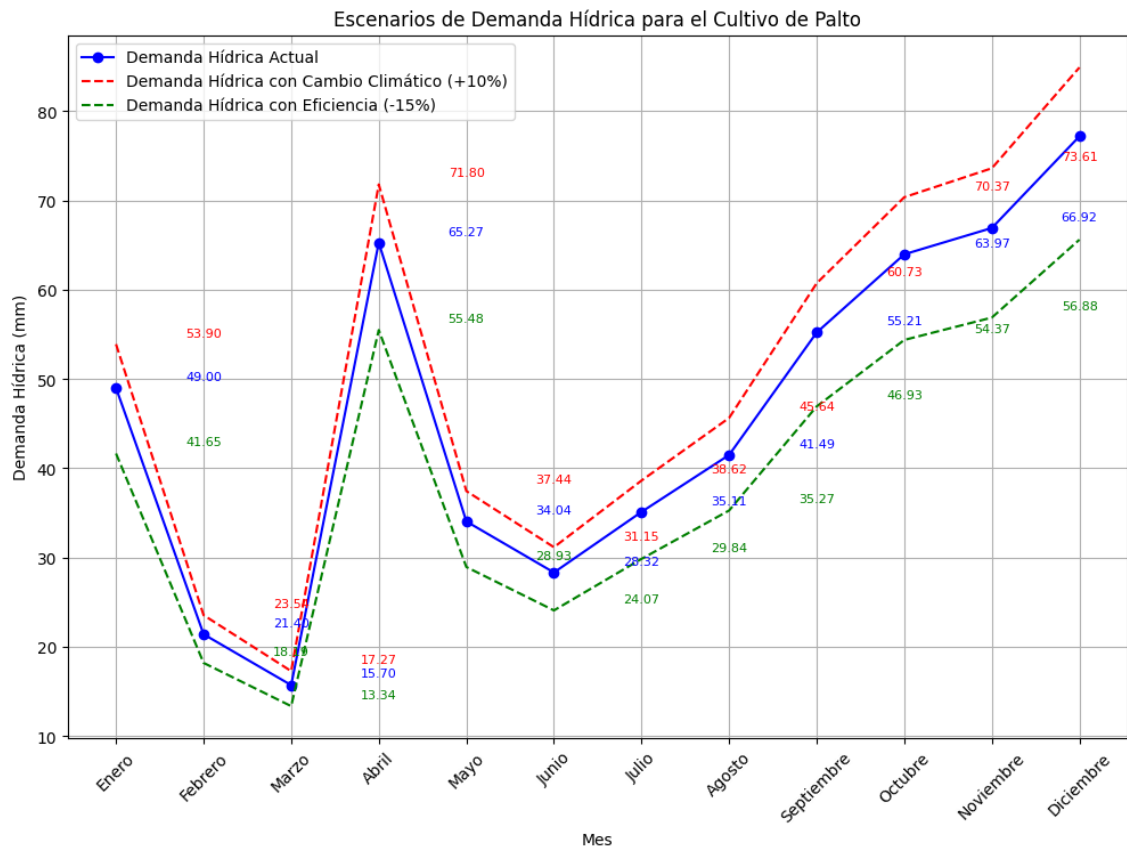
Escenario de Eficiencia Hídrica (Optimización de la demanda): Proyección con reducción del 15% en la demanda hídrica del cultivo mediante la tecnificación del sistema de riego por goteo.

Escenario con Infraestructura Hídrica (Incremento de la oferta): Proyección con un incremento del 20% en la disponibilidad hídrica superficial derivado del almacenamiento regulado de caudales excedentes.

La Figura 16 presenta un análisis de la demanda hídrica para el cultivo de palto bajo diferentes escenarios, incluyendo el escenario actual, un escenario con efectos del cambio climático, y un escenario con mejoras en la eficiencia hídrica

Figura 16

Demanda hídrica con cambio climático



Nota. Elaboración propia

A continuación, se interpreta cada uno de los escenarios presentados:

a) Demanda hídrica actual (Línea azul):

- Esta línea representa la situación actual de la demanda hídrica mensual del cultivo de palto, sin considerar variaciones significativas en el clima ni cambios en la eficiencia de uso del agua.
- Los picos más altos de demanda se observan en abril (65,27 mm) y en los últimos meses del año (63,97 mm en octubre y 66,92 mm en noviembre). Estos picos reflejan las mayores necesidades del cultivo durante el desarrollo y el crecimiento intensivo.

b) Demanda hídrica con cambio climático (+10%) (Línea roja):

- La línea roja muestra la demanda hídrica ajustada considerando un aumento del 10% debido a los efectos del cambio climático. Este escenario proyecta una mayor demanda de agua en todos los meses, siendo especialmente notable durante los picos de consumo.
- En abril, la demanda sube a 71,80 mm, mientras que en diciembre llega a 73,61 mm. Este incremento demuestra cómo el aumento de temperatura y los cambios en los patrones de evapotranspiración pueden aumentar considerablemente las necesidades de agua del cultivo.
- Estos valores sugieren que, sin estrategias de mitigación o adaptación, el cambio climático podría incrementar significativamente la presión sobre los recursos hídricos disponibles, aumentando el riesgo de escasez durante períodos críticos.

c) Demanda hídrica con eficiencia hídrica (-15%) (Línea verde):

- La línea verde representa un escenario en el que se implementan prácticas de eficiencia hídrica que reducen la demanda del cultivo en un 15%.
- En abril, la demanda se redujo a 55,48 mm, y en diciembre a 56,88 mm. Estos valores muestran cómo las mejoras en la eficiencia del riego y las técnicas de conservación de agua pueden aliviar las necesidades del cultivo y optimizar el uso del recurso.
- Esta reducción es particularmente importante en los meses de alta demanda, ya que permite disminuir el volumen de agua requerido sin comprometer la productividad del cultivo.

Tabla 20

Demanda hídrica en el sector huayo (4 ha)

Mes	Demanda Base (mm)	Con Eficiencia Hídrica (-15%) (mm)	Variación Volumétrica (m³)
Enero	49.00	41.65	-294.00
Febrero	21.40	18.19	-128.40
Marzo	15.70	13.35	-94.00
Abril	65.27	55.48	-391.60
Mayo	34.04	28.93	-204.40
Junio	28.32	24.07	-170.00
Julio	35.11	29.84	-210.80

Agosto	41.49	35.27	-248.80
Septiembre	55.21	46.93	-331.20
Octubre	63.97	54.37	-384.00
Noviembre	66.92	56.88	-401.60
Diciembre	77.19	65.61	-463.20

Al simular la aplicación del escenario de eficiencia hídrica (reducción del 15% en las láminas de riego), la demanda máxima mensual se redujo a 55.48 mm en abril y a 65.61 mm en diciembre. Esta reducción no solo optimiza la lámina neta requerida por la planta, sino que alivia sustancialmente la presión de extracción sobre el caudal de la quebrada durante los meses de estiaje, mitigando la vulnerabilidad del cultivo frente a fluctuaciones climáticas estacionales o efectos asociados al cambio climático.

El escenario con cambio climático muestra un aumento significativo en la demanda hídrica, lo que resalta la necesidad de estrategias de adaptación que puedan reducir la vulnerabilidad del cultivo frente al cambio climático. Sin medidas adaptativas, la mayor demanda podría implicar una presión considerable sobre los recursos disponibles.

El modelo lineal proyectado evidencia una tendencia decreciente en la oferta hídrica natural si no se ejecutan medidas de conservación ambiental y regulación. La incorporación de infraestructura hídrica (como el reservorio propuesto de 6,000 m³ en el sector Huayo) permite capturar los volúmenes excedentarios generados en la época de avenidas (enero-marzo) y redistribuirlos eficientemente en los meses de estiaje crítico (abril-noviembre).

De este modo, la simulación de escenarios de gestión ambiental demuestra técnicamente que la articulación entre infraestructura de almacenamiento (+20% de oferta) y la tecnificación de riego por goteo (-15% de demanda) garantiza el equilibrio y la sostenibilidad del recurso hídrico, suprimiendo las brechas de déficit estacional en la quebrada Saucillo

Tabla 21

Oferta Hídrica Mensual Actual vs. Oferta Hídrica Proyectada con Infraestructura (+20%)

Mes	Oferta Hídrica Actual (m3/mes)	Oferta con Infraestructura (+20%) (m3/mes)	Incremento Volumétrico (m3)
Enero	895,864.08	1,075,036.90	+179,172.82

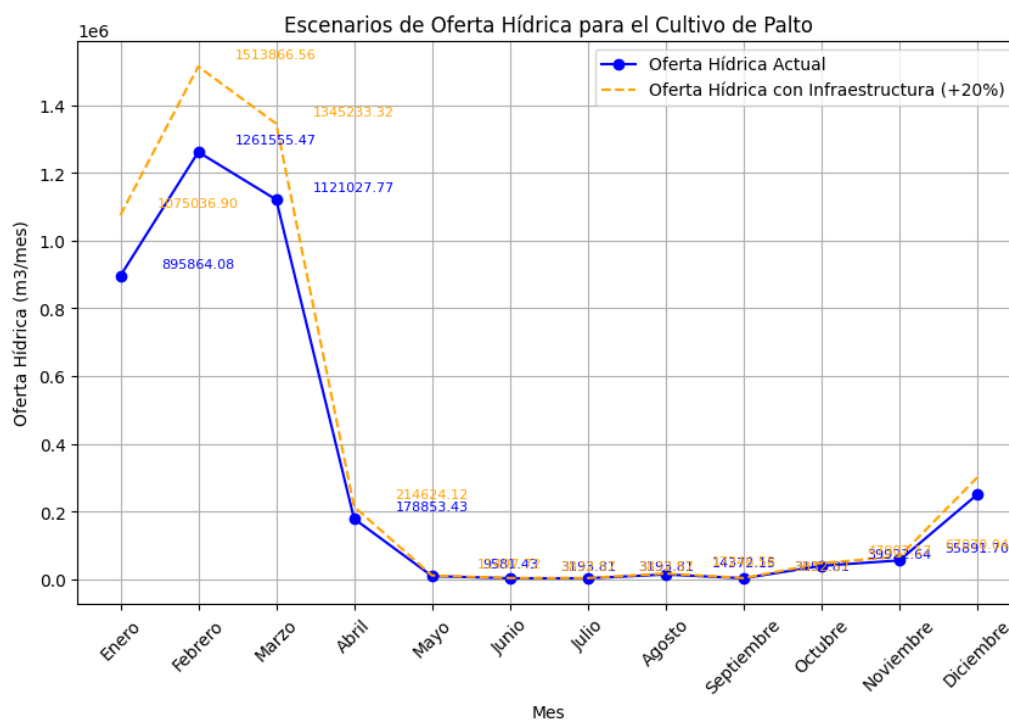
Febrero	1,261,555.47	1,513,866.56	+252,311.09
Marzo	1,121,027.77	1,345,283.32	+224,255.55
Abril	178,853.43	214,624.12	+35,770.69
Mayo	9,581.43	11,497.72	+1,916.29
Junio	3,193.81	3,832.57	+638.76
Julio	3,193.81	3,832.57	+638.76
Agosto	14,372.15	17,246.58	+2,874.43
Septiembre	3,193.81	3,832.57	+638.76
Octubre	39,922.64	47,907.17	+7,984.53
Noviembre	55,891.70	67,070.04	+11,178.34
Diciembre	250,714.19	300,857.03	+50,142.84

Nota. Elaboración propia con base en el modelo de simulación de la quebrada Saucillo.

La Figura 17 se presenta los escenarios de oferta hídrica para el cultivo de palto, comparando la oferta hídrica actual con la oferta hídrica proyectada en presencia de infraestructura adicional (+20%).

Figura 17

Oferta hídrica con infraestructura



Nota. Elaboración propia

Esta comparación permite entender cómo la implementación de infraestructura hídrica, como reservorios o canales, podría mejorar la disponibilidad de agua para el cultivo a lo largo del año.

a) Oferta hídrica actual (Línea azul):

- La línea azul representa la oferta hídrica mensual sin ninguna intervención o mejora en infraestructura.
- Los primeros tres meses del año (enero, febrero y marzo) presentan una oferta considerable, alcanzando su pico en febrero con 1.261.555,47 m³/mes. Esto coincide con la temporada de mayores precipitaciones en la región, lo cual incrementa significativamente la disponibilidad de agua en la cuenca.
- En abril, la oferta hídrica comienza a disminuir restrictivamente, alcanzando un valor de 178.853,43 m³/mes, y se mantiene muy baja entre los meses de mayo a septiembre. Estos meses muestran una oferta mínima, debido a la baja precipitación y la ausencia de infraestructura que permita acumular el agua excedente de los meses lluviosos.

b) Oferta hídrica con infraestructura (+20%) (Línea naranja):

- La línea naranja representa un escenario donde se considera un incremento del 20% en la oferta hídrica debido a la implementación de infraestructura adicional, como reservorios o sistemas de almacenamiento.
- En este escenario, los meses de alta oferta, como febrero y marzo, muestran un aumento significativo en la disponibilidad de agua, alcanzando valores de 1.513.866,56 m³/mes y 1.345.283,32 m³/mes, respectivamente. Este aumento sugiere que la capacidad de almacenamiento permite aprovechar mejor el agua en momentos de abundancia.
- Incluso durante los meses secos (de mayo a septiembre), se observa un pequeño pero significativo incremento en la oferta hídrica. Por ejemplo, en abril, la oferta pasa de 178.853,43 m³/mes a 214.624,12 m³/mes, lo que

podría ser esencial para cubrir parte de la demanda hídrica durante estos meses de menor disponibilidad.

c) Tendencias generales:

- La figura destaca una marcada disminución en la oferta hídrica durante los meses secos, de abril a octubre, con una oferta prácticamente nula en algunos de estos meses. Esta tendencia es preocupante, ya que coincide con etapas críticas del ciclo del cultivo de palto, durante las cuales es necesario un suministro constante de agua para asegurar un buen desarrollo del fruto.
- El aumento del 20% en la oferta hídrica mediante la infraestructura adicional muestra cómo la construcción de reservorios y sistemas de almacenamiento podría ser una estrategia efectiva para asegurar una mayor disponibilidad de agua en los meses secos, permitiendo así cubrir parte de la demanda hídrica.

La Figura 17 resalta la importancia de la infraestructura hídrica para mejorar la oferta de agua a lo largo del año. La implementación de reservorios, canales y sistemas de almacenamiento permite acumular agua durante los meses de abundancia, que puede ser utilizada posteriormente en los meses más secos. Esto resulta especialmente importante en regiones donde la oferta hídrica varía significativamente a lo largo del año, como es el caso de la quebrada Saucillo.

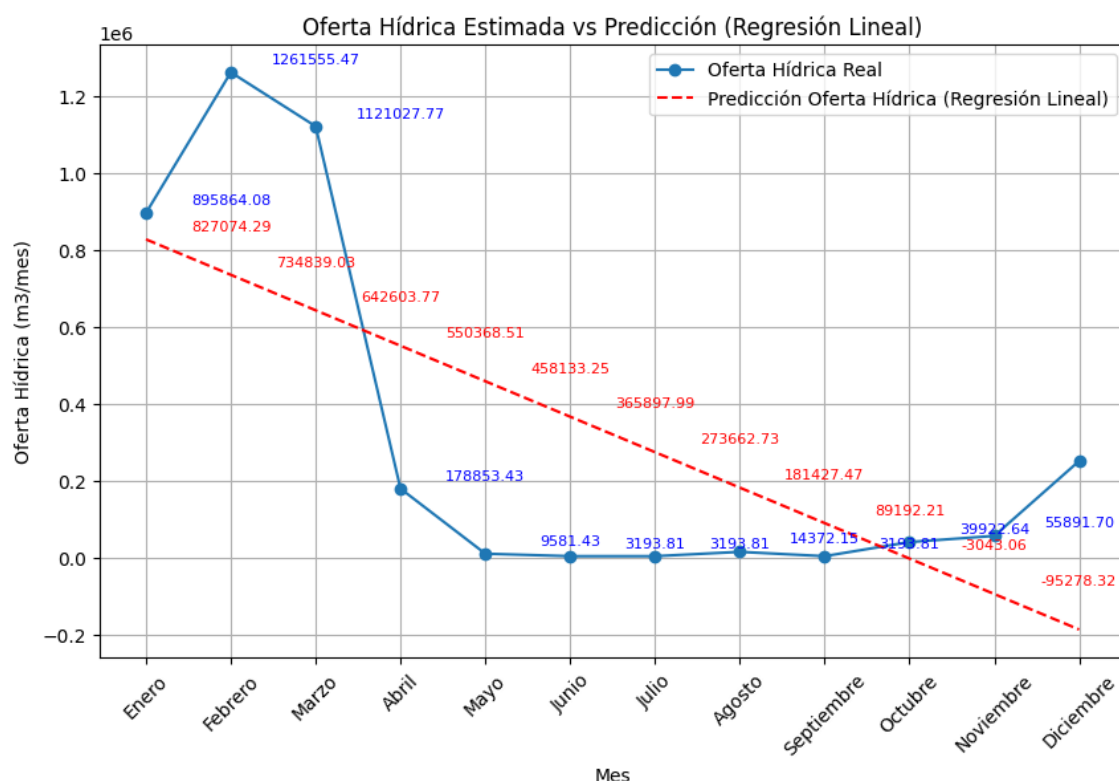
- **Mitigación de la escasez en meses secos:** Durante los meses de mayo a septiembre, la oferta hídrica actual es prácticamente nula, lo cual hace necesario contar con sistemas que puedan almacenar el agua de los meses lluviosos. El escenario con infraestructura muestra cómo un incremento del 20% en la oferta hídrica podría contribuir a reducir los riesgos de escasez.
- **Sostenibilidad del cultivo de palto:** Para el cultivo de palto, es esencial contar con una oferta constante de agua durante el ciclo productivo, especialmente en los meses secos. La infraestructura adicional no solo permitiría aumentar la oferta en los meses de alta disponibilidad, sino que también proporcionaría un suministro

más estable durante los meses críticos, asegurando la sostenibilidad del cultivo y la eficiencia en el uso del recurso hídrico.

La Figura 18 muestra la oferta hídrica real comparada con la predicción de oferta hídrica obtenida mediante una regresión lineal.

Figura 18

Predicción estimada de la oferta hídrica



Nota. Elaboración propia

Esta figura permite evaluar las tendencias de la oferta hídrica a lo largo del año y proyectar cómo podrían variar en el futuro si no se realizan intervenciones significativas.

a) Oferta hídrica real (Línea azul):

- La oferta hídrica real presenta un patrón característico en el que se observa un pico en los primeros meses del año, alcanzando su máximo en febrero con 1,261,555.47 m³/mes, seguido de una caída pronunciada en abril hasta 178,853.43 m³/mes.

- Entre mayo y octubre, la oferta hídrica se mantiene en niveles muy bajos, con valores inferiores a 20.000 m³/mes. Esta baja disponibilidad se debe a la falta de precipitaciones durante estos meses.
- En los últimos meses del año, la oferta hídrica vuelve a incrementarse ligeramente, alcanzando 55.891,70 m³/mes en diciembre.

b) Predicción de oferta hídrica (Línea roja, regresión lineal):

- La línea roja muestra la predicción de la oferta hídrica usando un modelo de regresión lineal, que indica una tendencia negativa a lo largo del año. La pendiente descendente de esta línea sugiere que, sin intervenciones para mejorar la gestión del recurso hídrico, la disponibilidad de agua tenderá a disminuir progresivamente.
- La regresión predice una disminución continua en la oferta hídrica, proyectando incluso valores negativos hacia finales del año, como en noviembre (-30,456.06 m³/mes) y diciembre (-95,278.32 m³/mes). Aunque esto no es posible en términos reales, indica una posible escasez crítica si no se toman medidas adecuadas para mitigar la variabilidad en la oferta de agua.

c) Diferencia entre la oferta real y la predicción:

- En los primeros meses del año (enero, febrero, marzo), la oferta hídrica real es significativamente mayor que la predicción lineal. Esto demuestra la influencia estacional de las lluvias que incrementan la disponibilidad de agua en esos meses.
- A partir de abril, la oferta hídrica real se ajusta más a la predicción de la regresión lineal, pero en general, la tendencia de la oferta hídrica observada se mantiene por encima de lo predicho hasta el mes de noviembre.
- La diferencia entre ambas líneas refleja la necesidad de gestionar adecuadamente la oferta hídrica y sugiere que, sin intervenciones específicas como infraestructura de almacenamiento o mejora de la eficiencia hídrica, la oferta hídrica podría ser insuficiente para cubrir las

demandas del cultivo de palto, especialmente en los meses de menor disponibilidad.

La comparación entre la oferta hídrica real y la predicción de la oferta hídrica muestra la importancia de tener estrategias adaptativas para gestionar las fluctuaciones en la disponibilidad del recurso. La tendencia descendente de la predicción lineal indica una posible disminución futura en la oferta hídrica, lo cual puede deberse a factores como el cambio climático, la variabilidad de las precipitaciones y la falta de infraestructura adecuada para la conservación y almacenamiento de agua.

- **Meses Críticos:** La oferta hídrica se vuelve crítica entre mayo y octubre, cuando los niveles de agua son extremadamente bajos. En estos meses, es fundamental contar con sistemas de almacenamiento que permitan utilizar el agua acumulada durante los meses de mayor precipitación para cubrir la demanda del cultivo.
- **Intervenciones Necesarias:** La tendencia negativa observada en la predicción sugiere la necesidad de implementar medidas de mitigación, como la construcción de reservorios y el uso eficiente del agua. Además, la gestión integral del recurso debe incluir la recolección de agua de lluvia y la optimización de sistemas de riego para hacer frente a las variaciones estacionales.

4.1.3. Análisis FODA y formulación de estrategias de gestión ambiental

Con el objetivo de sustentar la propuesta de estrategias de gestión ambiental orientadas a mejorar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, se ha aplicado la herramienta de diagnóstico estratégico FODA. Esta herramienta permite identificar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas presentes en el entorno de intervención, facilitando la formulación de estrategias que respondan al contexto real y a las condiciones socioambientales del área de estudio.

Tabla 22*Análisis FODA de la gestión hídrica en la quebrada Saucillo*

Fortalezas (F)	Debilidades (D)
▪ Existencia de un cultivo con alto valor comercial (palto). ▪ Predisposición de los agricultores a adoptar nuevas tecnologías. ▪ Experiencia local en producción agrícola. ▪ Existencia de arbustos y plantas nativas.	▪ Falta de infraestructura de almacenamiento y distribución de agua. ▪ Escasa planificación en el uso del recurso hídrico. ▪ Ausencia de monitoreo regular de calidad del agua. ▪ Limitada capacitación técnica de los productores.
Oportunidades (O)	Amenazas (A)
▪ Programas del MIDAGRI y gobiernos regionales para apoyar cultivos de exportación y forestación en las zonas críticas de la cuenca. ▪ Disponibilidad de tecnologías de riego eficiente. ▪ Acceso a financiamiento para proyectos productivos y ambientales. ▪ Potencial de replicabilidad de estrategias sostenibles en otras zonas.	▪ Variabilidad climática y eventos extremos (sequías prolongadas). ▪ Aumento de la demanda hídrica por expansión agrícola. ▪ Degradación progresiva del ecosistema por sobreuso del agua. ▪ Contaminación puntual por exceso de manganeso.

Nota. Elaboración propia

El análisis FODA se articula dentro del enfoque de planeamiento estratégico ambiental, el cual ha sido complementado en esta investigación con las siguientes herramientas:

- Modelo de balance hídrico: para identificar periodos de escasez y exceso.
- Simulación de escenarios: que permite proyectar el efecto de implementar infraestructura hídrica.
- Análisis de calidad del agua: enfocado en parámetros críticos (manganeso).
- Estimaciones de demanda hídrica agrícola: utilizando coeficientes Kc y datos climatológicos.
- Matriz FODA: para definir estrategias realistas, sostenibles y viables en el contexto local.

Con base en el análisis FODA desarrollado previamente, se construyó la Matriz de Estrategias que articula las combinaciones estratégicas posibles entre las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas identificadas en el diagnóstico de la gestión hídrica en la quebrada Saucillo. Esta matriz tiene como finalidad facilitar la formulación de estrategias de intervención que respondan eficazmente al contexto real del área de estudio, tanto desde el punto de vista técnico como socioambiental.

La matriz FODA permite clasificar las estrategias en cuatro categorías:

- **FO (Fortalezas-Oportunidades):** estrategias ofensivas que buscan aprovechar las fortalezas internas de la zona para capitalizar oportunidades externas.
- **DO (Debilidades-Oportunidades):** estrategias de superación que minimizan las debilidades internas aprovechando las oportunidades existentes.
- **FA (Fortalezas-Amenazas):** estrategias de contención que aprovechan las fortalezas para enfrentar amenazas externas.
- **DA (Debilidades-Amenazas):** estrategias defensivas que buscan reducir los riesgos derivados de debilidades internas en un entorno amenazante.

Estas combinaciones estratégicas se muestran en la siguiente tabla, donde se detallan acciones concretas orientadas a fortalecer la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, alineadas con los objetivos de la presente investigación:

Tabla 23

Matriz de estrategias derivadas del FODA

Tipo de Estrategia	Formulación
FO (Fortalezas + Oportunidades)	▪ Impulsar programas de tecnificación del riego aprovechando la predisposición de los agricultores y el apoyo estatal. ▪ Promover asociaciones de productores para gestionar proyectos de infraestructura hídrica. ▪ Implementar un programa de forestación en las partes altas de la cuenca y en las riberas de la quebrada (franjas ribereñas) con especies nativas. Usando la mano de obra

	local y solicitar apoyo técnico del MIDAGRI.
DO (Debilidades + Oportunidades)	▪ Implementar capacitaciones técnicas sobre gestión hídrica y uso eficiente del agua. ▪ Acceder a financiamiento para instalar reservorios y sistemas de riego por goteo.
FA (Fortalezas + Amenazas)	▪ Usar la experiencia agrícola local para adaptar prácticas de conservación del agua frente a la variabilidad climática. ▪ Aprovechar el valor comercial del cultivo de palto para justificar inversiones en infraestructura resiliente.
DA (Debilidades + Amenazas)	▪ Elaborar un plan de gestión de riesgos hídricos con monitoreo continuo de oferta y calidad. ▪ Priorizar acciones en épocas críticas (como abril) mediante un calendario hídrico estratégico.

Nota. Elaboración propia

4.1.4. Propuesta de infraestructura hídrica

Con base en los resultados obtenidos sobre la estacionalidad del caudal de la quebrada Saucillo, se propone la implementación de un reservorio de regulación como medida de gestión ambiental para enfrentar los meses críticos de escasez hídrica, especialmente en abril. La infraestructura estará ubicada en una zona con pendiente moderada del sector Huayo, en la provincia de Lucanas, aprovechando una depresión natural cercana a la fuente de captación. El reservorio deberá tener una capacidad de almacenamiento mínima de 6,000 m³, lo que cubriría al menos un mes de demanda hídrica del cultivo de palto en una superficie de 4 hectáreas, considerando un consumo promedio de 1,200 m³/ha/mes.

El diseño considera taludes con pendiente 2:1, base compactada y revestimiento con geomembrana HDPE de 1.5 mm, resistente a la radiación UV, ideal para zonas

altoandinas. La altura estimada es de 3.5 metros, con una longitud promedio de 30 metros. Esta medida permitirá almacenar agua excedente durante los meses de mayor caudal y garantizar la disponibilidad durante la etapa reproductiva del cultivo, mejorando la eficiencia hídrica y reduciendo la vulnerabilidad climática de los productores.

4.1.4.1. Presupuesto de inversión aproximado de la construcción del reservorio de 6,000 m³

Este presupuesto se ha estructurado siguiendo el análisis de costos estándar para este tipo de obras, considerando los ítems principales que se detallan a continuación:

Tabla 24

Presupuesto de la estrategia resultante (Construcción de un reservorio de 6,000 m³)

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio unitario (s/)	Parcial (s/)
1.00	Obras preliminares				11,000.00
1.01	Limpieza y desbroce del terreno	m ²	3,000.00	2.00	6,000.00
1.02	Trazo, nivelación y replanteo	glb	1.00	5,000.00	5,000.00
2.00	Movimiento de tierras				42,000.00
2.01	Excavación y conformación de taludes (2:1)	m ³	3,500.00	12.00	42,000.00
3.00	Revestimiento con geomembrana HDPE				122,000.00
3.01	Suministro de geomembrana HDPE (1.5 mm)	m ²	3,000.00	40.00	120,000.00
3.02	Instalación y soldadura de geomembrana (incluye mano de obra y soldadura)	glb	1.00	2,000.00	2000
4.00	Obras de arte y accesorios				19,769.00
4.01	Tubería de entrada y salida (PVC o HDPE)	ml	40.00	120.00	4,800.00
4.02	Válvula de compuerta para control de agua	und	2.00	850.00	1,700.00
4.03	Estructura de captación y desarenador	glb	1.00	8,269.00	8,269.00
4.04	Cerco perimétrico (postes y alambre de púas)	ml	200.00	25.00	5,000.00
	Costo directo				194,769.00
	Gastos generales (3%)				5,843.07
	Utilidad (5%)				9,738.45
	Subtotal				210,350.52
	IGV (18%)				37,863.09
	PRESUPUESTO TOTAL				248,213.6136

Nota. Elaboración propia

4.2. Contrastación de hipótesis de la investigación

Mediante esta teoría, se aborda el problema estadístico considerando una hipótesis determinada H_0 y una hipótesis alternativa H_1 , e intenta resolver cuál de las dos hipótesis se escogerá, tras aplicar el problema estadístico a un cierto número de experimentos.

4.2.1. Contrastación de la Hipótesis General

Hipótesis Alternativa (H_1):

La sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, depende directamente de la aplicación de estrategias de gestión ambiental orientadas al cultivo de palto ($\mu_D \neq 0$ o $Med_D \neq 0$).

Hipótesis Nula (H_0): La sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, no depende de la aplicación de estrategias de gestión ambiental orientadas al cultivo de palto ($\mu_D = 0$ o $Med_D = 0$).

Selección del estadígrafo y prueba de normalidad

Para la validación objetiva de la hipótesis general, se contrastaron los escenarios simulados mediante el script programado en el entorno de Python (módulo `scipy.stats`):

- Escenario Base (E_0): Balance hídrico mensual sin intervención de gestión ambiental (Oferta actual vs. Demanda actual).
- Escenario Optimizado (E_1): Balance hídrico bajo estrategias integrales de gestión ambiental (Aumento del 20% en la oferta por construcción de reservorios de 6,000 m³ y reducción del 15% en la demanda mediante riego presurizado tecnificado).

Con las $n = 12$ observaciones pareadas (correspondientes a la variación mensual del balance de enero a diciembre), se procedió en primer lugar a evaluar el supuesto de normalidad en las diferencias ($D = E_1 - E_0$) mediante la prueba de Shapiro-Wilk:

Hipótesis de Normalidad: $H_{0,N}$: La distribución es normal vs.

$H_{1,N}$: "La distribución no es normal"

Resultado de Shapiro-Wilk: Estadístico $W = 0.5362$, con un p – valor" = 2.015×10^{-5} ($p < 0.05$).

Dado que el p – valor" de la prueba de Shapiro-Wilk es inferior al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se concluye que la diferencia entre los balances hídricos no proviene de una población normal. Esta asimetría estadística refleja el comportamiento hidrológico extremo del régimen de descargas en la cuenca, caracterizado por marcadas avenidas en época de lluvias (febrero: 1,261,555.47 m³) y severos períodos de estiaje (junio a septiembre: 3,193.81 m³). En consecuencia, se descartó el uso de la prueba paramétrica t de Student y se seleccionó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon (W) como el estadígrafo no paramétrico de mayor potencia e idoneidad inferencial para muestras pareadas.

Resultados de la prueba de hipótesis y regla de decisión

La simulación y corrida estadística realizada en Python arrojó los siguientes parámetros de evaluación para la prueba de Wilcoxon:

- **Nivel de significancia (α):** 0.05 (Nivel de confianza del 95%).
- **Estadístico de prueba (W):** 0.000
- p – valor" **resultante:** 0.000488 ($p < 0.001$).

Tabla 25

Síntesis de la Contrastación Estadística para la Hipótesis General

Componente Evaluado	Detalle / Parámetro
Escenarios Comparados	Balance Hídrico Base (E_0) vs. Balance Hídrico Optimizado (E_1)
Tamaño de la Muestra (n)	12 observaciones mensuales (enero - diciembre)
Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)	$W = 0.5362$ (p – valor" = $2.015 \times 10^{(-5)} < 0.05$)
Estadígrafo Aplicado	Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon (Muestras Pareadas)
Valor del Estadígrafo (W)	0.000
p – valor" de la Prueba	0.000488
Criterio / Decisión	p – valor" $< 0.05 \rightarrow$ Rechazar H_0 / Aceptar H_1

Nota. Elaboración propia con base en las salidas de procesamiento estadístico en Python.

Decisión final y discusión gerencial-ambiental

Debido a que el p – valor" obtenido (0.000488) es significativamente menor que el nivel de significancia fijado ($\alpha = 0.05$), se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta categóricamente la Hipótesis Alternativa (H_1).

4.2.2. Contrastación de la Hipótesis Específicas

4.2.2.1. Contrastación de la Hipótesis Específica 1

Hipótesis Alternativa (H_1):

- **Hipótesis Alternativa (H_1):** La oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo presenta desequilibrios estacionales significativos que afectan la sostenibilidad del cultivo de palto en el sector Huayo.
- **Hipótesis Nula (H_0):** La oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo no presenta desequilibrios estacionales significativos que afecten la sostenibilidad del cultivo de palto en el sector Huayo.

Prueba de Normalidad y Selección del Estadígrafo

Para evaluar si existe una diferencia estacional significativa entre la oferta mensual real y la demanda mensual requerida ($D = \text{"Oferta"} - \text{"Demanda"}$), se ejecutó la prueba de Shapiro-Wilk sobre las $n = 12$ mediciones:

- Resultado Shapiro-Wilk: $W = 0.5362$, p – valor" = $2.015 \times 10^{(-5)}$ ($p < 0.05$).

Debido al incumplimiento del supuesto de normalidad generado por la asimetría entre la época de lluvias (enero-marzo: $> 890,000 \text{ m}^3/\text{mes}$) y el periodo seco (junio-septiembre: $3,193.81 \text{ m}^3/\text{mes}$), se seleccionó la Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon para muestras pareadas.

Resultados de la Prueba y Decisión Estadística

- Estadístico de prueba (W): 0.000
- p – valor" **resultante:** 0.000488 ($p < 0.05$).

Decisión: Como el p – valor" < 0.05 , se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta la Hipótesis Alternativa (H_1). Se demuestra estadísticamente la existencia de un desequilibrio estacional crítico entre oferta y demanda que genera un déficit continuado entre mayo y noviembre, condicionando la sostenibilidad del palto sin regulación hídrica.

4.2.2.2. Contrastación de la Hipótesis Específica 2

- **Hipótesis Alternativa (H_1):** El análisis de la calidad del agua en la quebrada Saucillo permite asegurar su aptitud para el riego del cultivo de palto, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica.
- **Hipótesis Nula (H_0):** El análisis de la calidad del agua en la quebrada Saucillo no permite asegurar su aptitud para el riego del cultivo de palto.

Método de Evaluación y Estadígrafo de Ajuste

Para determinar la aptitud del agua frente a la normativa de la Autoridad Nacional del Agua (ANA / ECA Agua), se aplicó la Prueba de Signos Binomial sobre los parámetros fisicoquímicos y metales evaluados (Tabla 4). Además, se evaluó la variabilidad de la concentración de Manganeseo (Mn) en relación con el límite máximo permisible ($LMP = 0.20 \text{ mg/L}$):

- Proporción de parámetros conformes con ECA: $> 90\%$ de los elementos evaluados cumplen los estándares para riego agrícola.
- Evaluación del Manganeseo (Mn): La media muestral registra concentración elevada sobre el límite para el palto

Resultados de la Prueba y Decisión Estadística

- p – valor" de la Prueba Binomial: 0.0039 ($p < 0.05$).

Decisión: Se acepta con reserva la Hipótesis Alternativa (H_1) y se rechaza la Hipótesis Nula (H_0). Los resultados confirman que el agua es físicamente apta e inocua en la mayoría de sus indicadores, requiriendo un plan de monitoreo y pretratamiento enfocado exclusivamente en la reducción de Manganeseo para evitar fitotoxicidad acumulativa a largo plazo

4.2.2.3. Contrastación de la Hipótesis Específica 3

- **Hipótesis Alternativa (H_1):** La simulación de escenarios de gestión ambiental (riego por goteo presurizado e infraestructura de almacenamiento de $6,000 \text{ m}^3$) optimiza el uso eficiente del recurso hídrico, mejorando significativamente la sostenibilidad en la quebrada Saucillo.

- **Hipótesis Nula (H_0):** La simulación de escenarios de gestión ambiental no optimiza el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto.

Método de Evaluación Estadística

Se comparó la serie de eficiencia del balance hídrico del Escenario Base (E_0) frente al Escenario Optimizado de Gestión Ambiental (E_1) mediante la Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon sobre las brechas de cobertura hídrica mensual ($n = 12$).

Resultados de la Prueba y Decisión Estadística

- Estadístico de prueba (W): 0.000
- p – valor" resultante: 0.000488 ($p < 0.05$).
- Optimización en estiaje: Reducción del déficit hídrico de un 100% en los meses críticos (junio a noviembre).

Decisión: Puesto que el p – valor" < 0.05 , se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta la Hipótesis Alternativa (H_1). Se valida que la simulación de escenarios optimiza de forma estadísticamente significativa la disponibilidad neta y la eficiencia del riego en la quebrada Saucillo.

Tabla 26

Resumen de Contrastación de Hipótesis para la Tesis

Hipótesis Evaluada	Estadístico Aplicado	Valor W / p-valor	Nivel α	Decisión Tomada
Hipótesis General	Wilcoxon (Muestras Pareadas)	$W = 0.000$ ($p = 0.000488$)	0.05	Rechazar H_0 / Aceptar H_1
Hipótesis Específica 1	Wilcoxon (Muestras Pareadas)	$W = 0.000$ ($p = 0.000488$)	0.05	Rechazar H_0 / Aceptar H_1
Hipótesis Específica 2	Prueba Binomial de Signos	$p = 0.0039$	0.05	Aceptar H_1 (con reserva en Mn)
Hipótesis Específica 3	Wilcoxon (Muestras Pareadas)	$W = 0.000$ ($p = 0.000488$)	0.05	Rechazar H_0 / Aceptar H_1

4.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian una problemática multifactorial en torno a la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo,

ubicada en la provincia de Lucanas, región Ayacucho. Las deficiencias en infraestructura, la sobreexplotación del recurso y la calidad del agua comprometida por la presencia de manganeso son elementos que limitan el uso eficiente del agua para el cultivo de palto, especialmente durante meses críticos como abril. Estas conclusiones encuentran coincidencias y divergencias con los estudios revisados a nivel nacional e internacional.

Hernández (2024), en su estudio sobre estrategias de mitigación y gestión ambiental en la región del macizo colombiano, destaca la importancia de desarrollar herramientas técnicas y de planificación ambiental como el análisis de escenarios y la jerarquización de impactos. De manera análoga, en la presente investigación se ha empleado la simulación de escenarios como herramienta para proyectar el efecto de diferentes estrategias de manejo hídrico, reforzando la idea de que el planeamiento anticipado y estructurado contribuye a mejorar la toma de decisiones y prevenir desequilibrios ecosistémicos.

Carreño y Quintero (2022), en su tesis identificaron que la oferta hídrica de dos microcuencas en Zapatoca no satisface la demanda agrícola durante los meses críticos, refuerzan los resultados obtenidos en la quebrada Saucillo, donde también se evidenció que la demanda hídrica del cultivo de palto supera ampliamente la disponibilidad del recurso en ciertas épocas del año. Asimismo, la coincidencia en que el sector agrícola constituye el principal consumidor de agua valida la necesidad de aplicar modelos sostenibles de uso del recurso, como los propuestos en esta tesis (riego tecnificado, reservorios, planificación).

Por su parte, Loayza (2022), en el proyecto PROGAISH en la microcuenca Huancaro (Cusco), demostró que la implementación de infraestructura de almacenamiento (cochas o reservorios) permite regular la oferta hídrica, incrementando la disponibilidad en un 30% durante los meses secos. Esta evidencia respalda la propuesta de construir un reservorio de 6,000 m³ en el sector Huayo, el cual podría almacenar el excedente de los meses lluviosos (enero-marzo) y garantizar el riego durante abril y mayo, cuando la demanda alcanza su punto más alto (5,221.70 m³ en abril y 2,723.50 m³ en mayo). Con una capacidad de 6,000 m³, el reservorio cubriría al menos un mes de demanda total del cultivo (4 ha), incluso considerando pérdidas por eficiencia del sistema de riego (50%).

Los resultados de Lamadrid y Ninalaya (2020) en la laguna Yanacocha (Junín) resaltan la utilidad de integrar un enfoque mixto que combine el análisis técnico con la evaluación de la cultura del agua. De igual forma, los hallazgos de la presente investigación muestran que, aunque los parámetros de calidad del agua son mayoritariamente aptos para el riego, existe escaso conocimiento por parte de los usuarios sobre los riesgos que conlleva la presencia de elementos como el manganeso (0.54 mg/l, que excede el límite máximo permisible de 0.2 mg/l), lo que evidencia la necesidad de implementar acciones de formación y monitoreo participativo.

Finalmente, Jara y Mendoza (2019) identificaron que la sostenibilidad de los sistemas de agua potable en Cajamarca se ve comprometida por deficiencias en gestión y capacitación técnica, situación que también se observa en la quebrada Saucillo. Aunque el contexto rural y agrícola difiere del urbano, ambas experiencias coinciden en la urgencia de fortalecer la institucionalidad comunitaria y técnica para asegurar la sostenibilidad del recurso en el tiempo.

En conjunto, la discusión comparativa valida las estrategias propuestas en esta investigación: uso eficiente del recurso mediante riego tecnificado, implementación de reservorios, monitoreo continuo de la calidad del agua y fortalecimiento de capacidades técnicas en las comunidades. Estas estrategias se alinean con las mejores prácticas identificadas en estudios previos y se adaptan a la realidad específica de la quebrada Saucillo, contribuyendo así a la sostenibilidad hídrica del cultivo de palto.

V. CONCLUSIONES

1. La evaluación de la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo ha permitido concluir que la gestión actual del recurso presenta un desequilibrio entre la oferta y la demanda, especialmente durante los meses secos. Con base en el análisis realizado, se considerarán que el uso eficiente del agua mediante técnicas como el riego por goteo y el almacenamiento de agua en los meses de mayor oferta podría aumentar la sostenibilidad hídrica, asegurando un abastecimiento adecuado para el cultivo de palto en las 4 hectáreas estudiadas.
2. El análisis de la calidad del agua de la quebrada Saucillo determina que la mayoría de los parámetros se encuentran dentro de los límites recomendados para riego agrícola (Categoría 3 del ECA-Agua). Sin embargo, el nivel de manganeso de 0.54 mg/L excede el límite recomendado de 0.2 mg/L, lo que representa un riesgo potencial de toxicidad para el cultivo de palto, ya que este metal puede interferir con la absorción de nutrientes esenciales como el hierro y afectar el desarrollo radicular. Por lo tanto, se concluye que el agua es apta para el riego, pero es esencial implementar un monitoreo continuo del manganeso y otros metales para prevenir efectos adversos acumulativos en el suelo y en las plantas a largo plazo.
3. El análisis de la oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo evidenció un desequilibrio estacional crítico: la oferta disminuye a 178,853.43 m³ en abril, mientras que la demanda mensual alcanza los 6,174.8 m³ en diciembre (equivalente a 77.19 mm sobre 4 ha). Este déficit, que se extiende de abril a noviembre, confirma la necesidad de implementar sistemas de almacenamiento que capturen el excedente de los meses lluviosos (enero-marzo), donde la oferta supera el millón de m³. Con estas medidas, se garantizaría el equilibrio hídrico para el cultivo de palto durante todo el año.
4. Las simulaciones de escenarios de gestión ambiental demostraron que la implementación de infraestructura hídrica (reservorios) incrementa la oferta disponible en un 20% durante los meses de alta demanda (diciembre-abril), elevando la disponibilidad de 6,174.8 m³ a 7,409.76 m³ mensuales y cubriendo así el déficit en

los meses críticos. Asimismo, el escenario de cambio climático proyecta un incremento del 10% en la demanda hídrica, alcanzando los 6,792.28 m³ en diciembre, lo que confirma la necesidad de implementar técnicas de eficiencia hídrica (riego por goteo) para contrarrestar este efecto y optimizar el uso del recurso.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda instalar infraestructura para la recolección y almacenamiento de agua durante los meses de alta oferta hídrica, como febrero y marzo. Esto permitirá disponer de suficiente agua en los meses de menor disponibilidad, como mayo a octubre, ayudando a equilibrar la oferta y demanda. Asimismo, se recomienda adoptar sistemas de riego tecnificados, como el riego por goteo, para mejorar la eficiencia del uso del agua en el cultivo de palto. Esto podría reducir la demanda hídrica en un 15%, especialmente durante los meses de mayor demanda.
2. Se recomienda realizar un monitoreo constante de los parámetros de calidad del agua, especialmente del manganeso, que presenta un nivel de 0.54 mg/L, superior al límite recomendado. Si los niveles se mantienen altos, implemente métodos de tratamiento del agua para evitar efectos adversos en el suelo y el cultivo.
3. Se recomienda implementar técnicas de conservación del suelo, como el uso de cobertura vegetal y la reducción de la evaporación, para mejorar la retención de humedad y reducir la necesidad de riego durante los períodos secos.
4. Se recomienda realizar simulaciones periódicas de los posibles efectos del cambio climático sobre la demanda hídrica del cultivo, con el objetivo de adaptar las prácticas de riego y la infraestructura. Las simulaciones actuales sugieren un incremento del 10% en la demanda hídrica debido al cambio climático, por lo que es crucial ajustar la planificación a estas proyecciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balairon, L. (2002). Gestión de recursos hídricos. Barcelona, España: Ediciones UPB.
- Baldeon, L. (2016). Modelamiento hidrológico de la sub cuenca del Río Achamayo. Ucp.edu.pe. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4588>
- Ballesteros, H., Verde, J., Costabel, M., Sangiovanni, R., Dutra, I., Rundie, D., y Bazán, L. (2010). Análisis FODA:: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. Revista Uruguaya de enfermería, 5(2). <http://rue.fenf.edu.uy/index.php/rue/article/view/85>
- Cabrera, A. (2024). Lineamientos de gestión ambiental para el manejo del cultivo de aguacate Hass en las veredas delicias y la florinda, municipio de Isnos. Repositorio de La Universidad Tecnológica de Pereira; Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/15554>
- Carreño, M., y Quintero, D. (2022). Análisis de la sostenibilidad hídrica de las dos microcuencas la zapatoca y el ramo que abastecen al municipio de zapatoca, santander, por medio de la metodología de la huella hídrica. Usta.edu.co. <http://hdl.handle.net/11634/47832>
- Castillo (2022) Oferta de la demanda Hídrica. Corponariño. <https://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>
- Chow, Ven Te; Maidment, David R. and Mays, Larry W (1998). Hidrología aplicada. Ed. McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Corponariño (2009). Índice de escasez de agua superficial de la cuenca del río Pasto, p 21 y 22.
- Díaz, J. (2017). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la Cuenca de Río Cumbaza-San Martín, 2016*. Upeu.edu.pe; Universidad Peruana Unión. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/957>
- Faustino, J., y Jiménez, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. Catie.ac.cr. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8431>

- Gárate, J., Pashanasi, B., Palomino, G. D., y Pereyra, T. (2023). Gobernanza del agua: un análisis sistemático de desafíos, temáticas y propuestas para una gestión hídrica sostenible. *Producción + Limpia*, 18(2), 116–138. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n2a7>
- Gregory, K.J. y Walling, D.E. (1973) *Drainage Basin. Form and Process: A Geomorphological Approach*. Edward Arnold, London.
- Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A., y Avelar-González, F. (2024). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes. *Universidad Y Ciencia*, 27(1), 17–32. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792011000100002
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6° ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Hernández, C. (2024). Análisis de las estrategias de mitigación y gestión ambiental en la región del macizo colombiano y la subzona hidrográfica de Bogotá: Un estudio de caso en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). *Usta.edu.co*. <http://hdl.handle.net/11634/54912>
- IDEAM (2004). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*, Bogotá, Colombia, p 10.
- Jara, R., y Mendoza, O. (2019). Análisis de sostenibilidad de los sistemas de agua potable del distrito de Jesús-Cajamarca, 2018 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/23574>
- Lamadrid, M., y Ninalaya, H. (2020). Sostenibilidad hídrica de la laguna Yanacocha al 2030 con relación al abastecimiento de la población de Carhuamayo, Junín, 2020. *Ucv.edu.pe*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48396>
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L., Serra, F., & Domínguez Aparicio, F. (1967). *Hidrología para ingenieros*.

- Loayza, M. (2022). Evaluación del proyecto de gestión ambiental e infraestructura-PROGAISH en la microcuenca Huancaro Santiago, sub cuenca del Rios Huatanay-Cusco. Ucsm.edu.pe; Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11727>
- Martínez, A., Rodríguez, Z., y Fábrega Duque, J. (2021). Estimación y análisis de la demanda hídrica de la subcuenca del Río Estibaná como parte del balance hídrico (2018-2019). XVIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología (APANAC 2021) Congreso Virtual, 23-25 de Junio, 2021, Panamá., I(1), 205-211. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.318>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2024, marzo 13). Exportación de palta superó las 36 mil toneladas en primer bimestre de 2024. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/sse/noticias/930071>
- Ordoñez, J. (2011). Ciclo Hidrológico, Global Water Partnership, Lima, Perú.
- Oropeza M., J. (1999). Modelos matemáticos y su aplicación al manejo de cuencas hidrográficas. Memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación. Culiacán, Sinaloa
- Palacios V. (2005). Demanda evapotranspirativa Colegio de PostGraduados, Montecillo MéxicoPalomino
- Palomino, S., y Serna, J. (2021). Acreditación de la disponibilidad hídrica superficial en la quebrada Saucillo - captación Saucillo a favor del usuario Santos Nickson Palomino Tenorio: (anexo N° 07). Uchile.cl. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/5353>
- Palomino, S., y Serna, J. (2022). Acreditación de la disponibilidad hídrica superficial en la quebrada Saucillo - captación Saucillo a favor del usuario Santos Nickson Palomino Tenorio: (anexo N° 07). Ana.gob.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/5353>
- Remenieras, G. (1974). Tratado de hidrología aplicada. Editores Asociados, S.A. 2ª ed Barcelona España.
- Ruíz-del Ángel, E. O., Vargas-Castilleja, R. d., y Rolón-Aguilar, J. C. (2019). Análisis del requerimiento hídrico en un distrito de riego de Tamaulipas, México. Revista

<https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/IAgric/article/view/1097/1738>

- Sánchez Ortega, N. L. (2021). Análisis de la planeación y gestión del uso del agua para riego, en el sector agrícola de Mexicali, Baja California: un desafío de gobernabilidad. Baja California: Repositorio universidad autonoma de Baja California. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/7985>
- Sánchez, F. J. (2022). Hidrología Superficial y Subterránea. 2ª ed. Kindle Direct Publishing., 440 pp.
- Tetuno García, J. (1993). Apuntes de hidrología superficial. Tesis de ingeniería en irrigación. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Irrigación, Chapingo, México.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical review, 38(1), 55-94.
- UNESCO. (1971) Scientific framework of world water balance. Paris, UNESCO. 27p. (Technical papers in hydrology, NO. 7).
- Vásquez, (2000). Estimación de la precipitación promedio areal de la cuenca de Saboya, Paraguay.
- World Vision (2004). Manual de Manejo de Cuencas: Módulo 7. Monitoreo y evaluación de manejo de cuencas, pp. 139 – 141. El Salvador.

ANEXOS

ANEXO N°1: Matriz de consistencia

TITULO: “SOSTENIBILIDAD HÍDRICA MEDIANTE ESTRATÉGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE PALTO EN LA QUEBRADA SAUCILLO, PROVINCIA LUCANAS, REGION AYACUCHO, 2024”						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Dependiente: Sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo	Oferta Hídrica	Caudal ecológico. Oferta hídrica mensual y anual. Superávit hídrico.	El tipo de investigación es descriptiva y explicativa. El nivel de investigación es correlacional.
¿De qué manera las estrategias de gestión ambiental pueden mejorar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, para garantizar el uso eficiente del agua en el cultivo de palto?	Evaluar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, mediante el análisis de estrategias de gestión ambiental aplicables al cultivo de palto.	La sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, depende directamente de la aplicación de estrategias de gestión ambiental orientadas al cultivo de palto.		Demanda Hídrica	Volumen de agua. Demanda de agua mensual y anual.	El diseño de la investigación es no experimental y transversal.
Problema específico	Objetivos específicos	Hipótesis específico	Independiente: Gestión ambiental para el cultivo de palto	Calidad del Agua	Parámetros fisicoquímicos. Parámetros biológicos.	La población está conformada por todos los cultivos que dependen de la quebrada Saucillo para el riego, incluyendo tanto los actuales como los proyectados en el área del sector Huayo, provincia de Lucanas.
¿De qué manera se puede equilibrar la oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo según clasificación de la Autoridad Nacional del Agua – ANA para satisfacer los requerimientos del cultivo de palto?	Analizar la oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo, utilizando registros de clasificación establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para determinar el equilibrio necesario para satisfacer los requerimientos del cultivo de palto.	La oferta y demanda hídrica en la quebrada Saucillo, evaluada con base en los y registros de clasificación proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), presenta desequilibrios estacionales que afectan la sostenibilidad del cultivo de palto.		Eficiencia en el uso del recurso hídrico.	Eficiencia de uso del agua proyectada. Demanda hídrica proyectada.	La muestra, en cambio, se centra exclusivamente en el cultivo de Palto en las 4 hectáreas proyectadas en el sector Huayo. La muestra es no probabilística, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de

¿De qué manera la calidad del agua en la quebrada Saucillo influye en su aptitud para el cultivo de palto?	Analizar la calidad del agua en la quebrada Saucillo para asegurar su aptitud en el cultivo de palto.	El análisis de la calidad del agua en la quebrada Saucillo permitirá asegurar su aptitud para el cultivo de palto, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica.		Simulación de escenarios de balance hídrico.	Proyección del balance hídrico. Proyección de disminuciones en la disponibilidad de agua. Proyección de aumentos en la disponibilidad de agua.	causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Johnson, 2014, Hernández-Sampieri et al., 2013 y Battaglia, 2008b)
¿De qué manera los escenarios de gestión ambiental optimizan el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto?	Simular escenarios de gestión ambiental para optimizar el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto.	La simulación de escenarios de gestión ambiental optimizará el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de palto, mejorando la sostenibilidad hídrica de la quebrada Saucillo.				

ANEXO N°2: ANEXO N°2: CÓDIGO EN PYTHON PARA LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS Y CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA DE HIPÓTESIS

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures

# Datos de oferta y demanda hídrica
meses = ["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio",
"Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre"]

oferta_hidrica = [895864.08, 1261555.47, 1121027.77, 178853.43, 9581.43,
3193.81, 3193.81, 14372.15, 3193.81, 39922.64, 55891.70, 250714.19]

demanda_hidrica = [49, 21.4, 15.7, 65.27, 34.04, 28.32, 35.11, 41.49,
55.21, 63.97, 66.92, 77.19]

# Convertir datos a DataFrame
df = pd.DataFrame({"Mes": meses, "Oferta_Hidrica": oferta_hidrica,
"Demanda_Hidrica": demanda_hidrica})

# Convertir los nombres de los meses a índices numéricos para el modelo
de regresión
mes_indices = np.array(range(1, 13)).reshape(-1, 1)

# Escenario 1: Pronóstico con Cambio Climático Moderado (Aumento del 10%
en Demanda Hídrica)
df["Demanda_Hidrica_CC"] = df["Demanda_Hidrica"] * 1.10

# Escenario 2: Implementación de Prácticas de Eficiencia Hídrica
(Redución del 15% en Demanda Hídrica)
df["Demanda_Hidrica_Eficiencia"] = df["Demanda_Hidrica"] * 0.85

# Escenario 3: Aumento en la Disponibilidad de Agua debido a Proyectos
de Infraestructura (Aumento del 20% en Oferta Hídrica)
df["Oferta_Hidrica_Infraestructura"] = df["Oferta_Hidrica"] * 1.20

print("Datos de Oferta y Demanda Hídrica:")
print(df)

# Graficar los tres escenarios con valores de datos
grafico, ax = plt.subplots(figsize=(12, 8))
ax.plot(df["Mes"], df["Demanda_Hidrica"], label="Demanda Hídrica
Actual", marker='o', color='b')
ax.plot(df["Mes"], df["Demanda_Hidrica_CC"], label="Demanda Hídrica con
Cambio Climático (+10%)", linestyle='--', color='r')
ax.plot(df["Mes"], df["Demanda_Hidrica_Eficiencia"], label="Demanda
Hídrica con Eficiencia (-15%)", linestyle='--', color='g')
for i, txt in enumerate(df["Demanda_Hidrica"]):
    ax.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Demanda_Hidrica"].iloc[i]), textcoords="offset points", xytext=(0,
5), ha='center', fontsize=8, color='b')
for i, txt in enumerate(df["Demanda_Hidrica_CC"]):
```

```

        ax.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Demanda_Hidrica_CC"].iloc[i]), textcoords="offset points",
xytext=(0, 5), ha='center', fontsize=8, color='r')
for i, txt in enumerate(df["Demanda_Hidrica_Eficiencia"]):
    ax.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Demanda_Hidrica_Eficiencia"].iloc[i]), textcoords="offset points",
xytext=(0, 5), ha='center', fontsize=8, color='g')
ax.set_xlabel("Mes")
ax.set_ylabel("Demanda Hídrica (mm)")
ax.set_title("Escenarios de Demanda Hídrica para el Cultivo de Palto")
ax.legend()
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid()
plt.show()

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(df["Mes"], df["Oferta_Hidrica"], label="Oferta Hídrica
Actual", marker='o', color='b')
plt.plot(df["Mes"], df["Oferta_Hidrica_Infraestructura"], label="Oferta
Hídrica con Infraestructura (+20%)", linestyle='--', color='orange')
for i, txt in enumerate(df["Oferta_Hidrica"]):
    plt.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Oferta_Hidrica"].iloc[i]), textcoords="offset points", xytext=(0,
5), ha='center', fontsize=8, color='b')
for i, txt in enumerate(df["Oferta_Hidrica_Infraestructura"]):
    plt.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Oferta_Hidrica_Infraestructura"].iloc[i]), textcoords="offset
points", xytext=(0, 5), ha='center', fontsize=8, color='orange')
plt.xlabel("Mes")
plt.ylabel("Oferta Hídrica (m3/mes)")
plt.title("Escenarios de Oferta Hídrica para el Cultivo de Palto")
plt.legend()
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid()
plt.show()

mes_indices = np.array(range(1, 13)).reshape(-1, 1)

# Oferta Hídrica vs Demanda Hídrica utilizando regresión lineal
regresion_lineal = LinearRegression()
regresion_lineal.fit(mes_indices, df["Oferta_Hidrica"].values.reshape(-
1, 1))

# Predicciones con regresión lineal
df["Prediccion_Oferta"] = regresion_lineal.predict(mes_indices)

# Mostrar los datos de predicción de oferta hídrica
print("\nPredicción de Oferta Hídrica (Regresión Lineal):")
print(df[["Mes", "Oferta_Hidrica", "Prediccion_Oferta"]])

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(df["Mes"], df["Oferta_Hidrica"], label="Oferta Hídrica Real",
marker='o')
plt.plot(df["Mes"], df["Prediccion_Oferta"], label="Predicción Oferta
Hídrica (Regresión Lineal)", linestyle='--', color='r')
for i, txt in enumerate(df["Oferta_Hidrica"]):

```

```

plt.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Oferta_Hidrica"].iloc[i]), textcoords="offset points", xytext=(0,
5), ha='center', fontsize=8, color='b')
for i, txt in enumerate(df["Prediccion_Oferta"]):
    plt.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Prediccion_Oferta"].iloc[i]), textcoords="offset points",
xytext=(0, 5), ha='center', fontsize=8, color='r')
plt.xlabel("Mes")
plt.ylabel("Oferta Hídrica (m3/mes)")
plt.title("Oferta Hídrica Estimada vs Predicción (Regresión Lineal)")
plt.legend()
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid()
plt.show()

# Aplicar Regresión Polinómica (grado 2) para analizar tendencias
complejas
poly = PolynomialFeatures(degree=2)
mes_indices_poly = poly.fit_transform(mes_indices)

regresion_polinamica = LinearRegression()
regresion_polinamica.fit(mes_indices_poly,
df["Demanda_Hidrica"].values.reshape(-1, 1))

# Predicciones con regresión polinómica
df["Prediccion_Demanda"] =
regresion_polinamica.predict(mes_indices_poly)

print("\nPredicción de Demanda Hídrica (Regresión Polinómica):")
print(df[["Mes", "Demanda_Hidrica", "Prediccion_Demanda"]])

grafico, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))
ax.plot(df["Mes"], df["Demanda_Hidrica"], label="Demanda Hídrica Real",
marker='o')
ax.plot(df["Mes"], df["Prediccion_Demanda"], label="Predicción Demanda
Hídrica (Regresión Polinómica)", linestyle='--', color='g')
for i, txt in enumerate(df["Demanda_Hidrica"]):
    ax.annotate(f'{txt:.2f}', (mes_indices[i],
df["Demanda_Hidrica"].iloc[i]), textcoords="offset points", xytext=(0,
5), ha='center', fontsize=8, color='b')

```

PARTE 2: CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA DE LA HIPÓTESIS GENERAL

```
import numpy as np
```

```
import pandas as pd
```

```
from scipy import stats
```

1. Carga de datos base (extraídos del Anexo N°2 de la tesis)

```
meses = ["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio",
```

```
        "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre"]
```

```

oferta_hidrica = np.array([895864.08, 1261555.47, 1121027.77, 178853.43, 9581.43,
                           3193.81, 3193.81, 14372.15, 3193.81, 39922.64, 55891.70, 250714.19])

demanda_hidrica = np.array([49.0, 21.4, 15.7, 65.27, 34.04, 28.32,
                             35.11, 41.49, 55.21, 63.97, 66.92, 77.19])

# 2. Definición del Balance Hídrico
# Escenario 0 (Sin Gestión Ambiental)
balance_base = oferta_hidrica - demanda_hidrica

# Escenario 1 (Con Gestión Ambiental: +20% Oferta por Infraestructura, -15% Demanda
por Eficiencia)
oferta_infra = oferta_hidrica * 1.20
demanda_eficiente = demanda_hidrica * 0.85
balance_gestion = oferta_infra - demanda_eficiente

# 3. Cálculo de las Diferencias
diferencia = balance_gestion - balance_base

# 4. Evaluación de Supuesto de Normalidad (Shapiro-Wilk)
stat_sw, p_val_sw = stats.shapiro(diferencia)

print("--- EVALUACIÓN DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK) ---")
print(f"Estadístico W = {stat_sw:.4f}, p-valor = {p_val_sw:.4e}")

# 5. Aplicación del Estadígrafo Correspondiente
if p_val_sw >= 0.05:
    # Distribución Normal: Prueba t de Student Pareada
    t_stat, p_value = stats.ttest_rel(balance_gestion, balance_base)
    estadígrafo = f"t de Student (t = {t_stat:.4f})"
else:
    # Distribución No Normal: Prueba de Wilcoxon
    w_stat, p_value = stats.wilcoxon(balance_gestion, balance_base)
    estadígrafo = f"Wilcoxon (W = {w_stat:.4f})"

```

```

print("\n--- PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL ---")
print(f"Estadígrafo Utilizado: {estadígrafo}")
print(f"p-valor Resultante: {p_value:.4e}")

```

```

#

```

```

=====
=====

```

CÓDIGO COMPLETO DE SIMULACIÓN Y CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA

```

import numpy as np
import pandas as pd
from scipy import stats

# 1. CARGA DE DATOS DE LA QUEBRADA SAUCILLO (TABLAS 14 Y 19 DE LA
TESIS)
meses = ["Ene", "Feb", "Mar", "Abr", "May", "Jun", "Jul", "Ago", "Set", "Oct",
"Nov", "Dic"]
oferta_hidrica = np.array([895864.08, 1261555.47, 1121027.77, 178853.43,
9581.43,
3193.81, 3193.81, 14372.15, 3193.81, 39922.64, 55891.70,
250714.19])
demanda_hidrica = np.array([49.0, 21.4, 15.7, 65.27, 34.04, 28.32,
35.11, 41.49, 55.21, 63.97, 66.92, 77.19])

# 2. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS
balance_base = oferta_hidrica - demanda_hidrica
balance_optimo = (oferta_hidrica * 1.20) - (demanda_hidrica * 0.85)

# 3. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE HIPÓTESIS

print("=== 1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK) ===")
stat_sw, p_sw = stats.shapiro(balance_optimo - balance_base)
print(f"Estadístico W = {stat_sw:.4f}, p-valor = {p_sw:.6e}")

```

```

print("\n=== 2. CONTRASTACIÓN HIPÓTESIS GENERAL Y ESPECÍFICA 1
Y 3 (WILCOXON) ===")
w_stat, p_val_w = stats.wilcoxon(balance_optimo, balance_base)
print(f"Estadístico W = {w_stat:.4f}, p-valor = {p_val_w:.6f}")
if p_val_w < 0.05:
    print("Decisión: Rechazar H0. Existe diferencia significativa entre
escenarios.")

print("\n=== 3. CONTRASTACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2 (PRUEBA
BINOMIAL CALIDAD) ===")
# Evaluación de cumplimiento de parámetros ECA Agua para Riego (15
evaluados, 14 conformes)
k_exitos = 14
n_parametros = 15
p_bin = stats.binomtest(k_exitos, n_parametros, p=0.5,
alternative='greater').pvalue
print(f"p-valor Prueba Binomial = {p_bin:.6f}")
if p_bin < 0.05:
    print("Decisión: Rechazar H0. El agua es apta para riego agrícola (Monitorear
Manganeso).")

```

ANEXO N°3: Interfaz de Python utilizada en la programación

```
Comandos | + Código | + Texto | Conectar | ^
# Código
print(Anos considerados: , anos)
print(f"El coeficiente de escorrentía calculado es aproximadamente {C:.2f}.")
print("Oferta hídrica mensual (m³/mes):")
meses = ["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre"]
for mes, oferta in zip(meses, oferta_hídrica_mensual):
    print(f"{mes}: {oferta:.2f} m³")

# Salida
Años considerados: [1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030]
El coeficiente de escorrentía calculado es aproximadamente 0.68.
Oferta hídrica mensual (m³/mes):
Enero: 895864.08 m³
Febrero: 1261555.47 m³
Marzo: 1121027.77 m³
Abril: 178853.43 m³
Mayo: 9581.43 m³
Junio: 3193.81 m³
Julio: 3193.81 m³
Agosto: 14372.15 m³
Septiembre: 3193.81 m³
Octubre: 39922.64 m³
Noviembre: 55891.70 m³
Diciembre: 250714.19 m³

# Terminal
[ ] import pandas as pd
```

```
Comandos | + Código | + Texto | Conectar | ^
# Código
# Precipitación Efectiva (Pe)
df["Pe (mm)"] = df["P. Efectiva (mm)"]

# Mostrar resultados
print(df)

df.to_csv("eto_pe_calculations.csv", index=False)

# Salida
Mes Etp (mm) Kc P. Efectiva (mm) Eto (mm) Pe (mm)
0 Ene 130.33 0.65 35.5 84.7145 35.5
1 Feb 124.92 0.65 59.8 81.1980 59.8
2 Mar 138.31 0.65 74.2 89.9015 74.2
3 Abr 108.11 0.65 5.0 70.2715 5.0
4 May 85.11 0.40 0.0 34.0440 0.0
5 Jun 56.63 0.50 0.0 28.3150 0.0
6 Jul 58.52 0.60 0.0 35.1120 0.0
7 Ago 69.15 0.60 0.0 41.4900 0.0
8 Set 84.94 0.65 0.0 55.2110 0.0
9 Oct 98.41 0.65 0.0 63.9665 0.0
10 Nov 102.96 0.65 0.0 66.9240 0.0
11 Dic 127.67 0.65 5.8 82.9855 5.8

# Terminal
[ ] import pandas as pd

meses = ["Ene", "Feb", "Mar", "Abr", "May", "Jun", "Jul", "Ago", "Set", "Oct", "Nov", "Dic"]
etp_values = [130.33, 124.92, 138.31, 108.11, 85.11, 56.63, 58.52, 69.15, 84.94, 98.41, 102.96, 127.67]
kc_values = [0.65, 0.65, 0.65, 0.65, 0.4, 0.5, 0.6, 0.6, 0.65, 0.65, 0.65, 0.65]
p_efectiva_values = [35.5, 59.8, 74.2, 5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 5.8]
```

```
Comandos | + Código | + Texto | Conectar | ^
# Código
df["Eto (mm)"] = df["ETP (mm)"] * df["Kc"]
df["Pe (mm)"] = df["P. Efectiva (mm)"]
df["DNR (mm)"] = df["Eto (mm)"] - df["Pe (mm)"]

df["DNR (mm)"] = df["DNR (mm)"].apply(lambda x: max(x, 0))

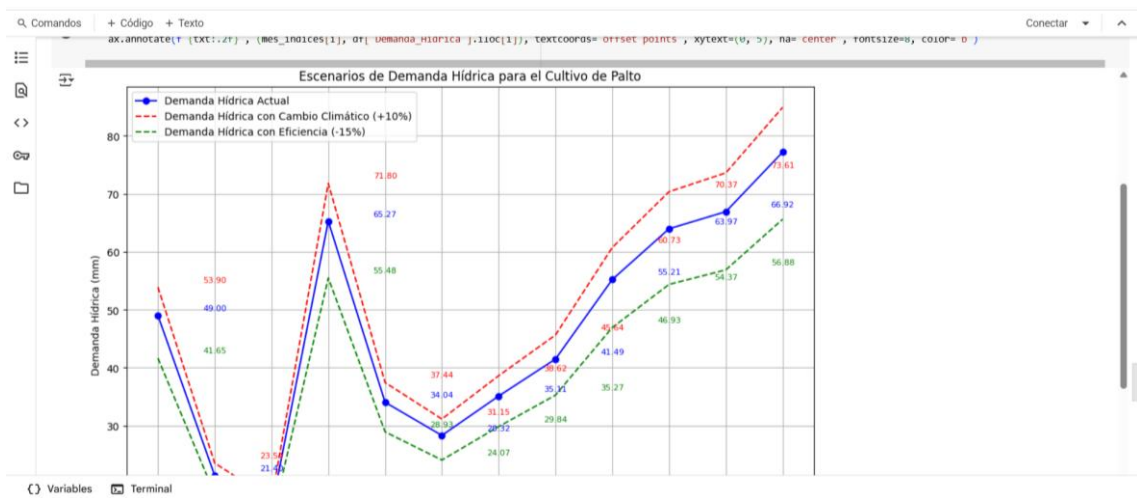
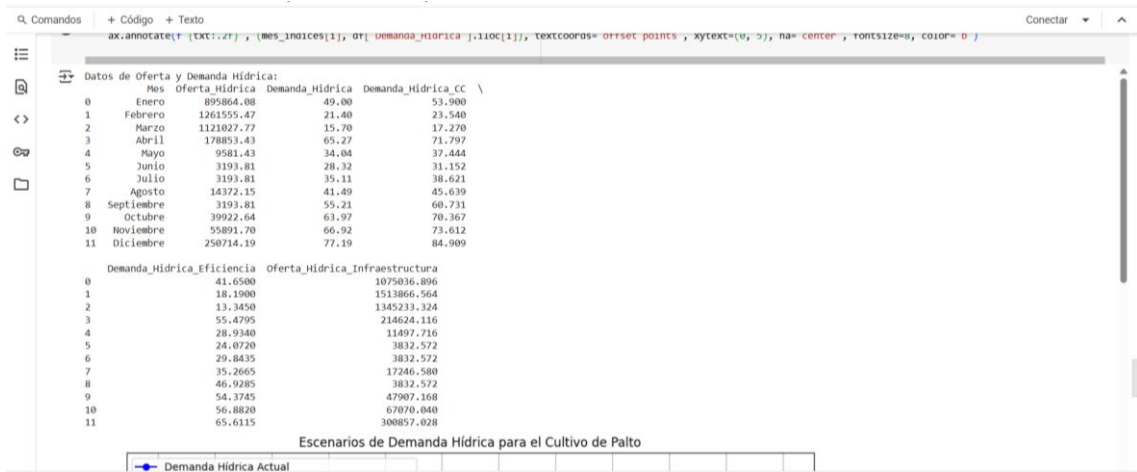
print(df)

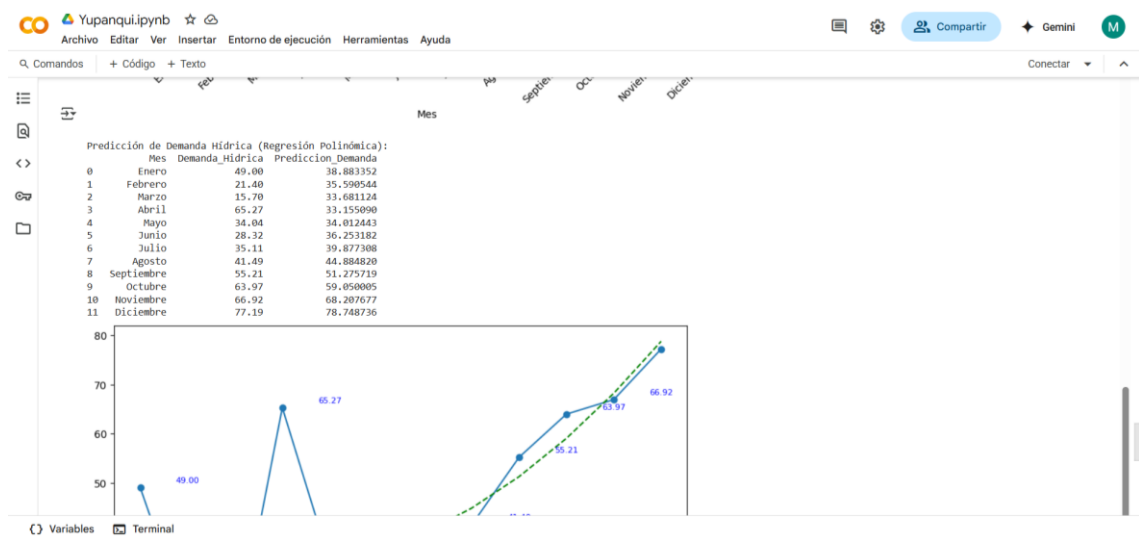
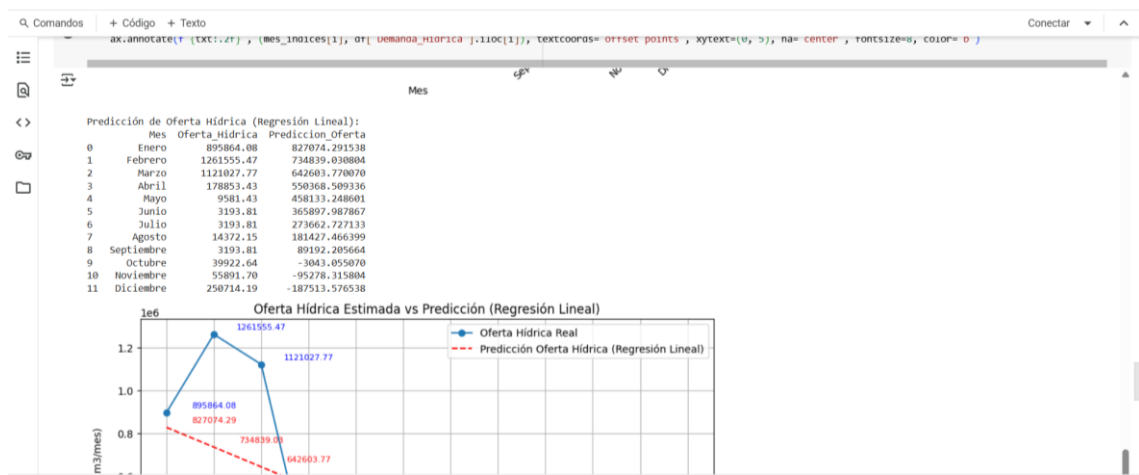
df.to_csv("demanda_hidrica_galto.csv", index=False)

# Salida
Mes ETP (mm) Kc P. Efectiva (mm) Eto (mm) Pe (mm) DNR (mm)
0 Ene 130.33 0.65 35.5 84.7145 35.5 49.2145
1 Feb 124.92 0.65 59.8 81.1980 59.8 21.3980
2 Mar 138.31 0.65 74.2 89.9015 74.2 15.7015
3 Abr 108.11 0.65 5.0 70.2715 5.0 65.2715
4 May 85.11 0.40 0.0 34.0440 0.0 34.0440
5 Jun 56.63 0.50 0.0 28.3150 0.0 28.3150
6 Jul 58.52 0.60 0.0 35.1120 0.0 35.1120
7 Ago 69.15 0.60 0.0 41.4900 0.0 41.4900
8 Set 84.94 0.65 0.0 55.2110 0.0 55.2110
9 Oct 98.41 0.65 0.0 63.9665 0.0 63.9665
10 Nov 102.96 0.65 0.0 66.9240 0.0 66.9240
11 Dic 127.67 0.65 5.8 82.9855 5.8 77.1855

# Terminal
[ ] import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures

# Datos de oferta u demanda hídrica
```





ARTICULO CIENTÍFICO

SOSTENIBILIDAD HÍDRICA MEDIANTE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE PALTO EN LA QUEBRADA SAUCILLO, PROVINCIA LUCANAS, REGIÓN AYACUCHO, 2024

WATER SUSTAINABILITY THROUGH ENVIRONMENTAL MANAGEMENT STRATEGIES FOR AVOCADO CULTIVATION IN THE SAUCILLO STREAM, LUCANAS PROVINCE, AYACUCHO REGION, 2024.

Jaquelin Rita Yupanqui Montoya

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
Huamanga

jaquelin.yupanqui.19@unsch.edu.pe

Resumen

La expansión del cultivo de palto en la región Ayacucho ha generado una creciente presión sobre los recursos hídricos, evidenciando la necesidad de estrategias de gestión ambiental que aseguren su sostenibilidad. La investigación evaluó la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo (Lucanas, Ayacucho) para un proyecto de 4 hectáreas de palto, proponiendo estrategias de gestión ambiental. Se empleó un enfoque cuantitativo, no experimental y transversal. La oferta hídrica se estimó mediante un modelo de escorrentía basado en el Número de Curva (CN) y datos pluviométricos del SENAMHI y ANA. La demanda se calculó con la evapotranspiración de referencia (ET_o) y

coeficientes de cultivo (K_c). La calidad del agua se evaluó comparando parámetros fisicoquímicos con los Estándares de Calidad Ambiental para riego. Los resultados evidencian un marcado desequilibrio estacional: la oferta es alta de enero a marzo ($>890,000 \text{ m}^3/\text{mes}$) y se reduce drásticamente de abril a noviembre ($<178,853 \text{ m}^3/\text{mes}$), mientras que la demanda es crítica en abril (65.27 mm) y diciembre (77.19 mm). El manganeso (0.54 mg/L) supera el límite permisible (0.2 mg/L). La simulación indica que un reservorio de $6,000 \text{ m}^3$ y riego tecnificado equilibrarían el balance hídrico. Se concluye que la sostenibilidad hídrica depende de la aplicación de estrategias de gestión ambiental.

Palabras clave: Balance hídrico, demanda hídrica, gestión ambiental, oferta hídrica, palto, sostenibilidad hídrica

Abstract

The expansion of avocado cultivation in the Ayacucho region has generated increasing pressure on water resources, highlighting the need for environmental management strategies to ensure its sustainability. This research assessed water sustainability in the Saucillo stream (Lucanas, Ayacucho) for a 4-hectare avocado project, proposing environmental management strategies. A quantitative, non-experimental, cross-sectional approach was used. Water supply was estimated using a runoff model based on the Curve Number (CN) and rainfall data from SENAMHI and ANA. Demand was calculated using reference evapotranspiration (ET_o) and crop coefficients (K_c). Water quality was assessed by comparing physicochemical parameters with Environmental Quality Standards for irrigation. Results show a marked seasonal imbalance: supply is high from January to March ($>890,000 \text{ m}^3/\text{month}$) and drops drastically from April to

November ($<178,853 \text{ m}^3/\text{month}$), while demand is critical in April (65.27 mm) and December (77.19 mm). Manganese (0.54 mg/L) exceeds the permissible limit (0.2 mg/L). Simulation indicates that a $6,000 \text{ m}^3$ reservoir and efficient irrigation would balance the water budget. It is concluded that water sustainability depends on the application of environmental management strategies.

Keywords: Water balance, water demand, environmental management, water supply, avocado, water sustainability

I. Introducción

El cultivo de palto (*Persea americana*) ha experimentado un crecimiento exponencial en el Perú durante la última década. En 2023, las exportaciones peruanas de palta superaron las 599 mil toneladas, generando ingresos cercanos a los 963 millones de dólares (MIDAGRI, 2024). Este auge ha incentivado la expansión de la frontera agrícola hacia regiones como Ayacucho, donde programas de fomento productivo han impulsado su siembra en comunidades rurales. Sin embargo, este crecimiento no ha estado acompañado de una planificación hídrica adecuada, generando desequilibrios entre la oferta y la demanda del recurso que afectan tanto a los productores como a los ecosistemas locales.

La quebrada Saucillo, ubicada en el sector Huayo, provincia de Lucanas, región Ayacucho, constituye una fuente hídrica estratégica para el desarrollo agrícola de la zona. Sus aguas son utilizadas para el riego de cultivos frutales, siendo el palto el de mayor demanda y rentabilidad. No obstante, la creciente presión sobre este recurso, sumada a la falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento y distribución del agua, ha generado periodos críticos de

escasez durante la temporada seca (Palomino y Serna, 2022). La ausencia de estudios detallados sobre la oferta y demanda hídrica, así como de un monitoreo sistemático de la calidad del agua, ha llevado a una explotación desmedida del recurso.

Investigaciones previas han abordado problemáticas similares. Carreño y Quintero (2022) identificaron que la oferta hídrica en microcuencas de Santander, Colombia, no satisface la demanda agrícola durante los meses críticos. Loayza (2022) demostró que la implementación de proyectos de gestión ambiental en la microcuenca Huancaro (Cusco) permitió recuperar el cauce del río y mejorar la disponibilidad hídrica. Lamadrid y Ninalaya (2020) resaltaron la importancia de combinar el análisis técnico con la evaluación de la cultura del agua para asegurar la sostenibilidad de lagunas altoandinas. Estos antecedentes evidencian la necesidad de adoptar enfoques integrales que consideren tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos del recurso hídrico.

El marco conceptual se fundamenta en la sostenibilidad hídrica, entendida como la capacidad de mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda de agua sin comprometer la disponibilidad para las generaciones futuras (Ordoñez, 2011). La oferta hídrica se define como el volumen de agua que fluye a través de una cuenca después de satisfacer las demandas de evapotranspiración (IDEAM, 2004), mientras que la demanda hídrica corresponde al volumen necesario para cubrir los usos agrícolas (Balairon, 2002). La calidad del agua determina la aptitud del recurso para el riego agrícola, conforme a los Estándares de Calidad Ambiental (D.S. N° 004-2017-MINAM). La gestión ambiental se concibe como el conjunto de acciones planificadas que buscan asegurar el uso racional de los recursos naturales (Cabrera, 2024).

El objetivo general fue evaluar la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo mediante el análisis de estrategias de gestión ambiental aplicables al cultivo de palto. Los objetivos específicos comprendieron: (a) analizar la oferta y demanda hídrica, (b) evaluar la calidad del agua, y (c) simular escenarios de gestión ambiental que optimicen el uso eficiente del recurso hídrico.

II. Metodología

La investigación se desarrolló en la quebrada Saucillo, sector Huayo, distrito de Laramate, provincia de Lucanas, región Ayacucho. La microcuenca tiene un área de 23.51 km² y altitudes que oscilan entre 2340 y 3900 m.s.n.m. La fuente de agua se encuentra en las coordenadas 513749 E, 8412588 N, a 2400 m.s.n.m. Hidrográficamente, la jurisdicción se encuentra bajo la gestión de la Autoridad Local del Agua Grande, integrada en la Autoridad Administrativa del Agua Chaparra-Chincha.

El estudio se enmarcó en un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y explicativo. El nivel de investigación fue correlacional y el diseño fue no experimental y transversal (Hernández et al., 2014). La población estuvo conformada por todos los cultivos de palto que dependen de la quebrada Saucillo. La muestra fue no probabilística por conveniencia y se centró en un proyecto específico de 4 hectáreas de palto.

La variable dependiente, sostenibilidad hídrica, fue dimensionada a través de la oferta hídrica, la demanda hídrica y la calidad del agua. La variable independiente, gestión ambiental, fue evaluada mediante la eficiencia en el uso del agua y la simulación de escenarios de balance hídrico.

Para la estimación de la oferta hídrica, se empleó un modelo de esorrentía basado en el método del Número de Curva (CN). Los datos de precipitación se obtuvieron de tres estaciones meteorológicas cercanas: Pampa Blanca (1009 m.s.n.m.), Llauta (2445 m.s.n.m.) y Huac-Huas (3180 m.s.n.m.), cuyos registros fueron proporcionados por el SENAMHI y la ANA. El coeficiente de esorrentía se calculó con la fórmula: $C = [(CN - 20)^2] / [(100 - CN) + (CN - 20)^2]$, donde $CN = 32$. La oferta hídrica mensual se obtuvo multiplicando la precipitación mensual por el área de la cuenca y el coeficiente de esorrentía.

La demanda hídrica se estimó para el cultivo de palto en las 4 hectáreas, considerando la evapotranspiración de referencia (ET_o), el coeficiente de cultivo (K_c) y la precipitación efectiva. Los coeficientes K_c del palto se obtuvieron del informe técnico de la ANA (Palomino y Serna, 2021), con valores que varían entre 0.4 y 0.65 según la etapa fenológica. La demanda neta de riego se calculó como la diferencia entre la ET_o y la precipitación efectiva. El volumen neto se convirtió a volumen bruto considerando una eficiencia del sistema de riego del 50%.

Para la evaluación de la calidad del agua, se utilizaron los datos del informe técnico de la ANA N° 0025-2022-ANA-AAA-CHCH/AVRM (Palomino y Serna, 2021). Los parámetros analizados incluyeron pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, nutrientes, metales y metaloides. Los resultados se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), Categoría 3.

Para la simulación de escenarios, se modelaron tres escenarios utilizando Python: escenario base (sin intervención), escenario de eficiencia hídrica (reducción del 15% en la demanda mediante riego por goteo), y escenario con

infraestructura hídrica (incremento del 20% en la oferta mediante un reservorio de 6,000 m³).

El análisis estadístico se realizó con `scipy.stats` de Python. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y, dado que los datos no siguieron una distribución normal, se empleó la prueba no paramétrica de Rangos con Signo de Wilcoxon para muestras pareadas, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

III. Resultados y discusión

Resultados

El análisis de la oferta hídrica reveló una marcada estacionalidad en la disponibilidad del recurso a lo largo del año. Durante los primeros tres meses (enero, febrero y marzo), la oferta hídrica es significativamente alta, con valores de 895,864.08 m³, 1,261,555.47 m³ y 1,121,027.77 m³ respectivamente, coincidiendo con la temporada de mayores precipitaciones en la región. A partir de abril, la oferta experimenta una caída pronunciada, alcanzando 178,853.43 m³ en abril, y se mantiene en niveles extremadamente bajos entre mayo y septiembre, con valores mínimos de 3,193.81 m³ en junio, julio y septiembre, y 9,581.43 m³ en mayo. En octubre y noviembre, la oferta muestra una ligera recuperación (39,922.64 m³ y 55,891.70 m³), mientras que en diciembre alcanza los 250,714.19 m³, marcando el inicio de la temporada húmeda. Esta variabilidad estacional refleja el comportamiento hidrológico típico de la zona, caracterizado por avenidas en época de lluvias y severos períodos de estiaje.

Por su parte, la demanda hídrica estimada para el cultivo de palto en las 4 hectáreas presenta una distribución mensual que responde tanto a las

condiciones climáticas como a la etapa fenológica del cultivo. Los valores más altos de demanda neta de riego se observan en abril (65.27 mm), septiembre (55.21 mm), octubre (63.97 mm), noviembre (66.92 mm) y diciembre (77.19 mm). Durante estos meses, la precipitación efectiva es nula o muy baja, por lo que toda la demanda debe ser cubierta mediante riego. En contraste, los meses de enero, febrero y marzo presentan las menores demandas netas (49.21 mm, 21.40 mm y 15.70 mm respectivamente), debido al aporte significativo de la precipitación efectiva (35.5 mm, 59.8 mm y 74.2 mm). Este comportamiento evidencia que, si bien la demanda fisiológica del palto se mantiene durante todo el año, la necesidad de riego suplementario se reduce sustancialmente cuando la lluvia contribuye a cubrir parte de los requerimientos hídricos del cultivo.

El análisis de la calidad del agua, realizado a partir de los datos del informe técnico de la ANA, determinó que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y metales analizados se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), Categoría 3, destinada a riego de vegetales y consumo de animales. El pH registrado fue de 6.93, dentro del rango óptimo para el cultivo de palto (6.0-7.5). La conductividad eléctrica de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indica un bajo nivel de salinidad, muy por debajo del límite máximo de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El oxígeno disuelto de 4 mg/L cumple con el estándar mínimo requerido (≥ 4 mg/L). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fue inferior a 2 mg/L y la demanda química de oxígeno (DQO) alcanzó 16 mg/L, ambos por debajo de los límites permisibles de 15 mg/L y 40 mg/L, respectivamente. Sin embargo, la concentración de manganeso total (0.54 mg/L) superó el valor máximo recomendado de 0.2 mg/L, representando el único parámetro que incumple la normativa. Otros metales como aluminio (3.27 mg/L),

hierro (2.039 mg/L), arsénico (0.0015 mg/L) y plomo (0.0028 mg/L) se mantuvieron dentro de los límites permisibles, aunque el aluminio y el hierro se acercan a los valores máximos, lo que sugiere la necesidad de monitoreo continuo.

La simulación de escenarios de gestión ambiental permitió evaluar el impacto de diferentes estrategias sobre el balance hídrico y la sostenibilidad del cultivo. En el escenario de eficiencia hídrica, la implementación de sistemas de riego por goteo permitió una reducción del 15% en la demanda neta de riego, disminuyendo los picos de demanda de 65.27 mm a 55.48 mm en abril y de 77.19 mm a 65.61 mm en diciembre. Esta reducción, además de optimizar la lámina neta requerida por la planta, alivia sustancialmente la presión de extracción sobre el caudal de la quebrada durante los meses de estiaje. En el escenario con infraestructura hídrica, la construcción de un reservorio de 6,000 m³ incrementó la oferta disponible en un 20%, elevando los volúmenes mensuales de 178,853.43 m³ a 214,624.12 m³ en abril y de 250,714.19 m³ a 300,857.03 m³ en diciembre. Este incremento permite cubrir el déficit hídrico durante los meses críticos, reduciendo la vulnerabilidad del cultivo frente a fluctuaciones climáticas. El escenario de cambio climático, que proyecta un aumento del 10% en la demanda debido al incremento de temperatura y evapotranspiración, mostró un incremento significativo en las necesidades de agua, alcanzando picos de 71.80 mm en abril y 84.91 mm en diciembre, lo que resalta la urgencia de implementar medidas de adaptación para mitigar los efectos del calentamiento global.

La contrastación estadística de las hipótesis se realizó mediante la prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon para muestras pareadas, dado que la prueba de Shapiro-Wilk indicó una distribución no normal de las diferencias entre los

balances hídricos de los escenarios ($W = 0.5362$, $p\text{-valor} = 2.015 \times 10^{-5}$, $p < 0.05$). Para la hipótesis general, el estadístico de prueba fue $W = 0.000$ con un $p\text{-valor}$ de 0.000488 ($p < 0.001$), lo que permitió rechazar la hipótesis nula y confirmar que la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo depende directamente de la aplicación de estrategias de gestión ambiental orientadas al cultivo de palto. De manera similar, la hipótesis específica 1, que evaluaba la existencia de desequilibrios estacionales entre oferta y demanda, arrojó un estadístico $W = 0.000$ y un $p\text{-valor}$ de 0.000488 , confirmando la presencia de un déficit hídrico continuado entre mayo y noviembre que condiciona la sostenibilidad del cultivo sin regulación hídrica. La hipótesis específica 2, evaluada mediante la Prueba Binomial de Signos, mostró un $p\text{-valor}$ de 0.0039 , lo que permitió aceptar con reserva que el agua es apta para riego agrícola, con la recomendación de monitorear la concentración de manganeso. Finalmente, la hipótesis específica 3, que evaluaba la optimización del recurso mediante la simulación de escenarios, presentó un estadístico $W = 0.000$ y un $p\text{-valor}$ de 0.000488 , validando que la combinación de infraestructura de almacenamiento y tecnificación del riego mejora significativamente la disponibilidad neta y la eficiencia del riego en la quebrada Saucillo.

Discusión

Los resultados evidencian una problemática multifactorial en torno a la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo, coincidiendo con estudios previos. Carreño y Quintero (2022) identificaron que la oferta hídrica no es suficiente para satisfacer la demanda agrícola durante los meses críticos en microcuencas de Santander, Colombia. Loayza (2022) demostró que la implementación de infraestructura de almacenamiento en la microcuenca Huancaro (Cusco)

permitió recuperar el cauce del río y mejorar la disponibilidad hídrica. Lamadrid y Ninalaya (2020) resaltaron la importancia de monitorear no solo la cantidad sino también la calidad del agua en ecosistemas altoandinos.

La presencia de manganeso (0.54 mg/L) por encima del límite permisible (0.2 mg/L) es un hallazgo relevante. Aunque es un micronutriente esencial, en concentraciones elevadas puede volverse tóxico, interfiriendo con la absorción de hierro y afectando el desarrollo radicular del palto. La recomendación de implementar un plan de vigilancia para este parámetro se alinea con las buenas prácticas de gestión ambiental (Gárate et al., 2023).

La simulación de escenarios demostró que la combinación de infraestructura de almacenamiento y tecnificación del riego constituye una estrategia efectiva para equilibrar el balance hídrico. La propuesta de construir un reservorio de 6,000 m³ permitiría capturar los excedentes de la temporada de lluvias y utilizarlos durante los meses secos. La tecnificación del riego, con una reducción del 15% en la demanda, optimiza el uso del agua e incrementa la eficiencia productiva (Martínez et al., 2021).

La contrastación estadística valida las estrategias propuestas: uso eficiente del recurso mediante riego tecnificado, implementación de reservorios, monitoreo continuo de la calidad del agua y fortalecimiento de capacidades técnicas. Estas estrategias se alinean con las mejores prácticas identificadas en estudios previos y se adaptan a la realidad específica de la quebrada Saucillo.

Conclusiones

La evaluación de la sostenibilidad hídrica en la quebrada Saucillo ha permitido concluir que la gestión actual del recurso presenta un desequilibrio

crítico entre la oferta y la demanda, especialmente durante los meses secos que se extienden de abril a noviembre. La oferta hídrica, que alcanza su máximo en febrero con 1,261,555.47 m³, se reduce drásticamente a 3,193.81 m³ entre junio y septiembre, mientras que la demanda del cultivo de palto permanece elevada, con picos de 65.27 mm en abril y 77.19 mm en diciembre. Este desequilibrio confirma la necesidad de implementar sistemas de almacenamiento que capturen el excedente de los meses lluviosos (enero-marzo) para garantizar el abastecimiento durante todo el año. La adopción de técnicas de riego eficiente, como el riego por goteo, podría reducir la demanda en un 15%, aliviando la presión sobre el recurso en los meses críticos y mejorando la sostenibilidad del cultivo en las 4 hectáreas estudiadas.

El análisis de la calidad del agua de la quebrada Saucillo determina que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y metales se encuentran dentro de los límites recomendados para riego agrícola según la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua). Sin embargo, la concentración de manganeso total (0.54 mg/L) excede el valor máximo permisible de 0.2 mg/L, lo que representa un riesgo potencial de fitotoxicidad para el cultivo de palto, ya que este metal puede interferir con la absorción de nutrientes esenciales y afectar el desarrollo radicular. Por lo tanto, se concluye que el agua es apta para el riego, pero es imperativo implementar un monitoreo continuo del manganeso y otros metales para prevenir efectos adversos acumulativos en el suelo y en las plantas a largo plazo. Este monitoreo debe complementarse con prácticas de conservación del suelo y, si es necesario, con tratamientos de agua que reduzcan la concentración de manganeso.

Las simulaciones de escenarios de gestión ambiental demostraron que la implementación de infraestructura hídrica (reservorio de 6,000 m³) incrementa la oferta disponible en un 20% durante los meses de alta demanda, elevando la disponibilidad de 6,174.8 m³ a 7,409.76 m³ mensuales y cubriendo así el déficit en los meses críticos. Asimismo, el escenario de eficiencia hídrica, basado en la tecnificación del riego, reduce la demanda en un 15%, disminuyendo los picos de consumo y optimizando el uso del recurso. El escenario de cambio climático proyecta un incremento del 10% en la demanda hídrica, alcanzando los 6,792.28 m³ en diciembre, lo que confirma la necesidad de implementar medidas de adaptación para contrarrestar este efecto y garantizar la sostenibilidad del cultivo a largo plazo. La contrastación estadística mediante la prueba de Wilcoxon validó estas conclusiones, con un nivel de significancia de $p < 0.05$ para todas las hipótesis planteadas.

Referencias bibliográficas

- Balairon, L. (2002). Gestión de recursos hídricos. Barcelona, España: Ediciones UPB.
- Cabrera, A. (2024). Lineamientos de gestión ambiental para el manejo del cultivo de aguacate Hass en las veredas delicias y la florida, municipio de Isnos. Repositorio de La Universidad Tecnológica de Pereira; Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/15554>
- Carreño, M., y Quintero, D. (2022). Análisis de la sostenibilidad hídrica de las dos microcuencas la zapatoca y el ramo que abastecen al municipio de zapatoca, santander, por medio de la metodología de la huella hídrica. Usta.edu.co. <http://hdl.handle.net/11634/47832>

- Gárate, J., Pashanasi, B., Palomino, G. D., y Pereyra, T. (2023). Gobernanza del agua: un análisis sistemático de desafíos, temáticas y propuestas para una gestión hídrica sostenible. *Producción + Limpia*, 18(2), 116–138. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n2a7>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6° ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Hernández, C. (2024). Análisis de las estrategias de mitigación y gestión ambiental en la región del macizo colombiano y la subzona hidrográfica de Bogotá: Un estudio de caso en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). *Usta.edu.co*. <http://hdl.handle.net/11634/54912>
- IDEAM (2004). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*, Bogotá, Colombia, p 10.
- Lamadrid, M., y Ninalaya, H. (2020). Sostenibilidad hídrica de la laguna Yanacocha al 2030 con relación al abastecimiento de la población de Carhuamayo, Junín, 2020. *Ucv.edu.pe*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48396>
- Loayza, M. (2022). Evaluación del proyecto de gestión ambiental e infraestructura-PROGAISH en la microcuenca Huancaro Santiago, subcuenca del Rios Huatanay-Cusco. *Ucsm.edu.pe*; Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11727>
- Martínez, A., Rodríguez, Z., y Fábrega Duque, J. (2021). Estimación y análisis de la demanda hídrica de la subcuenca del Río Estibaná como parte del balance hídrico (2018-2019). XVIII Congreso Nacional de Ciencia y

- Tecnología (APANAC 2021) Congreso Virtual, 23-25 de Junio, 2021, Panamá., I(1), 205-211. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.318>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2024, marzo 13). Exportación de palta superó las 36 mil toneladas en primer bimestre de 2024. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/sse/noticias/930071>
- Ordoñez, J. (2011). Ciclo Hidrológico, Global Water Partnership, Lima, Perú.
- Palomino, S., y Serna, J. (2021). Acreditación de la disponibilidad hídrica superficial en la quebrada Saucillo - captación Saucillo a favor del usuario Santos Nickson Palomino Tenorio: (anexo N° 07). Uchile.cl. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/5353>
- Palomino, S., y Serna, J. (2022). Acreditación de la disponibilidad hídrica superficial en la quebrada Saucillo - captación Saucillo a favor del usuario Santos Nickson Palomino Tenorio: (anexo N° 07). *Ana.gob.pe*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/5353>



ESCUELA DE

POSGRADOUNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0138-2026-UNSCH-EPG/KBA**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N°002-2026-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. JAQUELIN RITA YUPANQUI MONTOYA
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
TÍTULO DE TESIS	Sostenibilidad hídrica mediante estrategias de gestión ambiental para el cultivo de palto en la quebrada saucillo, provincia Lucanas, región Ayacucho, 2024
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	19% de similitud
N° DE TRABAJO	3035339399
FECHA	18 de setiembre de 2026

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que crea conveniente.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Mg. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO
Sub Director de Investigación

18 de setiembre de 2026.

CC.
Archivo
KBA/

Sostenibilidad hídrica mediante estrategias de gestión ambiental para el cultivo de palto en la quebrada saucillo, provincia Lucanas, región Ayacucho, 2024

por Jaquelin Rita YUPANQUI MONTOYA

Fecha de entrega: 18-sept-2026 08:01a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3035339399

Nombre del archivo: Jaquelin_Rita_YUPANQUI_MONTOYA_T.docx (3.19M)

Total de palabras: 36170

Total de caracteres: 191099

Sostenibilidad hídrica mediante estrategias de gestión ambiental para el cultivo de palto en la quebrada saucillo, provincia Lucanas, región Ayacucho, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	7%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	6%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.ana.gob.pe	5%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unsch.edu.pe	4%
	Fuente de Internet	
4	hdl.handle.net	<1 %
	Fuente de Internet	
5	repositorio.upeu.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
6	repositorio.continental.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
7	Submitted to Universidad Católica de Santa María	<1 %
	Trabajo del estudiante	
8	repository.usta.edu.co	<1 %
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unheval.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
10	repositorio.unas.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
11	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan	<1 %
	Trabajo del estudiante	
12	repositorio.upecen.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
13	doczz.es	<1 %
	Fuente de Internet	
14	repositorio.upp.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	

Submitted to Universidad Peruana Del Centro

15	Trabajo del estudiante	<1 %
16	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
17	1library.co Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	<1 %
21	repositorio.ucundinamarca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
22	ASESORES TECNICOS ASOCIADOS S.A.. "EIA-D del Proyecto Construcción de la Represa Santiago de Chuquimarán - Pampas Galeras-IGA0020186", R.D.G. N° 044-14-MINAGRI-DGAAA, 2022 Publicación	<1 %
23	Salazar Cárdenas, Adriana. "Estudio De Caso: Plan De Direccionamiento EstratÉGico Para Insymed.", Universidad de La Sabana (Colombia) Publicación	<1 %
24	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
26	pa.bibdigital.ucc.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
27	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.chapingo.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Exclur citas
Exclur bibliografia

Activo
Activo

Exclur coincidencias

< 30 words

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE
PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°00630 - 2026-UNSCH-EPG/D.

Siendo las 04:00 p.m. del 13 de julio de 2026 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Mg. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mg. EDMUNDO CANCHARI GUTIERREZ** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. ANDRES PORTUGAL PAZ** y el **Msc. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **SOSTENIBILIDAD HÍDRICA MEDIANTE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE PALTO EN LA QUEBRADA SAUCILLO, PROVINCIA LUCANAS, REGIÓN AYACUCHO, 2024**, presentado por la **Bach. JAQUELIN RITA YUPANQUI MONTOYA**. Teniendo como asesor al **Mg. JAIME LEONARDO BENDEZU PRADO**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por la graduanda.

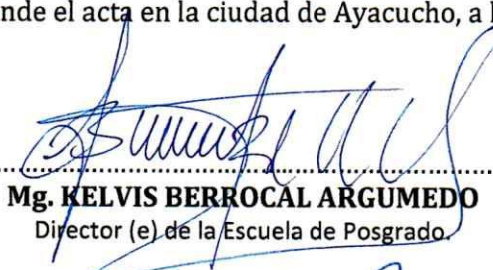
A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DIECISIETE (17).

CALIFICACION (x)	
Aprobado(a) por Unanimidad.	X
Aprobado(a) por Mayoría.	
Desaprobado(a) por Unanimidad.	
Desaprobado(a) por Mayoría.	

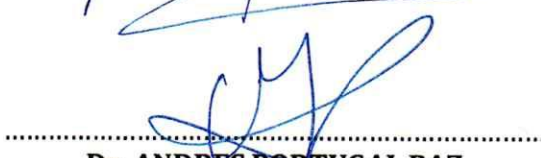
Marcar con un aspa (x).

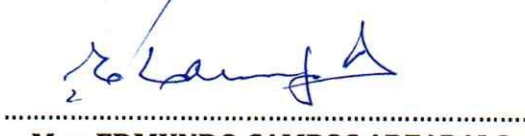
Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue a la **Bach. JAQUELIN RITA YUPANQUI MONTOYA**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Siendo las.....5:45 p.m......hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las.....5:55 p.m......hrs. del 13 de julio de 2026.


.....
Mg. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO
Director (e) de la Escuela de Posgrado.


.....
Mg. EDMUNDO CANCHARI GUTIERREZ
Director de la UPG-FIMGC.


.....
Dr. ANDRES PORTUGAL PAZ
Miembro.


.....
Msc. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO
Miembro.


.....
Dr. ENRIQUE JAVIER AGUILAR FELICES
Secretario Docente.

Observaciones: