

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**Impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de
recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha, distrito de
Vinchos, provincia de Huamanga - Ayacucho, 2025**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Amilcar TACURI GAMBOA

ASESOR:

Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A mi familia por ser el sostén inquebrantable en cada etapa de mi vida. Su amor incondicional, su apoyo firme y su constante aliento han sido la fuerza que me ha impulsado a perseverar y avanzar, incluso en los momentos más desafiantes. Esta meta alcanzada no habría sido posible sin su presencia constante, su fé en mí y su ejemplo diario de integridad y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

Con profunda gratitud, elevo este reconocimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de esta tesis de pre grado en el campo de la Ingeniería. Este hito académico representa no solo un logro personal, sino también el resultado colectivo del acompañamiento, orientación y respaldo que he recibido a lo largo de este riguroso proceso investigativo.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi alma máter, por haberme brindado una formación sólida y por proveerme de los recursos académicos y científicos que me permitieron desarrollar la tesis en el ámbito de la educación superior.

RESUMEN

La presente investigación evaluó el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunaccocha, ubicada en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, Ayacucho, durante el periodo 2017–2024. El estudio se centró en analizar tres aspectos: la frecuencia, la distribución temporal y la intensidad de dichos eventos, y su relación con la variación del volumen de agua, la eficiencia hídrica mensual y la capacidad de gestión del recurso. Los resultados evidenciaron que los eventos de lluvia extrema se concentran principalmente entre enero y marzo, generando volúmenes mensuales superiores a 700,000 m³, con un pico de 1,086,618 m³ en febrero. En contraste, la presencia de sequías prolongadas entre mayo y noviembre ocasionó una drástica reducción en el volumen disponible, alcanzando mínimos de 210,937 m³ en agosto y septiembre. Asimismo, se identificó que la eficiencia hídrica es alta en los meses húmedos, con relaciones oferta/demandas superiores a 10, y baja durante los meses secos, descendiendo a valores menores a 3. Finalmente, se halló una correlación muy fuerte ($r = 0.960$) entre la intensidad climática mensual (precipitación menos evaporación) y la capacidad de gestión del recurso, demostrando que la laguna Ustunaccocha responde de manera directa a los extremos del clima. Los hallazgos resaltan la necesidad de implementar estrategias de almacenamiento, monitoreo estacional y planificación adaptativa para asegurar una gestión eficiente del recurso hídrico frente a escenarios de variabilidad y cambio climático.

Palabras Clave: Capacidad de gestión, Eventos climáticos extremos, Eficiencia Hídrica, Laguna Ustunaccocha, Volumen de agua

ABSTRACT

The present research evaluated the impact of extreme weather events on the water resource management of the Ustunaccocha lagoon, located in the district of Vinchos, province of Huamanga, Ayacucho, during the period 2017-2024. The study focused on analyzing three aspects: the frequency, temporal distribution and intensity of such events, and their relationship with water volume variation, monthly water efficiency and resource management capacity. The results showed that extreme rainfall events are mainly concentrated between January and March, generating monthly volumes of more than 700,000 m³, with a peak of 1,086,618 m³ in February. In contrast, the presence of prolonged droughts between May and November caused a drastic reduction in the available volume, reaching minimums of 210,937 m³ in August and September. Likewise, it was identified that water efficiency is high in the wet months, with supply/demand ratios above 10, and low during the dry months, dropping to values below 3. Finally, a very strong correlation ($r = 0.960$) was found between monthly climate intensity (precipitation minus evaporation) and resource management capacity, demonstrating that the Ustunaccocha lagoon responds directly to climate extremes. The findings highlight the need to implement storage strategies, seasonal monitoring and adaptive planning to ensure efficient water resource management in the face of climate variability and change scenarios.

Keywords: Management capacity, Extreme weather events, Water efficiency, Ustunaccocha Lagoon, Water volume.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN	xi
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1. Descripción del problema.....	13
1.2. Delimitación del problema.....	14
1.2.1. Espacial (geográfica)	14
1.2.2. Temática y unidad de análisis.....	14
1.3. Formulación del problema.....	14
1.3.1. Problema general.....	14
1.3.2. Problemas específicos.....	14
1.4. Justificación e importancia	15
1.4.1. Justificación	15
1.4.2. Importancia	15
1.5. Limitaciones de la investigación.....	15
1.6. Objetivos.....	16
1.6.1. Objetivo general.....	16
1.6.2. Objetivos específicos	16
II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.1.1. Investigaciones internacionales	17
2.1.2. Investigaciones nacionales	18
2.2. Bases teóricas	19

2.2.1.	Clima.....	19
2.2.2.	Eventos climáticos extremos.....	21
2.2.3.	Frecuencia de los eventos	22
2.2.4.	Intensidad de los eventos	24
2.2.5.	Ciclo Hidrológico	24
2.2.6.	Distribución Temporal	30
2.2.7.	Gestión de recursos hídricos	31
2.2.8.	Disponibilidad de Agua	32
2.2.9.	Eficiencia de Gestión	33
2.3.	Marco Conceptual.....	35
III.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1.	Tipo de investigación	37
3.2.	Nivel de investigación	37
3.3.	Diseño de investigación	37
3.4.	Población y muestra.....	38
3.4.1.	Población	38
3.4.2.	Muestra.....	38
3.5.	Hipótesis	38
3.5.1.	Hipótesis general	38
3.5.2.	Hipótesis específicas	38
3.6.	Operacionalización de variables	39
3.7.	Técnicas e instrumentos	41
3.7.1.	Técnicas	41
3.7.2.	Instrumentos	41
3.8.	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.....	42
3.9.	Esquema metodológico de la investigación	42
3.10.	Desarrollo del trabajo de tesis	43
3.10.1.	Ubicación de la zona de estudio.....	43
3.10.2.	Climatología y meteorología.....	44

3.10.3. Unidad hidrográfica	54
3.10.5. Recursos hídricos.....	59
3.10.6. Volumen Mensual Estimado.....	62
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1. Frecuencia de eventos climáticos extremos afectan la variación del volumen de agua	65
4.2. Influencia de la distribución temporal de los eventos climáticos extremos sobre la gestión hídrica	74
4.3. Relación de la intensidad de eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión de los recursos hídricos	83
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Periodo de retorno para el modelo de máximos anuales	29
Tabla 2 Cuadro de Operacionalización de variables	40
Tabla 3 Precipitación mensual en Ustuna.....	45
Tabla 4 Variación mensual de la temperatura media según altitud	46
Tabla 5 Temperatura media mensual en Ustuna (°C).....	46
Tabla 6 Rango de humedad relativa según altitud	48
Tabla 7 Humedad relativa mensual (%) (4265 m.s.n.m.)	48
Tabla 8 Evaporación total mensual en Ustuna (mm)	50
Tabla 9 Comparación anual de evaporación con otras estaciones (mm)	50
Tabla 10 Rango general de velocidad del viento según altitud	52
Tabla 11 Velocidad media mensual del viento (m/s) – Ustuna.....	52
Tabla 12 Características de la unidad hidrográfica (Laguna Ustunacocha).....	55
Tabla 13 Caudales medios mensuales para un año promedio – Laguna Ustunacocha	56
Tabla 14 Parámetros geomorfológicos – Laguna Ustunacocha	58
Tabla 15 Superficie territorial y agrícola – Distrito de Vinchos vs. Provincia de Huamanga.....	60
Tabla 16 Producción de cultivos tradicionales – Vinchos.....	61
Tabla 17 Interpretación de resultados del volumen estimado	64
Tabla 18 Evaluación mensual de la eficiencia hídrica y ocurrencia de eventos climáticos extremos en la laguna Ustunacocha	81
Tabla 19 Intensidad de eventos y capacidad de gestión hídrica – Ustunacocha...84	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Perú: Evolución de la ocurrencia de eventos naturales en el periodo 2012-2022	23
Figura 2 Clasificación de las precipitaciones	28
Figura 3 Demanda de agua en Perú.....	34
Figura 4 Diagrama de Flujo del proceso metodológico.....	43
Figura 5 Variación de la temperatura media mensual.....	47
Figura 6 Variación de la humedad relativo media mensual	49
Figura 7 Variación de la evaporación total mensual en el distrito de Vinchos.....	51
Figura 8 Velocidad media mensual del viento en el distrito de Vinchos.....	53
Figura 9 Escurrimiento medio mensual estimado	57
Figura 10 Comparativa del uso del suelo Vinchos vs. Huamanga	60
Figura 11 Volumen mensual de ingreso de agua a la laguna Ustunacocha (m ³ /mes)	63
Figura 12 Ocurrencia de eventos climáticos extremos y volumen mensual estimado	66
Figura 13 Relación entre eventos extremos y volumen mensual - Laguna Ustunacocha	67
Figura 14 Relación entre precipitación y volumen mensual estimado	68
Figura 15 Mapa de calor - Volumen estimado vs. Precipitación	69
Figura 16 Variación de eventos extremos según umbral de precipitación	70
Figura 17 Clasificación mensual del volumen de agua estimado.....	71
Figura 18 Anomalía mensual del escurrimiento respecto a la media.....	73
Figura 19 Dispersión del escurrimiento mensual estimado.....	74
Figura 20 Distribución mensual de eficiencia hídrica - Laguna Ustunacocha	75
Figura 21 Volumen mensual vs. distribución temporal de eficiencia.....	76
Figura 22 Oferta vs Demanda mensual con eventos extremos	79
Figura 23 Eficiencia hídrica mensual con presencia de eventos extremos.....	82
Figura 24 Relación entre intensidad de eventos extremos y capacidad hídrica.....	85

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de los recursos hídricos es un componente esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental, social y económica, especialmente en contextos de alta variabilidad climática. En regiones altoandinas como el distrito de Vinchos, en la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, los cuerpos de agua naturales como las lagunas cumplen un rol fundamental como fuentes de abastecimiento para actividades agrícolas, pecuarias y de subsistencia. Sin embargo, estos ecosistemas hídricos son particularmente vulnerables ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos, tales como lluvias intensas y periodos de sequía prolongada, los cuales han sido cada vez más frecuentes e intensos en el contexto del cambio climático.

La laguna Ustunacocha, ubicada en dicha jurisdicción, ha mostrado en los últimos años fluctuaciones marcadas en su volumen de agua, lo que ha generado preocupación en las comunidades locales debido a su dependencia directa de este recurso. Frente a ello, se pretende comprender cómo los eventos climáticos extremos afectan su comportamiento hidrológico y, en consecuencia, la eficiencia y capacidad del sistema de gestión del agua. Entender esta relación permitirá establecer estrategias de planificación adaptativa que contribuyan a mitigar los impactos negativos de estos fenómenos y mejorar la seguridad hídrica local.

En ese marco, la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunacocha durante el periodo 2017–2024. Para ello, se analizaron tres variables clave: (a) la frecuencia de los eventos extremos y su efecto en la variación del volumen de agua; (b) la influencia de la distribución temporal de dichos eventos sobre la eficiencia hídrica mensual; y (c) la relación entre la intensidad de los eventos (diferencia entre precipitación y evaporación) y la capacidad de gestión, medida como la relación entre oferta y demanda.

El estudio se desarrolló con base en datos mensuales estimados de precipitación, evaporación, escurrimiento y requerimientos de demanda hídrica, integrando herramientas de análisis estadístico y visualización gráfica. Además, se

programaron algoritmos en MATLAB (ver Anexos) que permitieron modelar escenarios, calcular indicadores de eficiencia y visualizar tendencias.

Por último, os resultados obtenidos proporcionan información relevante para la toma de decisiones locales e institucionales en torno al uso del agua en ambientes de alta montaña, y refuerzan la necesidad de incorporar criterios climáticos en la planificación hídrica. Este trabajo busca aportar una base técnica que sirva para diseñar estrategias de manejo resiliente del recurso hídrico frente a escenarios de creciente variabilidad climática en la región andina.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la región de Ayacucho del distrito de Vinchos, la laguna Ustunacocha ha sido un pilar esencial para las comunidades agrícolas locales. Sin embargo, las dinámicas climáticas recientes han empezado a desafiar la estabilidad de este recurso vital. De acuerdo con el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de 2023, el cambio climático está intensificando la frecuencia y gravedad de eventos extremos, como sequías prolongadas e inundaciones (Ponte, 2023, p.1). Estos fenómenos no solo están alterando la disponibilidad de agua en la laguna Ustunacocha, sino que también están afectando la eficiencia de gestión de este recurso, con consecuencias preocupantes para los ecosistemas y las economías locales, particularmente en las regiones más vulnerables y empobrecidas.

Además de los efectos directos del cambio climático, la región enfrenta desafíos relacionados con la infraestructura hidráulica y la capacidad de adaptación de las comunidades. La variabilidad en las precipitaciones ha hecho que las temporadas secas sean más prolongadas y difíciles de manejar, mientras que las lluvias intensas han causado una acelerada erosión del suelo, afectando la estabilidad de la laguna y la infraestructura de riego. La sedimentación y el desgaste de las estructuras han reducido la eficiencia del sistema de riego, lo que compromete la producción agrícola y, por ende, la seguridad alimentaria y económica de las comunidades.

En este contexto, la gestión eficiente del agua se ha vuelto cada vez más compleja, exponiendo las limitaciones tanto de la infraestructura actual como de las estrategias empleadas hasta el momento. Estos desafíos han dejado en claro la necesidad de replantear las soluciones existentes. No solo es crucial considerar la creciente variabilidad climática, sino también fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a estos cambios. Un enfoque integral y adaptativo es esencial para garantizar que las poblaciones locales puedan enfrentar y superar las adversidades climáticas, asegurando así la sostenibilidad del recurso hídrico y la estabilidad económica en la región. La presente investigación se centra en comprender y abordar estos desafíos, proponiendo enfoques que puedan adaptarse a las nuevas realidades climáticas. A través de un análisis detallado, se buscará identificar alternativas que aseguren un manejo sostenible del agua en la laguna

Ustunaccocha, permitiendo a las comunidades continuar desarrollándose de manera armoniosa con su entorno natural.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Espacial (geográfica)

La presente investigación se delimita geográficamente a la laguna Ustunaccocha, ubicada en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú.

1.2.2. Temática y unidad de análisis

Temáticamente, la investigación se centra en el análisis del impacto de los eventos climáticos extremos (frecuencia, intensidad y distribución temporal) sobre la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunaccocha. El estudio aborda aspectos como la variación en la disponibilidad de agua y la eficiencia en la gestión hídrica frente a las alteraciones climáticas. La unidad de análisis es la laguna Ustunaccocha en sí misma, considerando su comportamiento hidrológico.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunaccocha, en el distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho, periodo 2017 - 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo afecta la frecuencia de los eventos climáticos extremos a la variación del volumen de agua en la laguna Ustunaccocha?
- b) ¿De qué manera influye la distribución temporal de los eventos climáticos extremos en la eficiencia de la gestión hídrica en la laguna Ustunaccocha?
- c) ¿Cuál es la relación entre la intensidad de los eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha?

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación

Esta investigación se justifica en la necesidad de estudiar los posibles efectos de los eventos climáticos extremos sobre la gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha, ubicada en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, Ayacucho. Considerando posibles cambios en los patrones climáticos, como periodos de sequía e inundaciones, resulta pertinente analizar cómo estos fenómenos podrían estar afectando la disponibilidad de agua y la eficiencia en su manejo.

El estudio busca generar información que permita identificar condiciones, patrones o tendencias que puedan estar relacionadas con la gestión actual del recurso hídrico en la laguna. Asimismo, se espera que los resultados sirvan de referencia para considerar alternativas de mejora en las estrategias de manejo y para sustentar futuras acciones de adaptación ante posibles escenarios de variabilidad climática.

1.4.2. Importancia

La importancia del presente estudio radica en que permite profundizar en el conocimiento sobre la dinámica entre los eventos climáticos extremos y la gestión de los recursos hídricos en un ámbito local. Analizar los cambios en el volumen de agua disponible y en las prácticas de gestión podría aportar elementos relevantes para fortalecer la planificación hídrica en la laguna Ustunaccocha.

De igual manera, los resultados podrían constituir un aporte para la formulación de estrategias de uso sostenible del agua, en beneficio de las comunidades locales que dependen de este recurso. Finalmente, la investigación contribuiría a la generación de información útil para la evaluación de escenarios futuros de disponibilidad hídrica en contextos expuestos a variaciones climáticas.

1.5. Limitaciones de la investigación

La presente investigación presenta algunas limitaciones:

- a) La investigación se centra en el impacto de los eventos climáticos extremos, por lo que no incorpora otros factores que también podrían influir en la disponibilidad y gestión del recurso hídrico, como cambios en el uso del suelo, actividades agrícolas o intervenciones humanas no registradas.

- b) La investigación utiliza datos del periodo 2017-2024; por tanto, no contempla escenarios futuros de cambio climático proyectados a largo plazo, los cuales podrían modificar significativamente las condiciones de la laguna.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunaccocha, en el distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho, periodo 2017 - 2024.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Cuantificar como la frecuencia de eventos climáticos extremos afectan la variación del volumen de agua en la laguna Ustunaccocha.
- b) Determinar la influencia de la distribución temporal de los eventos climáticos extremos sobre la eficiencia de la gestión hídrica en la laguna Ustunaccocha.
- c) Evaluar la relación entre la intensidad de los eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Investigaciones internacionales

Moretto et al. (2023) en su artículo *“Análisis de la gestión de riesgos asociados a extremos hídricos en dos cuencas hidrográficas del suroeste bonaerense (Rep. Argentina)”*, tuvieron como objetivo analizar la gestión del riesgo asociado a eventos hídricos extremos, como inundaciones, anegamientos y sequías, en las cuencas de los arroyos Sauce Corto y Cura Malal Grande en el suroeste bonaerense, Argentina. La metodología utilizada incluyó la recopilación de datos a través de entrevistas, documentos técnicos y normativos, y su síntesis en matrices cualitativas que permitieron comparar las medidas de gestión implementadas. Los resultados revelaron que la cuenca del arroyo Sauce Corto presenta un enfoque más integral en la gestión del riesgo en comparación con la cuenca de Cura Malal Grande, donde las medidas son más emergencistas y menos estructuradas.

Sosa (2020) en su artículo *“Los impactos del cambio climático en la gestión del agua en la Ciudad de México”*, tuvo como objetivo analizar los impactos del cambio climático en la gestión del agua en la Ciudad de México y la urgencia de fortalecer las capacidades de adaptación. La metodología utilizada incluyó una evaluación cualitativa de eventos extremos históricos y el análisis de 24 modelos climáticos regionales para prever los impactos futuros. Los resultados revelaron que las medidas actuales no han sido efectivas en crear las capacidades necesarias para enfrentar el cambio climático. Se espera un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, con especial preocupación por las sequías, que son las que más han afectado a la ciudad. Esto subraya la urgencia de incorporar el cambio climático en la planificación y gestión del agua.

Lema (2021) en su tesis *“Análisis del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos de cuencas en régimen natural ubicadas en la zona alta del río Mataquito: comparación entre los escenarios RCP 8.5 y RCP 4.5”*, tuvo como objetivo estimar la disponibilidad futura de recursos hídricos en tres cuencas de régimen natural ubicadas en la zona alta del río Mataquito, bajo los escenarios de cambio climático RCP 8.5 y RCP 4.5. La metodología empleada incluyó el uso de Modelos de Circulación Global (GCM), con un proceso de escalamiento espacial y la

implementación de los modelos hidrológicos GR4J y VIC para simular las condiciones hidrológicas futuras. Los resultados mostraron una disminución significativa en la precipitación media anual y un aumento en las temperaturas máximas y mínimas, lo que provocaría una reducción en los caudales medios diarios de hasta un 49% en el escenario más extremo. Estos cambios destacan la vulnerabilidad de los recursos hídricos de la cuenca del Mataquito ante los efectos del cambio climático

2.1.2. Investigaciones nacionales

Chambi et al. (2023) en su artículo *“Impacto del cambio climático en factores hídricos de la cuenca inferior de los ríos Chira y Piura”*, tuvieron como objetivo desarrollar herramientas conceptuales para estudiar la alteración de las variables hídricas en la cuenca Chira-Piura y sus efectos adversos debido a fenómenos climatológicos más frecuentes e intensos. La metodología empleada fue de diseño no experimental, transversal y correlacional, con un enfoque cuantitativo, utilizando un análisis estadístico comparativo de parámetros hidrológicos y climáticos. Los resultados indicaron que el cambio climático intensifica los eventos extremos de precipitación, proyectando un incremento en la frecuencia y severidad de fenómenos como El Niño. Esto resalta la necesidad de mejorar las estrategias de prevención de inundaciones y desarrollar conjuntos de datos de calidad para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

Llontop y Correa (2023) en su artículo *“Variabilidad estacional en la cuenca Chancay-Lambayeque: desafíos y oportunidades en la gestión de los recursos hídricos”*, tuvieron como objetivo analizar la variabilidad estacional de los caudales en la cuenca Chancay-Lambayeque, específicamente en la bocatoma Raca Rumi, para identificar desafíos y oportunidades en la gestión de los recursos hídricos. La metodología empleada incluyó el análisis de registros diarios de caudales entre 1998 y 2014, utilizando métodos cuantitativos como los periodos de retorno con los métodos de Gumbel y Nash. Los resultados revelaron que los caudales son más altos durante los meses de verano y otoño, coincidiendo con la temporada de lluvias, lo que plantea riesgos de inundaciones y oportunidades para el almacenamiento de agua. Estos hallazgos subrayan la necesidad de una gestión hídrica adaptativa, especialmente ante eventos extremos como El Niño.

Sánchez (2022) en su tesis *“Gestión integrada de recursos hídricos en la Pampa de Concón. El caso de la Asociación Agropecuaria Las Planicies de Cañete, 2021”*, tuvo como objetivo analizar la percepción de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en la Asociación Agropecuaria Las Planicies de Cañete durante el año 2021. La metodología utilizada fue cualitativa, de tipo básico, con un diseño de estudio de caso y un enfoque inductivo. Se emplearon técnicas como entrevistas a seis habitantes, observación y análisis documental. Los resultados revelaron que la percepción de la GIRH en la asociación es de nula aplicación, ya que las políticas nacionales de gestión del agua no se han implementado en la Pampa de Concón. Esto evidencia una ausencia del Estado que agrava las brechas sociales y limita el derecho al acceso al agua

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Clima

Según el Centro de Cambio Global UC, el clima puede entenderse, en un sentido limitado, como el comportamiento promedio de las condiciones atmosféricas, y de manera más precisa, como una representación estadística del tiempo en función de valores promedios y de la variabilidad de ciertos parámetros a lo largo de intervalos que pueden ir desde algunos meses hasta varios miles o millones de años (GCG-UC, 2017). De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, el período utilizado para el análisis corresponde a 30 años (GCG-UC, 2017). Las variables consideradas generalmente corresponden a elementos de superficie, como la temperatura, la precipitación o el viento. En una interpretación más amplia, el clima se refiere al estado del sistema climático tanto desde un enfoque tradicional como estadístico.

2.2.1.1. Variabilidad Climática

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) describe la variabilidad climática como las modificaciones en el estado promedio y otras propiedades estadísticas (como la desviación estándar, eventos extremos, entre otros) del clima, en escalas espaciales y temporales mayores que las asociadas a fenómenos meteorológicos comunes (IPCC, 2013). Estas variaciones pueden originarse tanto por procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad

interna) como por cambios en factores externos, ya sean de origen natural o provocados por actividades humanas (variabilidad externa).

De acuerdo con CIIFEN (2017), la variabilidad climática se define como las diferencias interanuales entre los valores mínimos y máximos que pueden registrar elementos climáticos como la temperatura o la precipitación. La variabilidad climática también puede abarcar cambios en la frecuencia de eventos extremos, como la cantidad de lluvias intensas de corta duración entre diferentes estaciones. Además, señala que esta variabilidad ocurre cuando un comportamiento inusual del clima es provocado por un fenómeno climático de carácter temporal y transitorio, que sucede con relativa frecuencia (CIIFEN, 2017).

2.2.1.2. Cambio climático

El IPCC (2013) describe el cambio climático como la alteración en el estado del clima que puede ser detectada (por ejemplo, mediante métodos estadísticos) en las variaciones del promedio y/o de la variabilidad de sus características, manteniéndose durante periodos prolongados, usualmente décadas o más. Este fenómeno puede ser provocado tanto por dinámicas internas naturales del sistema climático como por factores externos, tales como cambios en los ciclos solares, erupciones volcánicas o modificaciones persistentes de la atmósfera y del uso del suelo ocasionadas por la actividad humana.

Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como la “modificación del clima atribuida directa o indirectamente a acciones humanas que alteran la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural observada en períodos de tiempo similares” (IDEAM, 2014). En este sentido, la CMNUCC establece una distinción entre el cambio climático causado por actividades humanas y la variabilidad climática originada por causas naturales (Naciones Unidas, 1992).

2.2.1.3. Índices Climáticos

Los índices climáticos constituyen herramientas que permiten describir de manera cuantitativa el estado, las variaciones y las tendencias dentro del sistema

climático global y regional. Estos índices se construyen a partir de observaciones meteorológicas sistemáticas y permiten analizar fenómenos como cambios en la temperatura, precipitaciones, humedad, presión atmosférica y otros parámetros relevantes. Según la IDEAM (2014) “el clima de un lugar determinado se entiende como el estado promedio de la atmósfera en un periodo prolongado de tiempo, por lo que las modificaciones en el clima tienden a ser mucho más lentas que los cambios meteorológicos diarios, los cuales pueden variar bruscamente de un día a otro”. En este sentido, los índices climáticos capturan cambios acumulativos o persistentes que no se perciben fácilmente en el corto plazo, pero que son evidentes a lo largo de años o décadas.

El uso de índices climáticos es fundamental para evaluar la magnitud y la dirección de los cambios observados en el clima, diferenciando entre la variabilidad natural del sistema y las posibles señales asociadas al cambio climático inducido por actividades humanas. Asimismo, permiten monitorear fenómenos extremos como sequías, olas de calor, lluvias intensas o periodos prolongados de frío, los cuales tienen impactos directos en sectores como la agricultura, la gestión del agua, la salud pública y la infraestructura. Organismos como la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) han promovido la estandarización de estos índices para asegurar comparabilidad a nivel global. Entre los índices más utilizados se encuentran el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), el Índice de Temperatura Extrema (ETCCDI) y los índices de olas de calor, los cuales facilitan el análisis de tendencias y la toma de decisiones en la gestión de riesgos climáticos (IPCC, 2013).

2.2.2. *Eventos climáticos extremos*

Los eventos climáticos extremos han cobrado gran relevancia en las últimas décadas debido a su creciente frecuencia e intensidad, directamente influenciados por el cambio climático. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2018), estos eventos se definen como “la ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima o por debajo de un umbral cercano al extremo superior o inferior de los valores observados de esa variable” (p. 81). Esta definición subraya que dichos fenómenos se caracterizan por su rareza dentro del rango de variabilidad climática comúnmente observado.

Alfonso (2023) añade que estos eventos no solo son inusuales en el tiempo y lugar en que ocurren, sino que también son una manifestación directa del calentamiento global, el cual está alterando los patrones climáticos globales. La magnitud y la frecuencia de estos fenómenos están aumentando, lo que lleva a situaciones de mayor impacto tanto en los ecosistemas como en las infraestructuras humanas. Estos eventos, como inundaciones, sequías, tormentas y olas de calor, son síntomas de un clima en desequilibrio, y su estudio es crucial para la adaptación y mitigación frente al cambio climático (Alfonso, 2023, p. 33).

Para Lozano (2014), un evento extremo es aquél que es infrecuente en ciertos lugares y estaciones. Los extremos varían de un lugar a otro: un extremo en un área específica puede ser común y en otra no. Como se puede observar en estas definiciones, los eventos climáticos extremos ocurren cuando salen de lo denominado “normal” y adquieren un estado tope insoportable para el sistema; por lo que, en múltiples casos afectan al sistema en condición de desastre lo que ocasiona daños, no solo materiales, sino también ambientales, económicos y humanos. Un suceso excepcional de baja probabilidad puede ocurrir con inusual frecuencia e incluso reiterarse en un breve período de tiempo. Un desastre climático puede manifestarse de diversas maneras, desde la repentina aparición de eventos de corta duración como los huracanes hasta la progresiva fluctuación que, en ocasiones, conduce a una situación de sequía (Lozano, 2014, p. 43).

2.2.3. Frecuencia de los eventos

El cambio climático ha provocado un incremento en la frecuencia y gravedad de los desastres naturales y eventos climáticos extremos, fenómeno conocido como variabilidad climática, afectando a la población, infraestructura y medio ambiente. Debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, Perú está expuesto a la actividad volcánica y sísmica, así como al Fenómeno de El Niño, que periódicamente genera lluvias intensas, inundaciones y sequías. Esta combinación hace que el país sea vulnerable a estos riesgos naturales (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2023).

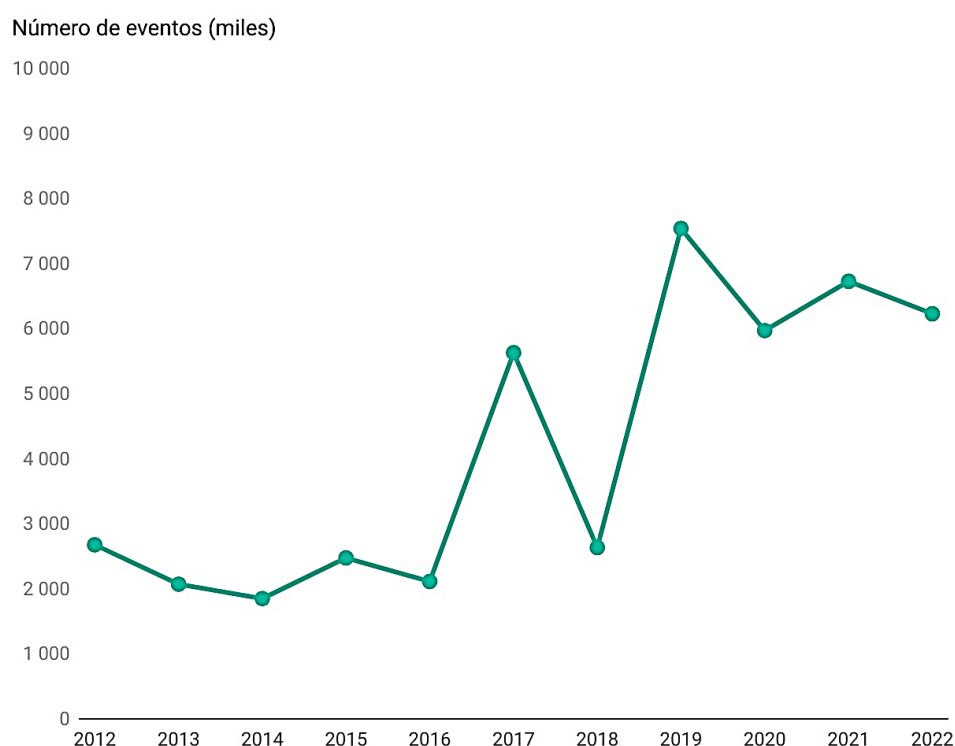
A nivel, mundial, para el año 2030, se pronostica que los desastres de mediana a gran escala llegarían a 1,5 desastres por día o hasta 500 desastres al año, si no se toman acciones al respecto, tomando en cuenta que solo en el año 2021 se

registró entre 350 y 500 desastres. A su vez, hasta el año 2022, el número de emergencias ocasionadas por fenómenos climatológicos y oceanográficos (6228 casos) en el Perú había presentado una tendencia creciente, comparada con los datos reportados en 2012 (2677 casos), de las cuales, el número de emergencias ocasionadas por lluvias intensas pasaron de 1675 casos en el año 2012 a 3555 casos en el 2022 (Observatorio Ceplan, 2020, p.3).

Esta tendencia creciente es de 132,0 %, comparada con los datos reportados en 2012. Asimismo, en el transcurso del periodo 2012-2016, la ocurrencia de eventos naturales no pasaba los 2500 por año; sin embargo, a partir del año 2017 alcanzan su primer pico de 5630 eventos, para luego descender a 2635 en 2018. Para el año 2019, el número de eventos naturales alcanza su segundo pico más alto, pues registró 7539 emergencias. A partir del año 2020 en adelante, el número de ocurrencias se han mantenido sobre los 5900 (Observatorio Ceplan, 2020), tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Perú: Evolución de la ocurrencia de eventos naturales en el periodo 2012-2022



Nota. Se han considerado los siguientes eventos naturales: lluvias intensas, deslizamiento, heladas, inundación, derrumbes, huaycos, tormentas eléctricas y friaje. Fuente: Observatorio Ceplan (2020).

2.2.4. Intensidad de los eventos

Los eventos extremos incrementan su presencia en el transcurrir de los años tornándose no solamente más frecuentes, sino también intensos y prolongados. Según IPCC (2018, p.62) el culpable principal es el cambio climático. Este fenómeno ha ocasionado que los eventos climáticos extremos hayan alcanzado valores de intensidad como nunca antes. Uno de los efectos más pronunciados lo constituyen las inundaciones y sequías. El calentamiento global ha transformado las precipitaciones, lo que ha traído como consecuencia el incremento de las mismas lo que ha ocasionado inundaciones inesperadas con resultados devastadores para las comunidades (CSR Staff, 2023, p.1).

El prolongado período de sequía se encuentra también vinculado con el fenómeno del cambio climático. Conforme se incrementan las temperaturas, se intensifica la evaporación y disminuye la precipitación en determinadas regiones. Ello genera una escasez hídrica que afecta la disponibilidad de agua para consumo humano, actividades agrícolas y ecosistemas (CSR Staff, 2023, p.2). La intensidad de precipitación se define como la cantidad de precipitación presente por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h). Se puede representar como intensidad instantánea o como intensidad promedio en el tiempo que dura la precipitación (Acosta, 2017, p.41). La intensidad promedio se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (1)$$

P: Es la profundidad de lluvia expresada en mm o pulgadas

Td: Es la duración, dada usualmente en horas o minutos.

La intensidad se representa en el eje de ordenadas de la gráfica de las curvas IDF, generalmente se expresa en unidades de mm/h.

2.2.5. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico se refiere al movimiento constante del agua sobre la Tierra, desde la atmósfera hacia la superficie terrestre y su posterior retorno a la atmósfera. Este fenómeno comprende diversas etapas: la evaporación del agua desde superficies como el suelo, los océanos y otros cuerpos acuáticos; la formación de nubes mediante condensación; la caída de precipitaciones; la captación del agua en la superficie terrestre; su desplazamiento superficial; y finalmente, su nueva

evaporación. Este ciclo representa un sistema de recirculación continua y permanente, impulsado principalmente por dos fuerzas: la energía solar, que favorece la evaporación, y la gravedad terrestre, que provoca tanto la caída del agua a través de la precipitación como su desplazamiento sobre el terreno (Baldeón, 2016).

Cabe destacar que la velocidad con la que el agua transita por cada fase del ciclo no es constante, y puede variar tanto espacial como temporalmente. Asimismo, las características del agua pueden modificarse a lo largo del proceso. Según lo señalado por Chow et al. (1988), este fenómeno complejo resalta la dinámica e interrelación entre los sistemas naturales de la Tierra.

A continuación, se describen las principales etapas del ciclo hidrológico:

2.2.5.1. Evaporación

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua se transforma en vapor desde los océanos, superficies terrestres y a través de la transpiración de organismos vivos, principalmente plantas, en un fenómeno conjunto denominado evapotranspiración, dado que resulta complicado separar ambos procesos. Se estima que cerca del 10% del vapor de agua en la atmósfera proviene de los seres vivos. Adicionalmente, aunque en menor medida, se produce la sublimación, donde el hielo o la nieve pasan directamente a estado gaseoso, fenómeno observado principalmente en glaciares (Vásquez, 2000).

2.2.5.2. Infiltración

La infiltración sucede cuando el agua de precipitación penetra en el suelo a través de sus poros, alimentando los acuíferos subterráneos. La proporción de agua que se infiltra frente a la que escurre sobre la superficie depende de factores como la permeabilidad del suelo, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada se evapora o es absorbida por las plantas para ser liberada nuevamente a la atmósfera, mientras que otra porción se almacena en acuíferos subterráneos. En ciertos casos, el agua subterránea puede aflorar a la superficie cuando las condiciones topográficas lo permiten (Vásquez, 2000).

2.2.5.3. Escorrentía

La escorrentía se refiere al flujo de agua sobre la superficie terrestre, desplazándose por gravedad hacia zonas más bajas. En regiones áridas o

desérticas, la escorrentía constituye uno de los principales agentes geológicos responsables de la erosión y el transporte de sedimentos (Vásquez, 2000). Su comportamiento depende de factores como la topografía, las condiciones geológicas, el clima y la cobertura vegetal de la cuenca. Este proceso se encuentra estrechamente vinculado con la interacción entre aguas superficiales y subterráneas. Representa el volumen de agua que permanece en la superficie después de descontar las pérdidas por evaporación, evapotranspiración, almacenamiento en depresiones del terreno y la infiltración hacia capas subterráneas (Flores, 2023).

La escorrentía superficial puede hallarse en reposo o en movimiento sobre la superficie del suelo, y una parte de esta corresponde a la escorrentía, es decir, el flujo descendente que, por acción de la gravedad, se dirige hacia ríos, quebradas, lagos o mares. Este tipo de escurrimiento incluye el excedente de agua generado tras lluvias intensas que no logra infiltrarse en el terreno y circular libremente por la superficie. Además, puede ser alimentado tanto por precipitaciones excesivas como por aportes subterráneos. La escorrentía también puede originarse por el deshielo o por el agua de riego que no logra infiltrarse, desplazándose hacia zonas más bajas hasta alcanzar cuerpos de agua superficiales. Es un componente esencial del ciclo hidrológico y cumple una función importante en la distribución del agua en distintas regiones del planeta. La proporción de escorrentía superficial varía en función del tipo de suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal y condiciones meteorológicas (Flores, 2023).

2.2.5.4. Precipitación

La precipitación es el proceso mediante el cual el agua, en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve, granizo), se libera de la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra. Este fenómeno desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico, ya que facilita el retorno del agua al suelo. Su formación se inicia con el ascenso de masas de aire cargadas de humedad que, al enfriarse en altitudes superiores, provocan la condensación del vapor de agua en pequeñas gotas o cristales de hielo. Cuando estas partículas alcanzan un tamaño suficiente, la gravedad las impulsa a caer, adoptando distintas formas de precipitación según las condiciones atmosféricas presentes (Vásquez, 2000).

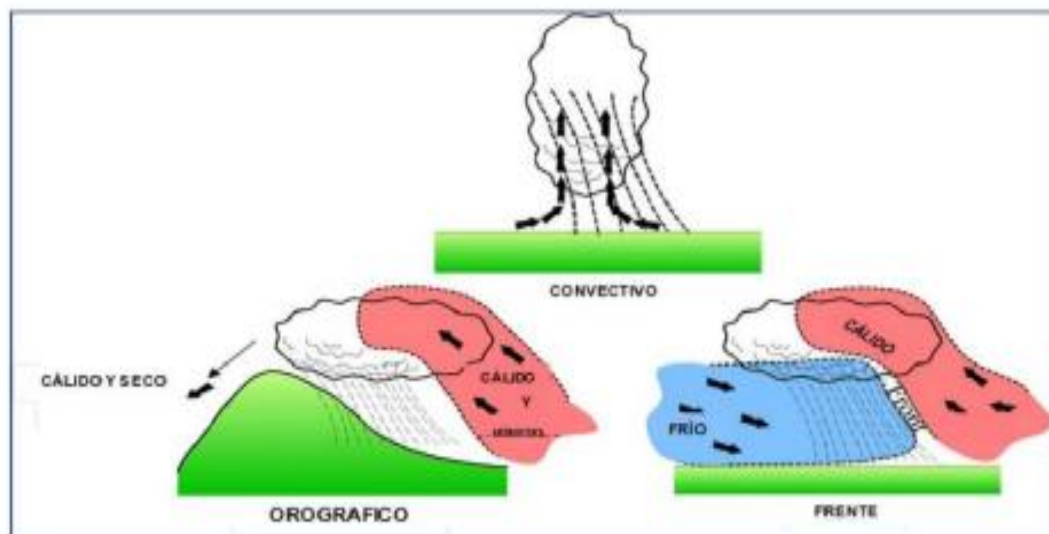
La cantidad y distribución de la precipitación varían de manera considerable según la localización geográfica y factores locales, como las estaciones del año o las características del terreno. Existen regiones donde, en un solo día, puede precipitar un volumen de agua equivalente al total anual de zonas áridas. Factores como la cercanía al océano, el contenido de humedad atmosférica y los movimientos ascendentes del aire influyen en los niveles de precipitación registrados. En zonas montañosas, estos movimientos verticales se intensifican al forzar el aire húmedo a elevarse frente a las barreras orográficas, provocando un rápido enfriamiento y posterior condensación del vapor de agua en las laderas de barlovento, donde suelen concentrarse mayores volúmenes de precipitación (Guzmán et al., 2024). Este proceso es esencial para la sustentabilidad de los ecosistemas y para actividades humanas como la agricultura, el abastecimiento de agua y la generación de energía hidroeléctrica. Comprender los patrones de distribución y su variabilidad en el tiempo y el espacio es crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en el contexto de los cambios inducidos por el cambio climático (Vásquez, 2000).

Los distintos tipos de precipitación se originan bajo condiciones atmosféricas y geográficas particulares, cada uno teniendo un papel importante en el ciclo del agua y en su distribución sobre la Tierra. Por ejemplo, las precipitaciones convectivas se forman cuando el aire caliente asciende con rapidez, se enfría y condensa, dando lugar a gotas de agua o cristales de hielo. Este tipo de precipitación suele producir lluvias intensas o granizadas y es común en zonas tropicales o durante fenómenos de alta temperatura y humedad, como tormentas eléctricas.

La Figura 3 presenta la clasificación general de las precipitaciones, ilustrando sus mecanismos de formación y su relación con las condiciones climáticas predominantes.

Figura 2

Clasificación de las precipitaciones



Nota. Tomado de (Musy, 2001).

La Figura 3 presenta la clasificación general de las precipitaciones, ilustrando sus mecanismos de formación y su relación con las condiciones climáticas predominantes.

- **Precipitaciones convectivas:** Se generan cuando el aire cálido sube rápidamente, se enfría y se condensa, formando lluvias intensas o granizo. Son frecuentes en regiones tropicales y durante tormentas eléctricas debido a la elevada temperatura y humedad.
- **Precipitaciones orográficas:** Se producen cuando el aire húmedo asciende al encontrarse con un obstáculo natural, como una montaña. El enfriamiento posterior genera nubes que descargan precipitaciones principalmente en la ladera de barlovento. Este tipo de precipitación es crucial en zonas montañosas, ya que contribuye significativamente a la recarga hídrica local.
- **Precipitaciones frontales:** Se originan cuando dos masas de aire de distinta temperatura se encuentran. El aire cálido asciende sobre el aire frío, provocando condensación y lluvias. Este tipo de precipitación es característico de zonas de clima templado, donde son frecuentes las interacciones entre frentes cálidos y fríos.

A continuación, se presentan los periodos de retorno y la precipitación acumulada:

a) Periodos de retorno de precipitaciones máximas

Es el intervalo de tiempo medio que separa dos eventos cuya intensidad media o altura sobrepasa un límite dado, por lo general, se expresa en años. Los periodos de retorno son corregidos utilizando la expresión de Langbein:

$$T_{AM} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{1}{T}}} \quad (2)$$

Donde:

T_{AM} : Periodo de retorno del modelo de máximos anuales.

T: Periodo de retorno real.

Tabla 1

Periodo de retorno para el modelo de máximos anuales

Periodo de retorno (años) T	Periodo de retorno del modelo TAM
2	2,54
5	5,52
10	10,51
20	20,50
50	50,50
100	100,50
150	150,50
200	200,50

Nota. Adaptado de (Acosta, 2017, p.42).

b) Precipitación acumulada

La precipitación acumulada se refiere a la cantidad total de precipitación registrada durante un período continuo de tiempo superior a 24 horas. A diferencia de las mediciones diarias, la precipitación acumulada considera eventos de larga duración, donde las lluvias se extienden durante varios días consecutivos, como ocurre en episodios de temporales atlánticos o eventos de precipitación persistente.

Según Barceló y Ballesteros (2015), disponer de datos sobre la precipitación acumulada en intervalos de varios días es fundamental para el análisis de riesgos hidrológicos y la planificación de infraestructuras hidráulicas, como presas, canales y sistemas de drenaje. Esta información permite caracterizar la frecuencia y magnitud de eventos de precipitación prolongada que podrían desencadenar inundaciones o crecidas de ríos, situaciones que no siempre son adecuadamente representadas por los registros de precipitación diaria. La precipitación acumulada es evaluada a partir de series de datos pluviométricos continuos, utilizando métodos estadísticos que permiten calcular periodos de retorno para diferentes duraciones (por ejemplo, acumulaciones de 2, 5 días, etc.). Estas evaluaciones son necesarias para entender la persistencia de eventos extremos y para estimar de manera más precisa los riesgos asociados a precipitaciones prolongadas.

2.2.6. *Distribución Temporal*

El período de precipitaciones en el Perú se inicia en el mes de septiembre y concluye en abril del siguiente año. Las precipitaciones más abundantes se manifiestan durante el período comprendido entre diciembre y marzo, debido a que los sistemas atmosféricos generadores de las precipitaciones alcanzan sus mayores intensidades, presentan una configuración más favorable y una mayor persistencia, lo que origina la recurrencia de las lluvias en la costa norte, la sierra y la selva del Perú (Senamhi, 2016, p.2).

De acuerdo a lo señalado por Graz y Manrique (2023, p.26), la normal cantidad y distribución de precipitación en la costa, que posee un clima subtropical árido, oscila entre los 40 mm y los 200 mm. Por su parte, el clima de la región semitropical en el norte peruano presenta una temperatura media anual de 24°C y una precipitación anual cercana a los 400 mm. En la sierra, la precipitación se ve condicionada por factores tales como la latitud, la altitud, los vientos locales y los efectos propios de la cordillera. En esta región, a medida que aumenta la altitud, la temperatura tiende a disminuir, mientras que la precipitación varía de norte a sur y de oeste a este. Durante los meses de diciembre a marzo, las precipitaciones máximas se presentan en el norte y en el lado este de la cordillera.

El rango de temperatura anual oscila entre 11°C y 16°C, con una variabilidad leve. Un aspecto destacado del clima de la sierra es la marcada diferencia de temperatura a lo largo del día, debido a la elevada irradiación solar. Este fenómeno

es evidente cuando la temperatura al amanecer es de 0°C y alcanza un máximo de 25°C durante el día. Además, durante las primeras horas de sol se registran valores de aproximadamente 15°C, siguiendo el ciclo descrito. La precipitación varía anualmente entre 100 y 1000 mm, con un aumento durante la estación de verano.

En el entorno selvático, se distinguen tres regiones principales: la Ceja de Selva, la Selva Alta y la Selva Baja. La región de la Ceja de Selva posee un clima tropical, con una temperatura anual que oscila entre los 22°C y los 26°C, y presenta la mayor precipitación pluvial en todo el Perú. La Selva Alta también presenta un clima tropical, pero con una temperatura anual superior a los 31°C, convirtiéndola en la región más cálida. Por último, la Selva Baja se caracteriza por un clima cálido y húmedo, sin superar los 3000 mm de precipitación anual.

En la región donde los bosques abundan, la temperatura tiende a ser baja. Esto se debe a que las lluvias frecuentes disminuyen la temperatura de la atmósfera, la cual genera una capa protectora. La presencia del fenómeno del Niño - Oscilación del Sur provoca cambios en la temperatura y los patrones hidrometeorológicos. Las temperaturas en el mar de la parte oriental y central del Pacífico se elevan, lo cual genera consecuencias en el sistema térmico y las precipitaciones en la sierra. Como resultado de este fenómeno, se produce el desplazamiento y la muerte de numerosas especies marinas. Sin embargo, su intensidad y duración varían a lo largo del tiempo.

2.2.7. Gestión de recursos hídricos

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo económico y social, y, además, permite mantener la integridad del entorno natural. Por consiguiente, los gestores gubernamentales y del sector privado deben tomar decisiones complejas con respecto a la asignación y el uso del agua, teniendo en cuenta las características de un sistema complejo con numerosos factores, actores y elementos influyentes. Por lo tanto, es necesario pasar del enfoque fragmentado tradicional a un nuevo enfoque integral que abarque el funcionamiento general del sistema (López, 2017, p.4).

La apropiada gestión del agua es fundamental para garantizar la sostenibilidad y bienestar de las sociedades, así como para la preservación del equilibrio de los ecosistemas y abordar los retos concernientes al cambio climático y

la falta de recursos hídricos. Dicha gestión debe adecuarse al cambio climático e impulsar prácticas sostenibles que consoliden la disponibilidad y calidad del agua a largo plazo, incluyendo medidas de conservación, reutilización, eficiencia, infraestructura natural y estrategias integradas de gestión (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023, p.2).

Las variaciones en la disponibilidad y calidad del agua a lo largo del tiempo y del espacio, principalmente en el medio de la variabilidad climática y el cambio climático, así como las crecientes demandas de agua, requieren una gestión flexible de los recursos hídricos. El requerimiento primordial para un enfoque de este tipo es el conocimiento minucioso de la disponibilidad y accesibilidad de los recursos hídricos a lo largo del tiempo y del espacio, lo que involucra conocer los sistemas físicos y sus procesos de conducción, así como también la disposición de datos hidrológicos en tiempo real (precipitación, caudal fluvial, niveles de agua subterránea y temperatura), conjuntamente con información sobre la utilización del agua y los flujos del medio ambiente. Con todos estos datos, es viable establecer modelos de balance hídrico y determinar la disponibilidad de agua para diferentes propósitos, los cuales dependen del suministro de servicios ecosistémicos (Bussettini, 2018, p.66).

2.2.8. Disponibilidad de Agua

El agua representa un factor de tal importancia que se encuentra presente y desempeña un papel fundamental en la mayoría de los procesos y ciclos naturales del planeta. No obstante, nuestra disponibilidad de recursos hídricos se ve limitada por su propia naturaleza, es decir, si bien la Tierra contiene agua en abundancia, ésta no siempre se halla en el momento y lugar apropiados, ni posee la calidad apropiada. La determinación precisa de la disponibilidad hídrica y sus variaciones espaciotemporales es fundamental para controlar el suministro de alimentos, la producción energética y la salud humana y ambiental. No obstante, se anticipa que los recursos hídricos mundiales enfrentarán una mayor presión en el futuro. Por ejemplo, estudios recientes indican que casi 5 mil millones de personas habitan en zonas con amenaza de disponibilidad hídrica, y se proyecta un crecimiento exponencial de la población mundial en las próximas décadas.

Asimismo, se estima que más del 80% de las aguas residuales globales carecen de tratamiento adecuado; no obstante, se prevé que la población urbana mundial supere ampliamente los 6 mil millones de personas para el año 2050. Del mismo modo, la agricultura consume casi tres cuartas partes del agua utilizada en el

planeta; sin embargo, se pronostica un aumento del 70% en la demanda mundial de alimentos para 2050. Igualmente, casi dos tercios de los ecosistemas terrestres mundiales se encuentran amenazados; no obstante, la precipitación y los caudales de los ríos que los sustentan son cada vez más variables debido al cambio climático. En consecuencia, la escasez y la demanda por los recursos hídricos aumentan a nivel global, lo que conlleva a una disparidad espacial reflejada en un incremento de las disputas por el agua (Lozano, 2018, p.34).

De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el volumen hídrico promedio anual en nuestro país es de 1'768,172 millones de metros cúbicos. No obstante, el 97,27% de la disponibilidad de agua abastece a la región andina y la Amazonía, que albergan al 30,76% de la población, mientras que solo el 2,18% de la disponibilidad de agua se destina a la vertiente del Pacífico, la cual concentra al 65,98% de la población, lo que representa un desafío en cuanto al suministro de este recurso. Según la Autoridad Nacional del Agua, algunos factores que afectan la disponibilidad hídrica del país son los siguientes:

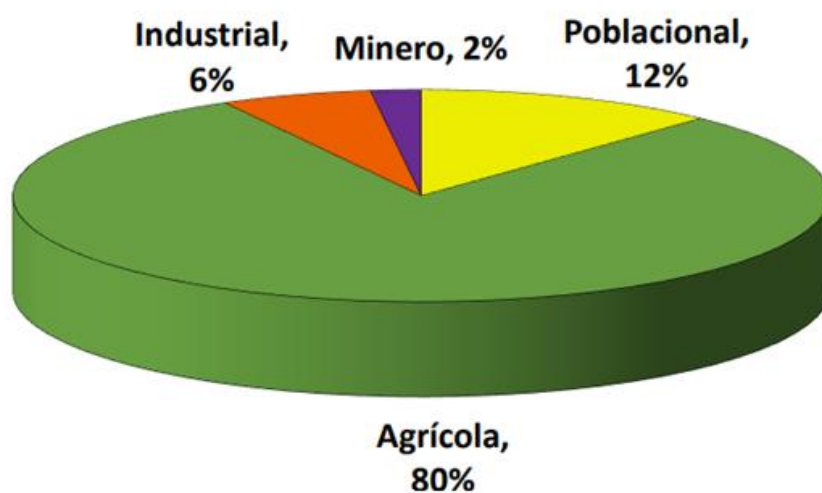
- El incremento de la población y de las actividades productivas.
- Eventos hidrológicos extremos.
- Degradación de la calidad por actividades antrópicas.
- La informalidad.
- Ineficiencias en el uso del agua
- Cambio climático.

2.2.9. Eficiencia de Gestión

La gestión de los recursos hídricos en el Perú presenta diferentes realidades, debido a una inadecuada distribución temporal y espacial de los recursos hídricos. Un factor importante en la gestión del agua es atender el incremento de la demanda de agua para afianzar el desarrollo sostenible del país. El incremento de la población y el desarrollo en los sectores productivos, aumenta la competencia de los usuarios por el agua.

Figura 3

Demanda de agua en Perú



Nota. Tomado de la página web de la Autoridad Nacional del Agua

De acuerdo a lo señalado por la Autoridad Nacional del Agua algunas de las problemáticas hídricas identificadas en el plan nacional de recursos hídricos relacionadas con la gestión son:

- **Gestión de la cantidad**

- Baja eficiencia de los sistemas hidráulicos.
- Insuficiente regulación superficial.
- Escaso control de los volúmenes otorgados
- Gestión ineficaz de la demanda.
- Conocimiento muy general de los recursos y las demandas de agua.
- Sobreexplotación de acuíferos costeros.

- **Gestión de la calidad**

- Mala calidad por las diversas fuentes contaminantes.
- Legislación orientada hacia el cumplimiento de los ECA y los LMP en los vertimientos.
- Control inadecuado de los vertimientos.
- Escasa depuración de las aguas residuales.
- Baja cobertura de abastecimiento y saneamiento.

- **Gestión de la oportunidad**
 - Escasa implementación de la GIRHs.
 - Formalización de los derechos de uso de agua inconclusa.
 - Régimen económico incompleto para la recuperación de costos.

- **Gestión de la cultura del agua**
 - Falta de conocimiento y participación en la GIRH.
 - Institucionalidad del agua incompleta.
 - Escasa educación ambiental y cultura del agua.
 - Conflictos sociales por el uso del agua.
 - Gobernanza hídrica descoordinada.

- **Cambio climático y eventos extremos**
 - Conocimiento insuficiente de los efectos del cambio climático y de los eventos extremos.
 - Escasez de planes de gestión de eventos extremos (inundaciones y sequías).

2.3. Marco Conceptual

a) Cambio Climático

“Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos” (IPC, 2018, p.81).

b) Variabilidad Climática

Es ocasionada por las alteraciones en el estado medio del clima y por datos estadísticos. Se origina motivado a procesos naturales o por intervención del hombre en determinados periodos de tiempo que pueden ser estacionales, anuales o en general variar de pocos a muchos días (Alfonso, 2023, p.34).

c) Inundación

Elevación, habitualmente, vertiginosa en el nivel de las aguas de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor (Acosta, 2017, p.22).

d) Precipitación

Es cualquier tipo de agua que cae sobre la superficie terrestre, las diferentes formas de precipitación incluyen llovizna, lluvia, nieve, granizo, agua, y lluvia congelada (Acosta, p.6).

e) Sequías

Son periodos prolongados de tiempo seco causado por la falta de lluvia, lo que produce escasez de agua. Los periodos de sequía pueden causar desabastecimiento de agua y problemas de salud pública (Acosta, p.7).

f) Lluvias intensas

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Sinagerd) define a la lluvia intensa como “la precipitación de agua líquida en que las gotas son más grandes que las de una llovizna” (p.12).

III. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo con Hernández et al. (2014, p.92), el tipo de investigación se refiere al enfoque general que adopta el estudio para alcanzar sus objetivos. En este caso, la presente investigación es de tipo aplicada, porque busca resolver un problema también tiene como propósito caracterizar y analizar el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunacocha. Asimismo, utiliza un enfoque cuantitativo, al apoyarse en la recolección y análisis de datos numéricos que permiten identificar patrones, correlaciones y relaciones entre las variables involucradas

3.2. Nivel de investigación

Según Hernández et al. (2014, 93), el nivel de investigación indica la profundidad del conocimiento que se desea alcanzar sobre el fenómeno estudiado. En este estudio, el nivel de investigación es correlacional, ya que se pretende determinar la relación existente entre las variables independientes (frecuencia, intensidad y distribución temporal de los eventos climáticos extremos) y las variables dependientes (disponibilidad del agua y eficiencia en la gestión de recursos hídricos). A través del análisis estadístico, se buscará establecer cómo se asocian dichas variables y qué implicancias tienen en el contexto de la gestión hídrica de la laguna.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es de tipo no experimental, ya que no se manipulan las variables de estudio, sino que se observan en su contexto natural para analizar su comportamiento y relación. De acuerdo con Hernández et al. (2014, p.151), un diseño no experimental implica la observación y análisis de los fenómenos en su entorno real, sin intervención directa del investigador, permitiendo evaluar el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de recursos hídricos de la laguna Ustunacocha. Asimismo, el diseño adoptado es de carácter longitudinal, ya que la investigación analiza los fenómenos a lo largo del periodo 2017–2024, permitiendo observar cómo varían la precipitación, evaporación, escurrimiento y disponibilidad de agua en la laguna Ustunacocha en distintos momentos. Este enfoque facilita identificar tendencias temporales y relaciones entre los eventos

climáticos extremos y la gestión hídrica, aportando una visión más completa del comportamiento del sistema en un marco de varios años.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de esta investigación está compuesta por todas las lagunas de la región del distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, Ayacucho. Esta población incluye a todas las lagunas que presentan características similares a la laguna Ustunaccocha, como la dependencia de las precipitaciones y otros eventos climáticos extremos para su abastecimiento de agua, así como su uso para la agricultura y el abastecimiento comunitario.

3.4.2. Muestra

La muestra ha sido definida mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, seleccionando a la laguna Ustunaccocha como unidad de análisis por sus características representativas dentro de la población. Esta laguna ha sido escogida debido a la disponibilidad de datos históricos, su accesibilidad, y su relevancia socioambiental en la zona. Aunque no se trata de una muestra aleatoria, su elección responde a criterios técnicos y contextuales que permiten un análisis profundo del fenómeno investigado, siendo útil para estudios exploratorios y descriptivos como el presente (Hernández et al., 2014, p. 392).

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

La gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunaccocha, en el distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho, periodo 2017 - 2024, se ve directamente influenciada por los eventos climáticos extremos, generando variaciones en la disponibilidad y la eficiencia de gestión del agua que desafían la sostenibilidad del manejo hídrico en la región.

3.5.2. Hipótesis específicas

- a) La frecuencia de los eventos climáticos extremos causa variaciones significativas en el volumen de agua de la laguna Ustunaccocha.

- b) La distribución temporal de los eventos climáticos extremos disminuye la eficiencia de la gestión hídrica en la laguna Ustunaccocha.
- c) Existe una relación en la que la mayor intensidad de los eventos climáticos extremos reduce la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha.

3.6. Operacionalización de variables

a) Variable Independiente: Eventos climáticos extremos

Indicadores:

- Número de eventos extremos
- Periodos de retorno de precipitaciones máximas
- Precipitación acumulada
- Duración de sequías
- Variabilidad estacional
- Cambios estacionales en la cantidad de agua disponible

b) Variable Dependiente: Gestión de recursos hídricos

Indicadores:

- Volumen de agua
- Volumen mensual de escorrentía superficial
- Porcentaje de demanda hídrica cubierta en periodos críticos
- Distribución del agua para usos agrícolas

Tabla 2*Cuadro de Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	TIPO	NATURALEZA	MEDICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Variable Independiente: Eventos climáticos extremos	Los eventos climáticos extremos son fenómenos naturales de alta intensidad y baja frecuencia, como sequías, inundaciones, tormentas y olas de calor, que resultan de variaciones climáticas severas y tienen impactos significativos en los ecosistemas, infraestructura y comunidades humanas. (IPCC, 2018),	Independiente	Cuantitativo	Razón	Frecuencia de los Eventos	Número de eventos extremos	(número/año)
						Periodos de retorno de precipitaciones máximas	años
					Intensidad de los Eventos	Precipitación acumulada	mm
						Duración de sequías	días
					Distribución Temporal	Variabilidad estacional	%
Cambios estacionales en la cantidad de agua disponible	mm/mes						
Variable Dependiente: Gestión de recursos hídricos	La gestión de recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha implica la planificación, control y administración del uso del agua disponible, asegurando su sostenibilidad para las necesidades agrícolas, ambientales y comunitarias, especialmente frente a desafíos como los eventos climáticos extremos (López, 2017).	Dependiente	Cuantitativo	Razón	Disponibilidad de Agua	Volumen de agua	MMC
						Volumen mensual de escorrentía superficial	m ³ /s
					Eficiencia de Gestión	Porcentaje de demanda hídrica cubierta en periodos críticos	%
						Distribución del agua para usos agrícolas	m ³ /s

Nota. Elaboración propia

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.1. Técnicas

Para la obtención de datos en esta investigación se recurrirá a la técnica del análisis documental, se emplearán las siguientes técnicas:

- **Base de datos primarios:** los datos meteorológicos sobre los eventos climáticos extremos y la gestión de recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha, serán tomadas de instituciones públicas como el ANA y Senamhi.
- **Revisión de datos secundarios:** La investigación se basará en la recolección de datos históricos y actuales provenientes de fuentes secundarias, como informes meteorológicos, registros hidrológicos y estudios previos. Estos datos secundarios proporcionarán el contexto necesario para entender los patrones climáticos y su impacto en la gestión hídrica.
- **Observación documental:** Se realizará un análisis detallado de la documentación existente, incluyendo reportes técnicos, estudios hidrológicos y normativas locales, para complementar la información y validar los datos obtenidos a través de otras técnicas.

3.7.2. Instrumentos

Para la recolección de datos se empleará las fichas de registro el cual servirá para la recopilación y organización sistemática de datos relevantes sobre los eventos climáticos extremos y la gestión de recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha. Estas fichas permitirán un registro detallado de la información necesaria para el análisis procesamiento y análisis de datos, se utilizarán las siguientes herramientas:

- **Matlab:** Herramienta para la programación de scripts y el análisis estadístico de datos bajo diferentes escenarios.
- **Microsoft Excel:** Utilizado para la organización de datos, realización de cálculos básicos y la visualización de resultados mediante gráficos y tablas, facilitando el manejo y presentación de la información.

- **Ordenador:** Equipo fundamental para la ejecución de los programas y almacenamiento de datos, así como para la implementación de modelos hidrológicos y análisis estadísticos.

3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

El procesamiento de la información recolectada en esta investigación se llevará a cabo mediante diversas técnicas estadísticas que permitirán analizar y interpretar los datos de manera precisa y objetiva:

- **Análisis Descriptivo:** Se utilizarán medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y de dispersión (desviación estándar, varianza) para describir las características generales de los datos recolectados sobre los eventos climáticos extremos y la gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha.
- **Análisis de Correlación:** Se aplicarán técnicas de correlación, para examinar la relación entre las variables independientes (frecuencia, intensidad y distribución temporal de los eventos climáticos extremos) y las variables dependientes (disponibilidad y eficiencia en la gestión de los recursos hídricos).
- **Regresión Lineal y Regresión Lineal Múltiple:** Para evaluar la influencia de los eventos climáticos extremos en la gestión hídrica, se utilizará la regresión lineal. Esta técnica permitirá modelar la relación entre las variables y predecir cómo cambios en la frecuencia, intensidad o distribución temporal de los eventos climáticos extremos pueden impactar la disponibilidad y gestión del agua en la laguna Ustunaccocha.

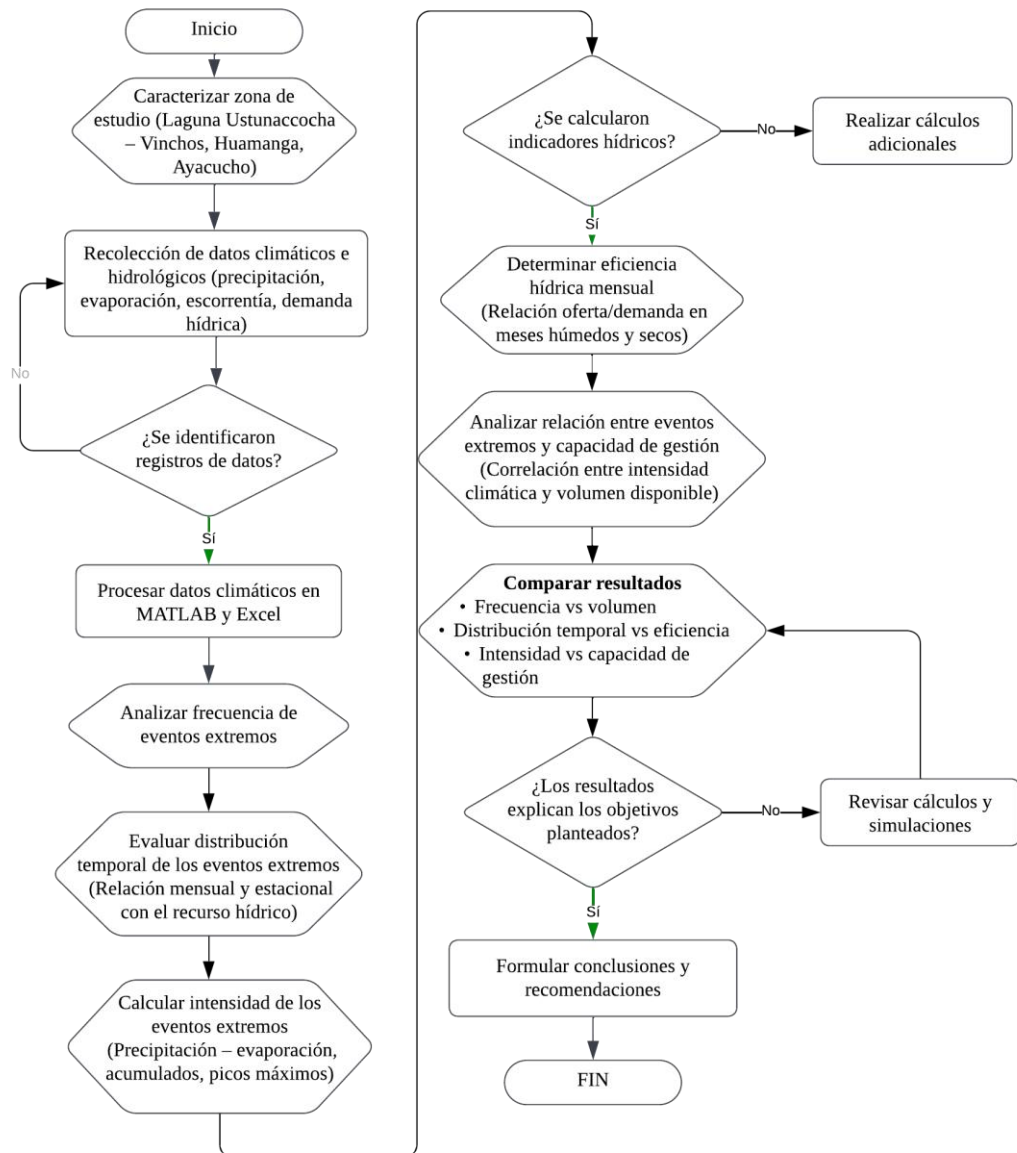
3.9. Esquema metodológico de la investigación

El esquema metodológico presentado en la Figura 4 muestra de manera secuencial las etapas desarrolladas en la investigación. Se inicia con la caracterización de la zona de estudio y la recolección de datos climáticos e hidrológicos. Posteriormente, se procesan los registros en MATLAB y Excel para analizar la frecuencia, distribución temporal e intensidad de los eventos climáticos extremos. A partir de estos resultados, se calculan los indicadores hídricos y se

determina la eficiencia de gestión. Finalmente, se comparan los hallazgos, se verifican los objetivos y se formulan las conclusiones y recomendaciones.

Figura 4

Diagrama de Flujo del proceso metodológico



Nota. Elaboración propia

3.10. Desarrollo del trabajo de tesis

3.10.1. Ubicación de la zona de estudio

- **Región:** Ayacucho
- **Provincia:** Huamanga
- **Distrito:** Vinchos
- **Coordenadas:**
 - Latitud Sur: 13° 35' 36"
 - Longitud Oeste: 74° 28' 38"
 - Altitud: 3930 metros sobre el nivel del mar

3.10.2. Climatología y meteorología

Para comprender la gestión eficiente de los recursos hídricos en la laguna Ustunacocha durante el periodo 2017 al 2024, es clave considerar los principales parámetros meteorológicos de la zona, como temperatura, humedad relativa, evaporación, velocidad del viento y precipitación. Estos factores influyen directamente en la disponibilidad y variabilidad del agua en dicho ecosistema.

De acuerdo con registros históricos de la estación meteorológica de Huamanga (1972–2002), la temperatura media anual asumida para esta región es de 13.55 °C. Esta información sirve de base para interpretar el comportamiento climático en el área de estudio, aplicable también en años más recientes.

3.10.2.1. Precipitación

La precipitación representa un elemento determinante en el comportamiento hidrológico de la cuenca que alimenta la laguna Ustunacocha. Para evaluar su impacto en la gestión hídrica, se han utilizado datos de 34 estaciones pluviométricas distribuidas en la cuenca y zonas cercanas, proporcionados por el SENAMHI entre 1964 y 2009, además de 13 estaciones satelitales TRMM en el periodo 1998–2009.

Estudios anteriores, como los realizados por el Centro de Estudios Hidrográficos de España, y planes de gestión en la cuenca del río Ustuna, indican que la precipitación anual promedio en la zona de Ccasanccay área representativa de la laguna supera los 850 mm. Este rango se mantiene vigente en mapas de isoyetas actualizados publicados por la ANA, que estiman una precipitación anual entre 700 y 900 mm, lo cual permite proyectar con mayor precisión la disponibilidad hídrica para los años 2017–2024.

Tabla 3*Precipitación mensual en Ustuna*

Subcuenca	Ustuna
Elev. (msnm)	4265
Enero	160
Febrero	140
Marzo	180
Abril	120
Mayo	60
Junio	20
Julio	10
Agosto	10
Setiembre	20
Octubre	40
Noviembre	80
Diciembre	130

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

3.10.2.2. Temperatura

Dentro del área de influencia de la laguna Ustunacocha, ubicada en la microcuenca del río Ustuna, se ha registrado información sobre el comportamiento térmico desde 1960 hasta 1990 mediante la base de datos del CRU. Estos datos han permitido estimar la variación térmica a lo largo de toda la microcuenca, información clave para generar el Mapa de Isotermas Anuales.

El comportamiento de la temperatura influye en procesos como la evaporación del recurso hídrico, la eficiencia del almacenamiento natural y la disponibilidad para los sistemas de riego. Los registros muestran una temperatura promedio anual variable según la altitud, siendo menor en zonas más elevadas y mayor en sectores más bajos. En particular, en la subcuenca del río Ustuna, que se encuentra a una altitud de 4265 m.s.n.m., se ha identificado un rango de temperaturas mensuales que oscilan entre 4.65 °C y 6.9 °C, lo cual es relevante para proyectar las pérdidas por evaporación en la laguna y sus implicancias en la gestión del agua disponible.

Tabla 4*Variación mensual de la temperatura media según altitud*

ALTITUD (msnm)	Prom. (°C)	Máx. (°C)	Mín. (°C)
4788 - 4208	4.5	7.8	0.3
4183 - 4000	6.5	8.4	4.1
3988 - 3622	8.6	12.1	5.1
3578 - 3040	11.9	15.5	7.2
2997 - 1157	16.1	22.5	9.8

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

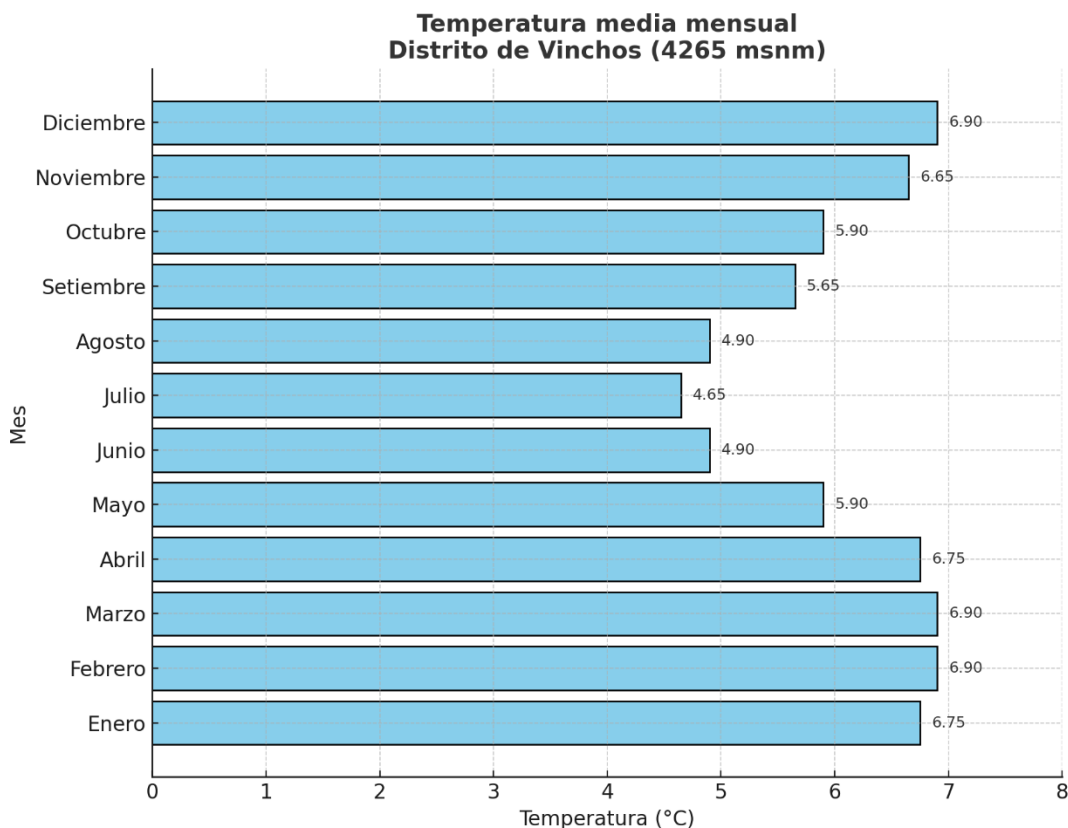
Tabla 5*Temperatura media mensual en Ustuna (°C)*

Subcuenca	Ustuna
Elev. (msnm)	4265
Enero	6.75
Febrero	6.9
Marzo	6.9
Abril	6.75
Mayo	5.9
Junio	4.9
Julio	4.65
Agosto	4.9
Setiembre	5.65
Octubre	5.9
Noviembre	6.65
Diciembre	6.9

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Figura 5

Variación de la temperatura media mensual



Nota. Elaboración Propia

3.10.2.3. Humedad Relativa

En la subcuenca del río Vinchos, se cuenta con registros históricos del CRU (1960–1990) que permiten conocer el comportamiento mensual promedio de la humedad relativa. Esta información ha sido clave para estudiar la dinámica de humedad en la unidad hidrográfica del río Ustuna. La humedad relativa es fundamental para determinar las necesidades de riego agrícola, ya que niveles más bajos de humedad aumentan la demanda de agua. Para su evaluación, se usaron datos de estaciones climáticas cercanas (Huamanga, Allpachaca, Huanta, entre otras), debido a la limitada información directa en la zona.

Durante el año, la humedad relativa en esta región muestra variaciones moderadas. En la subcuenca Ustuna (4265 m s.n.m.), los niveles promedio oscilan entre 51.7% (julio) y 75.3% (marzo), lo que indica una menor disponibilidad de

humedad atmosférica en los meses secos, lo cual puede afectar la eficiencia de los sistemas de riego y la evaporación del agua almacenada.

Tabla 6

Rango de humedad relativa según altitud

ALTITUD (msnm)	Prom. (%)	Máx. (%)	Mín. (%)
4788 - 4208	63.6	83.2	45.8
4183 - 4000	62.5	77.9	46.1
3988 - 3622	60.1	74.7	46.4
3578 - 3040	58	73.5	47
2997 - 1157	57.9	71.1	48.4

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Tabla 7

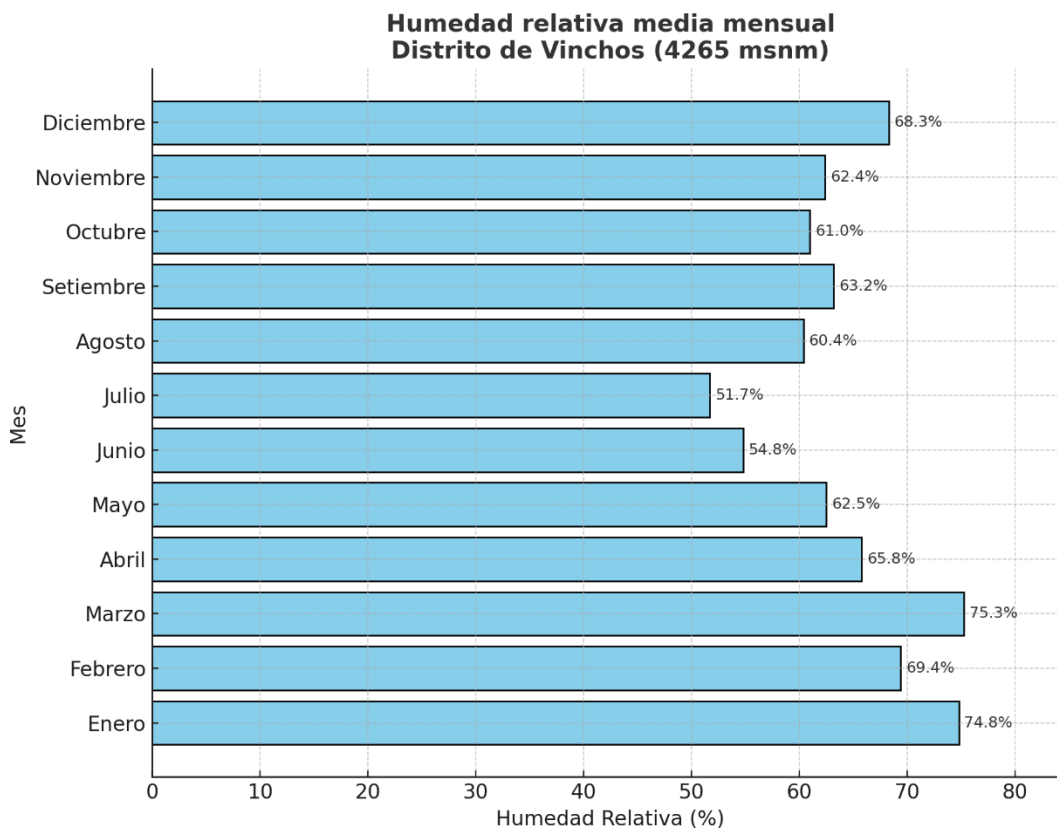
Humedad relativa mensual (%) (4265 m.s.n.m.)

Mes	%HR Ustuna
Ene	74.8
Feb	69.4
Mar	75.3
Abr	65.8
May	62.5
Jun	54.8
Jul	51.7
Ago	60.4
Sep	63.2
Oct	61
Nov	62.4
Dic	68.3

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Figura 6

Variación de la humedad relativo media mensual



Nota. Elaboración Propia

De la figura anterior se infiere lo siguiente:

- **Meses más húmedos:** marzo (75.3 %) y enero (74.8 %), en los que se espera menor evaporación superficial, favoreciendo la recarga hídrica.
- **Meses más secos:** julio (51.7 %) y junio (54.8 %), coinciden con el periodo de mayor evaporación y, por tanto, mayor presión sobre los sistemas de riego.
- **Aplicación:** estos datos permiten planificar mejor la gestión del riego y la conservación del agua en la laguna Ustunacocha, ajustando volúmenes y programación del uso de acuerdo con las condiciones atmosféricas.

3.10.2.4. Evaporación

La evaporación es uno de los factores climáticos más relevantes en la pérdida de agua desde superficies expuestas, como embalses y lagunas. Esta variable está

influenciada por la radiación solar y el viento, que transporta el vapor desde las capas húmedas a la atmósfera.

En el área del estudio en Vinchos, esta información se ha obtenido a través de registros limitados en estaciones como Allpachaca, Cuchoquesera y Putacca, gestionadas por el ex PERC desde 1991 obtenidos del informe técnico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos. Aunque el registro es corto, ha sido útil para entender cómo varía estacionalmente la evaporación. En la estación Ustuna (dato clave para la laguna Ustunacocha), se reporta una evaporación total anual de 895.9 mm para el año 2011. El mes con mayor pérdida por evaporación fue octubre con 104.8 mm, y el menor, enero con 51 mm. Este comportamiento es importante para planificar los volúmenes de agua a almacenar y distribuir, especialmente en meses secos con alta evaporación.

Tabla 8

Evaporación total mensual en Ustuna (mm)

Mes	Evap. (mm)
Ene	51
Feb	52.8
Mar	64.3
Abr	61.5
May	74.4
Jun	66.1
Jul	66.6
Ago	70.3
Sep	87.8
Oct	104.8
Nov	100.3
Dic	96

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Tabla 9

Comparación anual de evaporación con otras estaciones (mm)

Estación	Total Anual (mm)	Periodo	Mes más alto (mm)
Cuchoquesera	1759.5	1992	Noviembre (209.9)
Allpachaca	1792.8	1992	Enero (248.8)

Putacca	983.7	1991–1993	Agosto (104.1)
Ustuna	895.9	2011	Octubre (104.8)

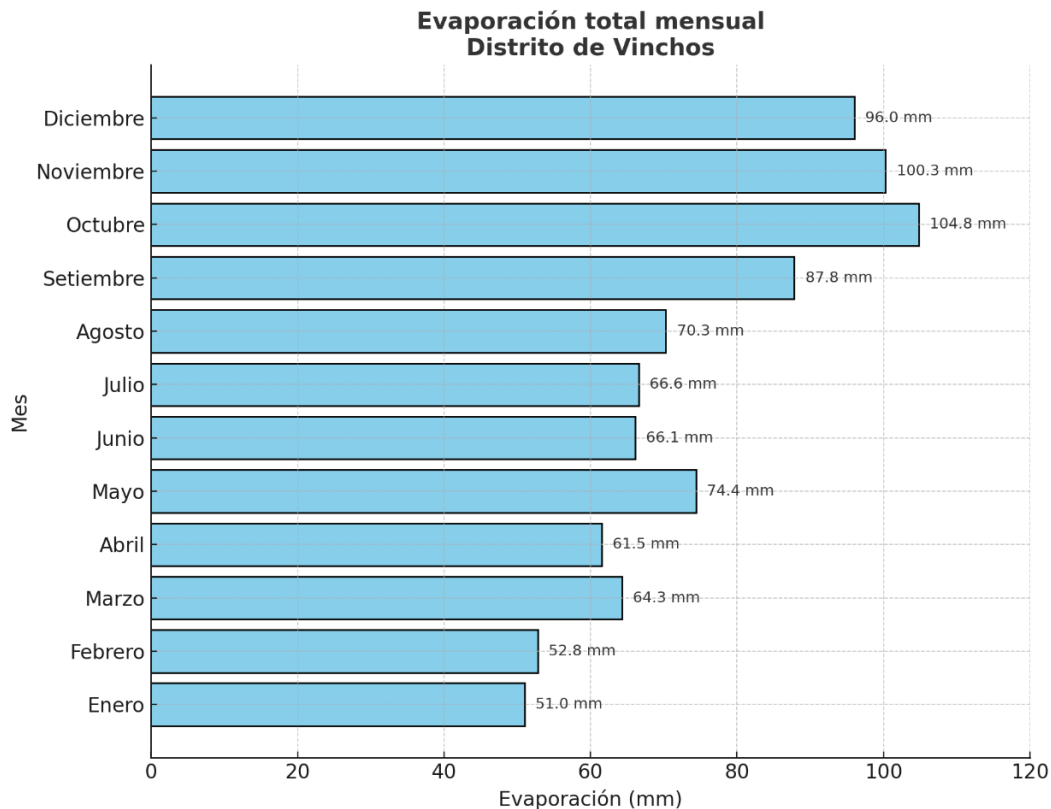
Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

De la anterior tabla se infiere:

- **Evaporación más alta:** octubre, noviembre y diciembre (más de 96 mm), indicando riesgo de pérdida hídrica en el periodo seco.
- **Evaporación más baja:** enero y febrero (alrededor de 51 mm), cuando hay menor radiación y mayor humedad.
- **Aplicación:** estos datos permiten optimizar el almacenamiento en la laguna Ustunacocha, considerando la evaporación para calcular el volumen útil disponible para riego, especialmente en meses críticos.

Figura 7

Variación de la evaporación total mensual en el distrito de Vinchos



Nota. Elaboración Propia

3.10.2.5. Velocidad del Viento

En el área de la cuenca del río Cachi y sus subcuencas, entre ellas la del río Vinchos, se cuenta con registros de la velocidad del viento proporcionados por el CRU entre 1960 y 1990. Estos datos han permitido entender el comportamiento de esta variable climática, fundamental en el estudio de la evaporación, ya que el viento favorece la pérdida de agua desde cuerpos como lagunas y canales abiertos.

Los valores promedio anuales muestran que en la estación Allpachaca (ubicada a 3750 m.s.n.m.) se registró una velocidad media de 2.5 m/s (9 km/h), clasificada como viento suave según la escala de Beaufort. Por otro lado, la estación Cuchoquesera (3750 m.s.n.m., 1992–2009) alcanzó un promedio de 3.5 m/s (12.6 km/h), también dentro del rango de viento suave.

En la subcuenca Ustuna, asociada directamente a la laguna Ustunacocha, la velocidad promedio mensual se mantiene entre 3.8 m/s y 4.3 m/s, sin variaciones extremas a lo largo del año. Esto indica una estabilidad moderada en el comportamiento del viento, lo cual permite estimar con mayor precisión las tasas de evaporación y planificar estrategias para reducir pérdidas hídricas.

Tabla 10

Rango general de velocidad del viento según altitud

ALTITUD (msnm)	Prom. (m/s)	Máx. (m/s)	Mín. (m/s)
4788 - 4208	4	4.7	3.1
4183 - 4000	4.1	4.7	3.3
3988 - 3622	3.8	4.7	2.9
3578 - 3040	3.6	4.6	2.8
2997 - 1157	3.4	4.7	2.6

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Tabla 11

Velocidad media mensual del viento (m/s) – Ustuna

Mes	Ustuna
Ene	4.0
Feb	4.0
Mar	4.0

Abr	3.8
May	4.0
Jun	4.0
Jul	4.0
Ago	4.0
Sep	4.3
Oct	4.0
Nov	4.0
Dic	4.0

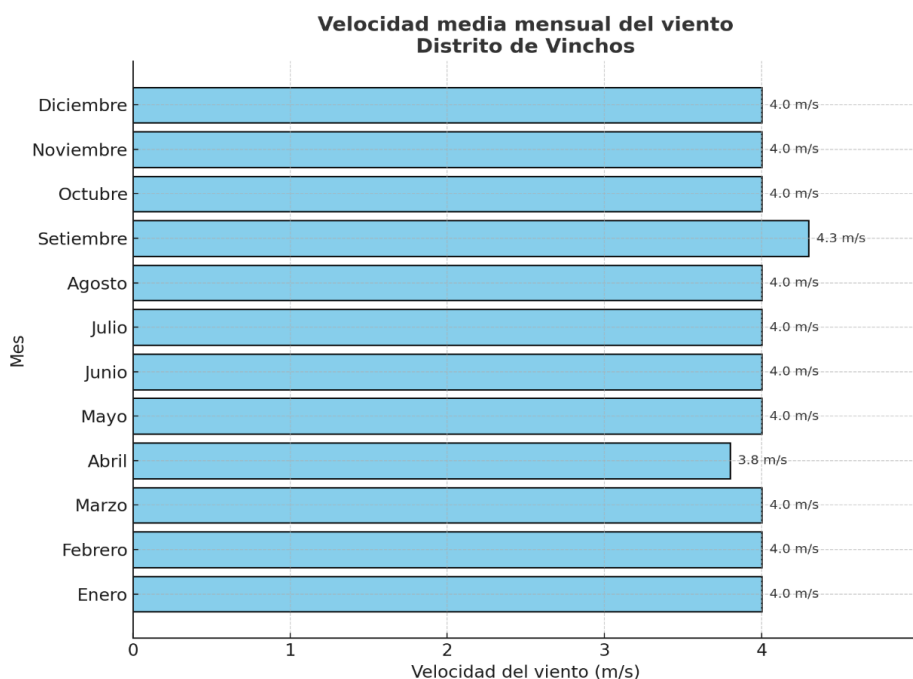
Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Se infiere:

- **Estabilidad mensual:** La velocidad se mantiene prácticamente constante en torno a 4.0 m/s, lo que facilita estimaciones confiables de evaporación.
- **Mes con mayor viento:** setiembre (4.3 m/s), podría coincidir con mayor evaporación si hay baja humedad y alta radiación.
- **Aplicación:** Estos datos permiten incorporar la velocidad del viento en modelos de balance hídrico y diseño de coberturas o techos flotantes para reducir evaporación en canales o lagunas.

Figura 8

Velocidad media mensual del viento en el distrito de Vinchos



Nota. Elaboración Propia

3.10.2.6. Horas de Sol

La disponibilidad de datos sobre horas de sol proviene únicamente de las estaciones meteorológicas de Huamanga, Putacca y Tambillo, ubicadas en zonas cercanas a la cuenca del río Cachi.

- En la estación Huamanga, el promedio anual de insolación alcanza 2556.1 horas, concentrándose principalmente entre los meses de abril a noviembre, cuando se registra mayor radiación solar. Las horas de sol varían desde 250.4 horas en agosto hasta 163.2 horas en febrero, dependiendo directamente de la nubosidad.
- En Putacca, las horas de sol oscilan mensualmente entre 147.0 horas (febrero y mayo) y 269.7 horas, con un total anual promedio de 2516.9 horas.
- En la estación Tambillo, los registros muestran un rango de 117.0 horas (enero) a 273.3 horas (julio), acumulando un promedio anual de 2597.3 horas.

En términos diarios, la mayor insolación promedio se observa en junio con 8.5 horas/día, y la menor en marzo con 6.7 horas/día.

3.10.2.7. Nubosidad

Los datos sobre nubosidad son muy limitados y provienen únicamente de las estaciones de Tambillo y Huamanga, correspondientes a la subcuenca del río Cachi, durante el periodo agosto 1992 a agosto 1993.

- En Tambillo, la nubosidad diaria varía entre 1 y 6 octas, con un promedio anual de 4 octas (donde 0 representa cielo despejado y 8 completamente nublado).
- En Huamanga, el promedio anual es de 5 octas, con mínimas de 2.5 en junio y máximas de 6.6 en febrero, lo que muestra una correlación inversa con las horas de sol registradas.

3.10.3. Unidad hidrográfica

La unidad hidrográfica que abastece la laguna Ustunacocha, ubicada en el distrito de Vinchos, se origina en las zonas altas de los afluentes del río Ustuna. Estas fuentes están compuestas por aportes de aguas permanentes, provenientes de precipitaciones, manantiales y escurrimientos subterráneos. También se identifican quebradas de tipo estacional, que solo contribuyen en los meses de lluvia.

El recorrido de esta unidad hidrográfica comprende desde una elevación máxima de 4610 m.s.n.m. hasta los 3920 m.s.n.m., cubriendo una distancia total de 11.47 km. La pendiente media del cauce principal es de 6.02 %, lo que influye en la velocidad de escurrimiento hacia la laguna. La altitud promedio de toda esta área, desde la naciente hasta el punto de captación relacionado con la laguna, es de 4265 m.s.n.m. Esta red hidrográfica está formada por varias quebradas menores, que contribuyen al flujo hídrico y permiten una densidad de drenaje en el punto de interés equivalente a 0.50 km²/km².

Tabla 12

Características de la unidad hidrográfica (Laguna Ustunaccocha)

PUNTO DE INTERÉS	Captación
LONGITUD (km)	11.47
PERÍMETRO (km)	28.193
ÁREA (km²)	24.665
ALTITUD MEDIA (msnm)	4265
PENDIENTE (%)	6.02
COTA MÁXIMA (msnm)	4610

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Se infiere:

- **Altitud media y cota máxima:** La laguna se encuentra en una zona elevada, ideal para almacenamiento por gravedad, pero con sensibilidad a la evaporación.
- **Pendiente del 6.02 %:** facilita el escurrimiento eficiente, pero puede generar mayor arrastre de sedimentos en temporada de lluvias.
- **Área de captación de 24.665 km²:** representa una zona significativa de aporte para la recarga de la laguna.
- **Densidad de drenaje:** adecuada para proyectos de regulación hídrica, dado que se mantiene un flujo constante durante la mayor parte del año.

3.10.3.1. Recursos Hidrográficos

La unidad hidrográfica que abastece a la laguna Ustunacocha no cuenta con estaciones hidrométricas directas para evaluar sus caudales naturales, lo cual impide una medición directa de la disponibilidad hídrica. Por ello, se aplicaron métodos de estimación estocástica e indirecta, en particular el modelo markoviano de Lutz y Sholtz, recomendado para zonas de la Sierra Peruana.

Se utilizaron registros históricos de precipitación y estudios previos realizados por entidades como ANA, el MINAGRI y el ex-PERCH. Además, ante la falta de datos continuos, se adoptó un coeficiente de escorrentía entre 0.5 y 0.6, calculando caudales medios mensuales a partir del rendimiento por kilómetro cuadrado (L/s/km²) y el área de la cuenca (24.66 km²).

La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$\text{Escorrentamiento} = K \times A$$

Donde:

K = Rendimiento medio mensual (L/s/km²)

A = Área de cuenca (km²) = 24.66

El área de cuenca (24.66 km²) es constante en todos los meses porque corresponde al área total de la cuenca aportante hacia la laguna Ustunacocha. Los valores de K cambian según el mes, reflejando la variación estacional del régimen hídrico.

Tabla 13

Caudales medios mensuales para un año promedio – Laguna Ustunacocha

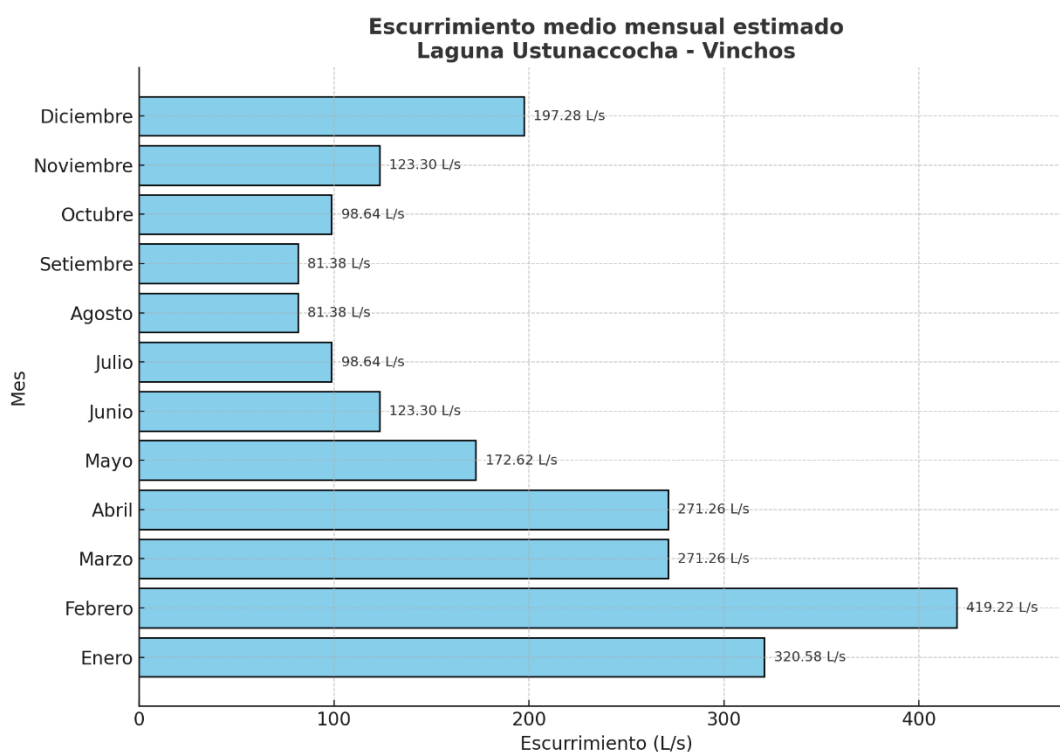
Mes	Rendimiento medio mensual (L/s/km ²)	Área de cuenca (km ²)	Escorrentamiento estimado (L/s)	Rendimiento al 80 % (L/s)
Enero	13	24.66	320.58	256.464
Febrero	17	24.66	419.22	335.376
Marzo	11	24.66	271.26	217.008
Abril	11	24.66	271.26	217.008
Mayo	7	24.66	172.62	138.096
Junio	5	24.66	123.3	98.64

Julio	4	24.66	98.64	78.912
Agosto	3.3	24.66	81.38	65.102
Setiembre	3.3	24.66	81.38	65.102
Octubre	4	24.66	98.64	78.912
Noviembre	5	24.66	123.3	98.64
Diciembre	8	24.66	197.28	157.824

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos (2017).

Figura 9

Escurrecimiento medio mensual estimado



Nota. Elaboración Propia

3.10.4. Geomorfología

La laguna Ustunaccocha se encuentra enclavada entre dos cerros con formaciones rocosas de origen ígneo. Estos cerros forman una quebrada con dirección este y pendientes que oscilan entre el 12 % y 14 %. A simple vista, se observa que la laguna fue conformada por un deslizamiento masivo del talud rocoso situado en la margen izquierda, provocado por inestabilidad y falla estructural del

terreno. La zona de la cortina está compuesta por bloques rocosos de distintos tamaños, que se han depositado de forma natural y que presentan un cierto grado de impermeabilidad debido a la presencia de sedimentos arrastrados por la quebrada. Sin embargo, esta impermeabilidad no es total, ya que se ha identificado una fuga natural a unos 13 metros por debajo del nivel del espejo de agua.

En cuanto a la forma de la cuenca, esta presenta una morfología típica descrita por Horton como una forma ovoide, similar a una pera, lo que sugiere una cuenca de comportamiento hidrológico normal. El relieve de la cuenca se define por la diferencia entre el punto más alto y el más bajo, y se calcula una pendiente media de 5.5 % sobre la base del rectángulo equivalente.

Tabla 14

Parámetros geomorfológicos – Laguna Ustunacocha

Parámetro	Unidad	Valor
Área de la cuenca	km ²	23.73
Perímetro	km	26.82
Coeficiente de compacidad (Gravelius)	-	1.55
Longitud del cauce principal	km	10.86
Ancho medio	km	2.19
Radio de circularidad	-	0.41
Factor de forma	-	0.2
Rectángulo equivalente – Lado mayor	km	11.31
Rectángulo equivalente – Lado menor	km	2.1
Longitud total ríos (Orden 1)	km	6.64
Longitud total ríos (Orden 2)	km	1.73
Longitud total ríos (Orden 3)	km	8.65
Curva hipsométrica	-	✓
Polígono de frecuencia	-	✓
Altitud máxima de la cuenca	m.s.n.m.	4550
Altitud mínima de la cuenca	m.s.n.m.	3930
Desnivel total	km	0.62
Altitud media de la cuenca	m.s.n.m.	4223
Altitud de frecuencia media	m.s.n.m.	4251

Altura máxima del cauce	m.s.n.m.	4451
Altura más frecuente del cauce	m.s.n.m.	4300–4350
Pendiente (rectángulo equivalente)	%	5.5
Tipo de corriente	-	Perenne
Densidad de drenaje	km/km ²	0.72
Pendiente media del río principal	m/m	0.048
Altitud máxima del cauce	m.s.n.m.	4451
Altitud mínima del cauce	m.s.n.m.	3930
Tiempo de concentración	horas	1.7
Grado de ramificación	Orden	3°

Nota. Elaboración Propia

3.10.5. Recursos hídricos

El distrito de Vinchos, ubicado en la provincia de Huamanga, tiene una extensión territorial de 955.12 km² (equivalente a 95,512 hectáreas). De esta superficie, aproximadamente 7,879 hectáreas están destinadas a la agricultura, lo que representa apenas el 8.25 % del total.

La mayor parte del territorio corresponde a tierras eriazas u otros usos (63.72 %), mientras que pastos naturales abarcan el 24.92 % (23,802 ha) y los bosques o montes el 3.11 % (2,974 ha).

En relación con la calidad del suelo, se identifican tres zonas diferenciadas:

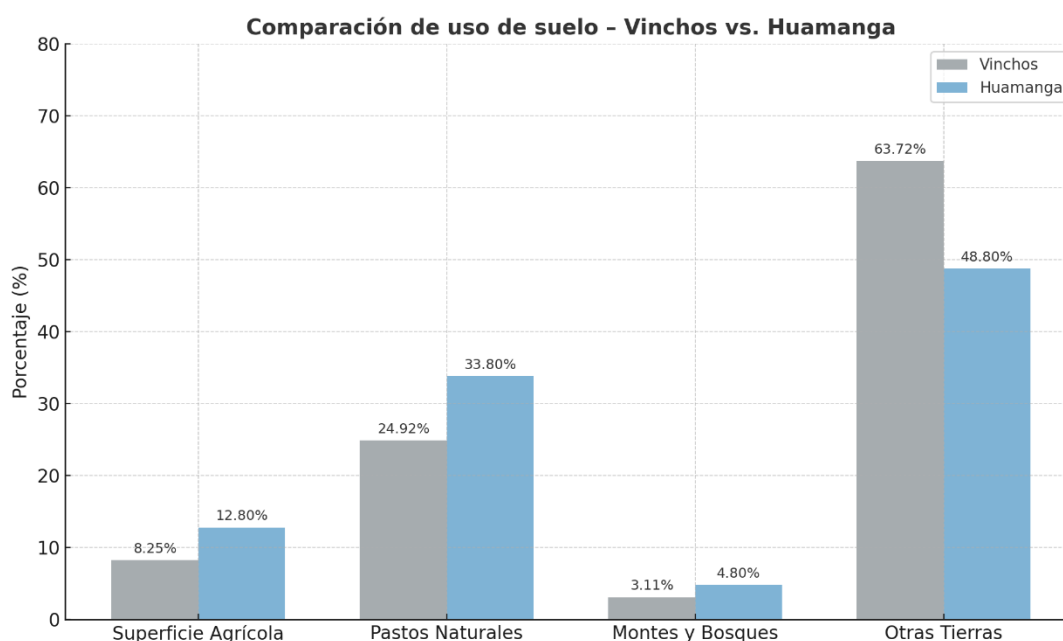
- 1. Zona baja:** con suelos de origen aluvial, fértiles, de textura franco arenosa o arcillosa, ideales para cultivos como cereales y forrajes. Aquí se ubican la mayoría de centros poblados.
- 2. Zona media:** terrenos pedregosos, con pendientes pronunciadas y degradación severa del suelo, limitando su uso agrícola.
- 3. Zona alta:** por encima de los 3,500 m.s.n.m., con suelos paramosólicos y húmedos, dominados por pastos naturales. Se orienta principalmente a la actividad ganadera (llamas y alpacas).

El uso del suelo en estas zonas refleja una presión creciente por la agricultura y pastoreo, especialmente donde se emplean técnicas tradicionales y rotación de cultivos como alfalfa y cebada en zonas como Anchauschani, Paccha y Qollota.

Tabla 15*Superficie territorial y agrícola – Distrito de Vinchos vs. Provincia de Huamanga*

Localidad	VINCHOS (%)		HUAMANGA (%)	
Superficie Física (km²)	955.12	100 %	2,981.37	100 %
Total (Has.)	95,512	100 %	298,113.70	100 %
Superficie Agrícola (Has.)	7,879	8.25 %	38,284	12.8 %
Pastos Naturales (Has.)	23,802	24.92 %	100,677	33.8 %
Montes y Bosques (Has.)	2,974	3.11 %	14,171	4.8 %
Otras Tierras (Has.)	60,857	63.72 %	145,005	48.8 %

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos.

Figura 10*Comparativa del uso del suelo Vinchos vs. Huamanga*

Nota. Elaboración Propia

El distrito de Vinchos cuenta con una superficie de 95,512 hectáreas, de las cuales 7,879 ha (8.35 %) son utilizadas para la agricultura. Dentro de esta superficie cultivada, solo 968 ha (12.3 %) cuentan con sistemas de riego, mientras que la mayoría, 6,911 ha (87.72 %), dependen exclusivamente del régimen de lluvias (secano).

Tabla 16*Producción de cultivos tradicionales – Vinchos*

Cultivo	Área Cosechada (ha)	Rendimiento (TM/ha)	Producción (TM)	Precio (S/.)	VBP (Miles S/.)	% VBP
Papa	232	7.76	1,801.00	0.33	594.33	32.89 %
Cebada grano	836	0.79	662	0.5	331	18.32 %
Maíz amiláceo	151	0.92	139	1	139	7.69 %
Haba grano seco	116	0.88	102	1	102	5.64 %
Olluco	115	0.86	99	0.88	87.12	4.82 %
Orégano	54	4	216	0.39	84.24	4.66 %
Trigo	140	0.9	126	0.6	75.6	4.18 %
Alfalfa	7	25.71	180	0.31	55.8	3.09 %
Avena forrajera	20	11.75	235	0.21	49.35	2.73 %
Oca	34	3.53	120	0.34	40.8	2.26 %
Arveja grano	30	1.83	55	0.71	39.05	2.20 %
Haba grano verde	25	1.76	44	0.63	27.72	1.53 %
Mashua	27	0.93	25.11	1	25.11	1.41 %
Tarwi	13	0.85	11	1.7	18.7	1.05 %
Quinoa	13	0.85	11	1.46	16.06	0.89 %
Cebolla	1	9	9	0.8	7.2	0.41 %
Calabaza	1	0.5	0.5	0.35	0.18	0.01 %

Nota. Tomado de estudio hidrológico realizado por la Municipalidad Distrital de Vinchos.

3.10.6. Volumen Mensual Estimado

Para estimar el volumen de agua mensual que ingresa a la laguna Ustunacocha, se utilizaron los datos de escurrimiento promedio mensual, correspondiente a la subcuenca Ustuna (4265 m.s.n.m.).

Los valores originales están expresados en litros por segundo (L/s). Para convertir estos datos en volumen mensual (m^3), se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen mensual (m}^3\text{)} = \text{Escurrecimiento } \left(\frac{L}{S}\right) \times 0.001 \times 3600 \times 24 \times D$$

Donde:

- 0.001 convierte litros a metros cúbicos,
- 3600×24 transforma segundos a días,
- D es el número de días del mes correspondiente.

Este modelo permite aproximar el volumen de entrada mensual que la laguna podría recibir bajo condiciones promedio de escorrentía. Usando la formula anterior se realizado el siguiente código en Python:

```
import pandas as pd
# Datos de escurrimiento mensual estimado en litros por
segundo (L/s)
escurrimiento_lps = [
    320.58, # Enero
    419.22, # Febrero
    271.26, # Marzo
    271.26, # Abril
    172.62, # Mayo
    123.30, # Junio
    98.64,  # Julio
    81.38,  # Agosto
    81.38,  # Setiembre
    98.64,  # Octubre
    123.30, # Noviembre
    197.28  # Diciembre
]
dias_mes = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31]
# Cálculo del volumen mensual estimado (en m³):
# Fórmula: volumen = escurrimiento (L/s) × 0.001 × 3600 × 24
× días del mes
volumen_m3_mes = [
    round(q * 0.001 * 3600 * 24 * d, 2)
    for q, d in zip(escurrimiento_lps, dias_mes)
```

```

]
df_volumen = pd.DataFrame({
    "Mes": [
        "Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo",
        "Junio",
        "Julio", "Agosto", "Setiembre", "Octubre",
        "Noviembre", "Diciembre"
    ],
    "Escurrimiento (L/s)": escurrimiento_lps,
    "Días del mes": dias_mes,
    "Volumen mensual estimado (m³)": volumen_m3_mes
})
print(df_volumen)

```

Simulando el código anterior se obtiene los siguientes resultados:

Figura 11

Volumen mensual de ingreso de agua a la laguna Ustunaccocha (m³/mes)

	Mes	Escurrimiento (L/s)	Días del mes \
0	Enero	320.58	31
1	Febrero	419.22	28
2	Marzo	271.26	31
3	Abril	271.26	30
4	Mayo	172.62	31
5	Junio	123.30	30
6	Julio	98.64	31
7	Agosto	81.38	31
8	Setiembre	81.38	30
9	Octubre	98.64	31
10	Noviembre	123.30	30
11	Diciembre	197.28	31

	Volumen mensual estimado (m³)
0	858641.47
1	1014177.02
2	726542.78
3	703105.92
4	462345.41
5	319593.60
6	264197.38
7	217968.19
8	210936.96
9	264197.38
10	319593.60
11	528394.75

Nota. Elaboración Propia

Tabla 17*Interpretación de resultados del volumen estimado*

Mes	Volumen estimado (m³)	Observación
Enero	858,641.47	Alto ingreso por temporada de lluvias.
Febrero	1,014,177.02	Máximo aporte mensual, pico de precipitación.
Marzo	726,542.78	Aporte todavía alto, pero en descenso.
Abril	703,105.92	Último mes con aporte significativo.
Mayo	462,345.41	Disminución marcada, transición a secano.
Junio	319,593.60	Escaso ingreso, temporada seca.
Julio	264,197.38	Mínimo aporte, laguna depende del almacenamiento.
Agosto	217,968.19	Valor crítico, escasa recarga.
Setiembre	210,936.96	Mantenimiento con reservas.
Octubre	264,197.38	Ligero incremento pre-lluvias.
Noviembre	319,593.60	Inicio de temporada húmeda.
Diciembre	528,394.75	Aporte moderado, recarga progresiva.

Nota. Elaboración Propia

De esto se infiere lo siguiente:

- Los meses de enero a abril representan la principal ventana de recarga hídrica de la laguna, concentrando más del 60 % del volumen anual estimado.
- Entre junio y septiembre, el volumen mensual estimado es crítico (<300,000 m³), lo que afecta la gestión del recurso hídrico, especialmente si no hay estructuras de almacenamiento o control adecuadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Frecuencia de eventos climáticos extremos afectan la variación del volumen de agua

En este apartado se analiza cómo la frecuencia de eventos climáticos extremos, como lluvias intensas y periodos de sequía, incide en la variación del volumen de agua disponible en la laguna Ustunacocha, ubicada en el distrito de Vinchos. Para ello, se utilizaron datos mensuales estimados de precipitación, evaporación y escurrimiento. A través del código detallado en el Anexo N°3, se identificaron los meses en los que se presentaron eventos extremos, utilizando umbrales de referencia basados en estudios hidrológicos regionales. Los resultados obtenidos permiten observar el comportamiento del volumen mensual frente a la ocurrencia de estos eventos y constituyen una base para evaluar su impacto en la disponibilidad y gestión del recurso hídrico. A continuación, se presentan las tablas y figuras que sintetizan dichos hallazgos.

La Figura 12 permite analizar el comportamiento mensual del volumen estimado de agua en la laguna Ustunacocha en función de dos tipos de eventos climáticos extremos: lluvias intensas y sequías. Este análisis se ha realizado considerando datos mensuales aproximados de precipitación, evaporación y escurrimiento. Durante los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo), se registran precipitaciones superiores al umbral establecido de 130 mm/mes, lo que ha sido clasificado como "lluvia extrema". Estos mismos meses presentan también los valores más altos de volumen almacenado en la laguna, superando los 700,000 m³ e incluso alcanzando un pico máximo en febrero con más de un millón de metros cúbicos (1,014,177.02 m³). Esta relación directa indica que las lluvias intensas generan un aumento significativo en el volumen de agua disponible, probablemente debido al incremento del escurrimiento superficial y la recarga directa sobre la laguna.

A partir de mayo y hasta noviembre, se observa una tendencia inversa: en estos meses, la evaporación supera la precipitación mensual, lo que ha sido clasificado como condición de "sequía". Coincidentemente, el volumen de agua en la laguna disminuye progresivamente, con los valores más bajos entre junio y septiembre, meses que no superan los 265,000 m³. El mes de agosto muestra el volumen más reducido (217,968.19 m³), lo que puede atribuirse a la escasa

disponibilidad de agua superficial y a una alta tasa de evaporación acumulada. Abril y diciembre constituyen meses de transición. Aunque no presentan eventos extremos según los criterios definidos, sus volúmenes se sitúan en niveles intermedios, reflejando un posible equilibrio entre la entrada y salida de agua.

Figura 12

Ocurrencia de eventos climáticos extremos y volumen mensual estimado

Mes	Precip (mm)	Evap (mm)	Volumen (m3)	LluviaExtrema	Sequía
Ene	160.0	51.0	858641.47	true	false
Feb	140.0	52.8	1014177.02	true	false
Mar	180.0	64.3	726542.78	true	false
Abr	120.0	61.5	703105.92	false	false
May	60.0	74.4	462345.41	false	true
Jun	20.0	66.1	319593.60	false	true
Jul	10.0	66.6	264197.38	false	true
Ago	10.0	70.3	217968.19	false	true
Sep	20.0	87.8	210936.96	false	true
Oct	40.0	104.8	264197.38	false	true
Nov	80.0	100.3	319593.60	false	true
Dic	130.0	96.0	528394.75	false	false

Nota. Elaboración Propia

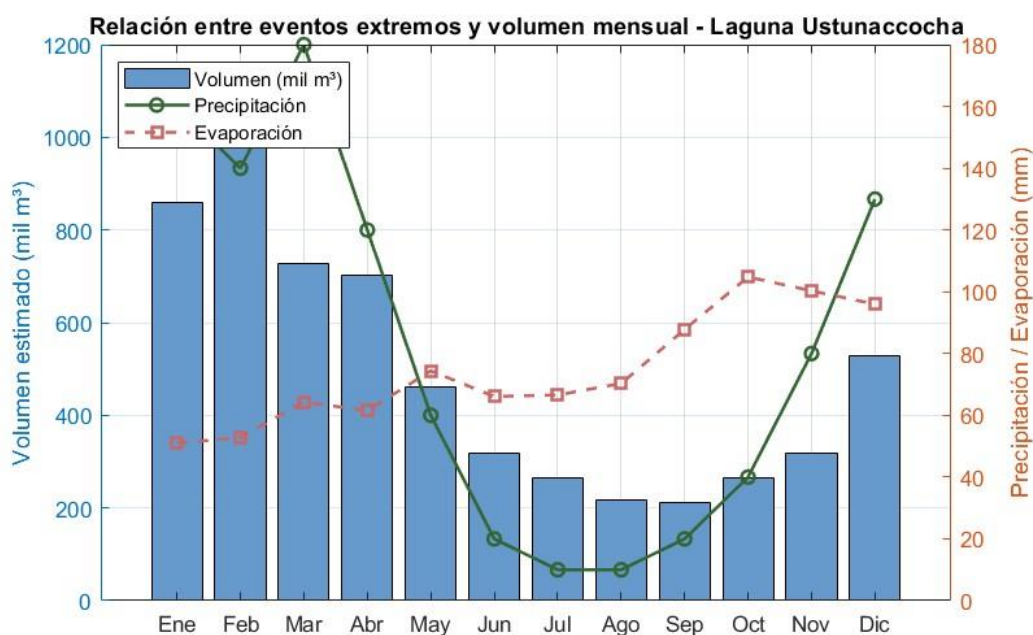
La Figura 13 presenta la relación gráfica entre el volumen mensual estimado de agua en la laguna Ustunacocha y los principales parámetros climáticos que condicionan su comportamiento: la precipitación y la evaporación.

Durante los meses de enero, febrero y marzo, se observa un claro incremento en el volumen de agua almacenado, alcanzando su punto máximo en febrero. Este comportamiento coincide con valores altos de precipitación (mayores a 130 mm), los cuales han sido clasificados como eventos de lluvia extrema. A su vez, la evaporación en este periodo se mantiene relativamente baja, lo que favorece la acumulación de escurrimientos hacia la laguna. A partir del mes de mayo y durante toda la temporada seca (de junio a octubre), se observa una inversión en la tendencia: la evaporación supera ampliamente a la precipitación, generando un descenso sostenido en el volumen almacenado. Este patrón es más notorio entre julio y septiembre, donde las precipitaciones son mínimas y la evaporación continúa en niveles altos (superando los 85 mm), lo que genera una importante pérdida neta de agua. El volumen estimado cae por debajo de los 300 mil m³, lo que evidencia una reducción significativa de la

disponibilidad hídrica durante estos meses. Finalmente, los meses de noviembre y diciembre muestran una recuperación gradual, atribuida a un aumento moderado de la precipitación y una leve reducción en la evaporación. Sin embargo, el volumen acumulado aún no alcanza los niveles del primer trimestre, lo que indica que la laguna requiere varias semanas de lluvia sostenida para restablecer su capacidad.

Figura 13

Relación entre eventos extremos y volumen mensual - Laguna Ustunacocha



Nota. Elaboración Propia

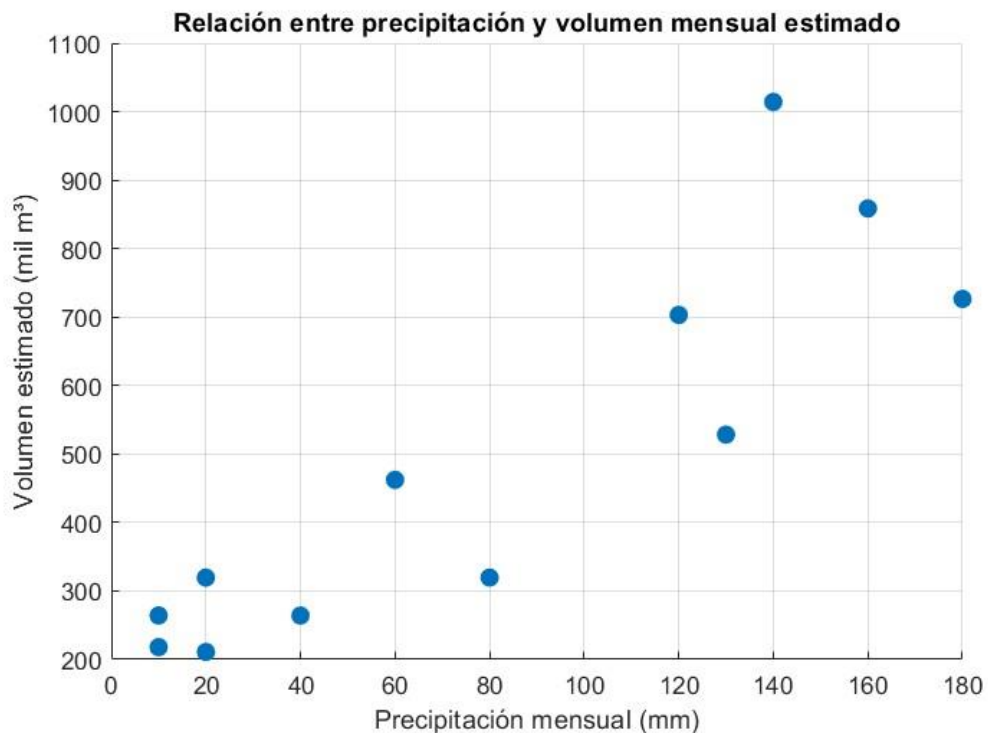
La Figura 14 representa una dispersión de los valores mensuales de precipitación (en mm) frente al volumen estimado de agua almacenada en la laguna Ustunacocha (en mil m³), con el objetivo de visualizar la relación entre ambas variables. El gráfico permite identificar una tendencia positiva clara: a medida que la precipitación mensual aumenta, también se incrementa el volumen de agua disponible en la laguna.

En los meses con precipitación por debajo de los 40 mm, el volumen mensual estimado no supera los 330 mil m³, indicando una baja disponibilidad del recurso hídrico en condiciones de lluvia escasa. Por el contrario, cuando la precipitación

supera los 130 mm (considerada como umbral de lluvia extrema en esta investigación), el volumen se eleva significativamente, llegando incluso a superar los 1,000 mil m³ en el mes de febrero. Esta respuesta evidencia la alta sensibilidad de la laguna a los aportes directos de precipitación y al escurrimiento generado. La relación no es completamente lineal, lo que puede explicarse por la influencia de otros factores como la evaporación, la capacidad de infiltración del terreno, la vegetación circundante y la eficiencia del escurrimiento superficial hacia la laguna. No obstante, se confirma una correlación positiva general: la precipitación es un factor determinante en la recuperación del volumen hídrico.

Figura 14

Relación entre precipitación y volumen mensual estimado



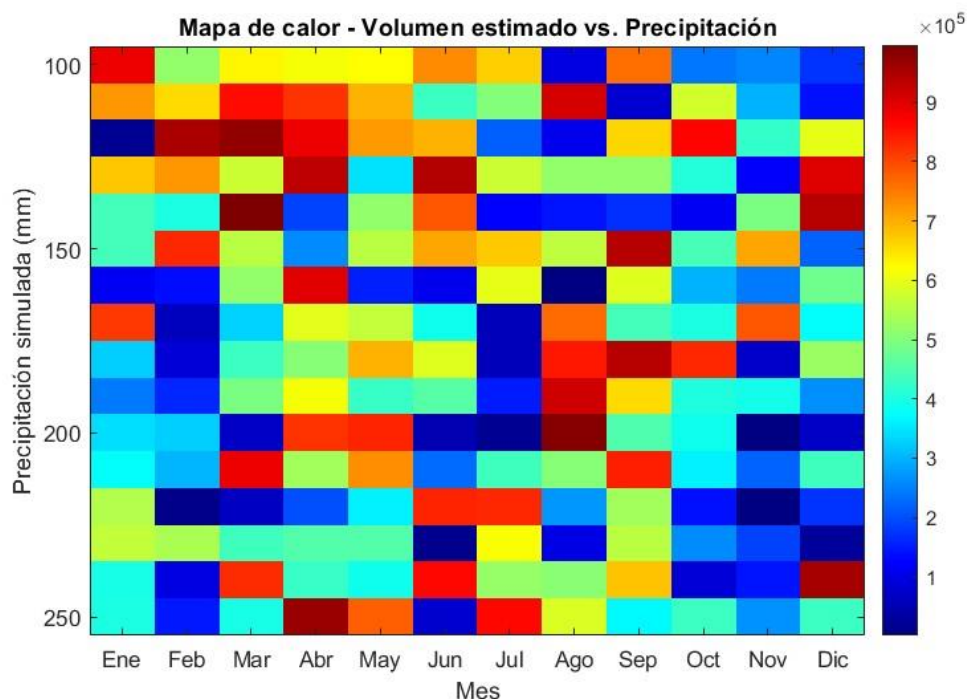
Nota. Elaboración Propia

La Figura 15 presenta un mapa de calor que simula la relación entre el volumen estimado de agua en la laguna Ustunacocha y los diferentes niveles de precipitación mensual para cada mes del año. En el eje vertical se representan los valores simulados de precipitación (100 a 250 mm), mientras que en el eje horizontal se encuentran los meses del año. Los colores indican los rangos del volumen

estimado (en cientos de miles de metros cúbicos), con tonalidades azules para los valores más bajos y rojos para los más altos.

Figura 15

Mapa de calor - Volumen estimado vs. Precipitación



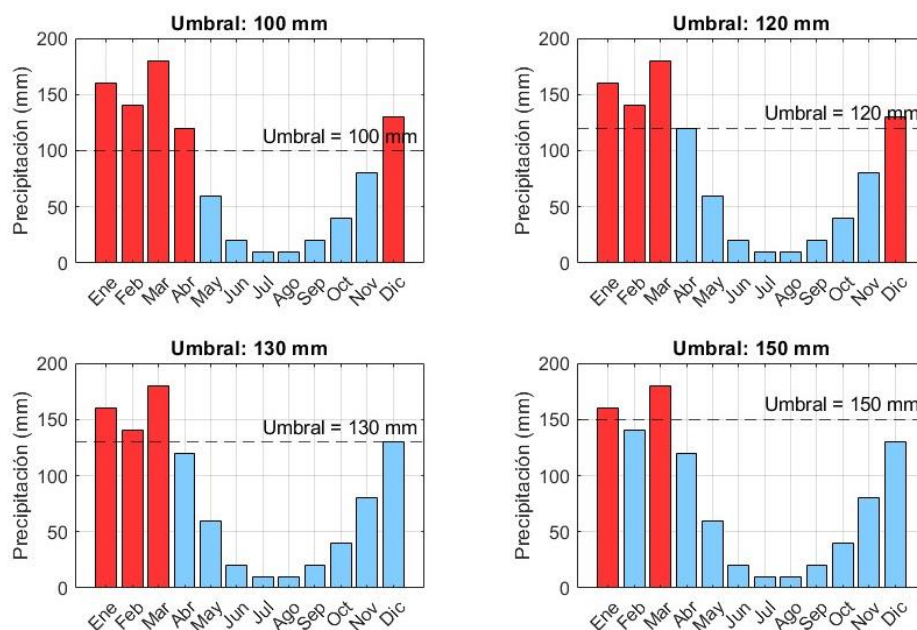
Nota. Elaboración Propia

Este tipo de representación permite visualizar, de manera comparativa, cómo influiría un aumento o disminución de la precipitación en cada mes sobre la cantidad de agua acumulada en la laguna. Se observa que los valores más altos de volumen (tonos rojizos) tienden a concentrarse hacia la parte inferior del gráfico, especialmente entre febrero, marzo y abril, lo cual sugiere que un incremento de las lluvias en estos meses genera una respuesta significativa en el volumen hídrico disponible. Por el contrario, en los meses de junio a septiembre, incluso con precipitaciones elevadas simuladas, el volumen tiende a mantenerse más bajo (colores azulados o verdes), lo que puede atribuirse a una mayor evapotranspiración o una menor eficiencia en la captación del recurso. Asimismo, el gráfico del mapa de calor permite identificar que no todos los meses responden de igual forma a un mismo nivel de precipitación: por ejemplo, 200 mm en abril genera una mayor acumulación que la misma cantidad en julio, lo que refleja la influencia de factores adicionales como la humedad del suelo, el nivel de evaporación o el estado previo de la laguna.

La Figura 16 muestra un conjunto de gráficos de barras que ilustran la identificación de eventos climáticos extremos (lluvias intensas) bajo diferentes umbrales de precipitación: 100 mm, 120 mm, 130 mm y 150 mm. Cada gráfico presenta las precipitaciones mensuales en la laguna Ustunacocha, destacando en rojo los meses en los que se supera el umbral establecido y en celeste los que se encuentran por debajo.

Figura 16

Variación de eventos extremos según umbral de precipitación



Nota. Elaboración Propia

Este análisis permite observar cómo la clasificación de un mes como evento extremo depende directamente del umbral considerado. Con un umbral bajo (100 mm), se identifican más meses con lluvia extrema (Ene, Feb, Mar, Abr, Dic). A medida que se incrementa el umbral (por ejemplo, a 130 mm), el número de meses clasificados como eventos extremos se reduce, limitándose a los tres primeros del año. Finalmente, con un umbral aún más restrictivo (150 mm), solo enero y febrero se consideran extremos.

Esta representación ayuda a visualizar la sensibilidad del análisis a la selección del umbral, lo cual es clave en investigaciones hidrológicas y en la gestión del riesgo. Un umbral muy bajo podría sobreestimar la ocurrencia de eventos

extremos y generar falsas alarmas, mientras que un umbral demasiado alto podría subestimar el riesgo real, omitiendo meses con precipitaciones que, si bien no son máximas, tienen un impacto significativo en el balance hídrico. Además, estos resultados respaldan el criterio adoptado en esta investigación de considerar 130 mm como umbral representativo para eventos de lluvia extrema en la zona altoandina de Vinchos, por su correspondencia con valores históricos, criterios hidrológicos regionales y evidencia observada de acumulación de volumen hídrico realizada en el capítulo III.

La Figura 17 representa la clasificación del volumen mensual estimado de agua en la laguna Ustunacocha en función de tres rangos: alto, medio y bajo, definidos de acuerdo al comportamiento del escurrimiento en mil metros cúbicos (mil m³). Esta clasificación busca facilitar la visualización de los patrones de disponibilidad hídrica a lo largo del año y su vinculación con la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Figura 17

Clasificación mensual del volumen de agua estimado



Nota. Elaboración Propia

Se observa que los meses de enero, febrero, marzo y abril se clasifican dentro del rango alto, lo cual coincide con los meses de mayor precipitación en la zona, incluyendo varios eventos de lluvias extremas identificados en el análisis. Este comportamiento refleja una mayor recarga del cuerpo lagunar durante el primer cuatrimestre del año, lo cual es crucial para el abastecimiento en los meses subsiguientes.

A partir de mayo hasta noviembre, el volumen estimado desciende de manera significativa, ubicándose dentro de los rangos medio y principalmente bajo, lo que evidencia un periodo de baja disponibilidad hídrica, fuertemente influenciado por la baja precipitación y el incremento de la evaporación. Durante estos meses también se registran varios eventos de sequía hidrológica, afectando negativamente la eficiencia de la gestión hídrica. En diciembre, se presenta una ligera recuperación del volumen, clasificándose nuevamente como un mes de nivel medio, lo cual sugiere el inicio del periodo de recarga asociado al retorno de las lluvias.

El coeficiente de variación del escurrimiento mensual (0.56) refleja una alta variabilidad intermensual en la disponibilidad hídrica de la laguna, lo cual representa un desafío para una gestión hídrica eficiente y resiliente frente a los eventos climáticos extremos.

`Coefficiente de variación del escurrimiento mensual: 0.56`

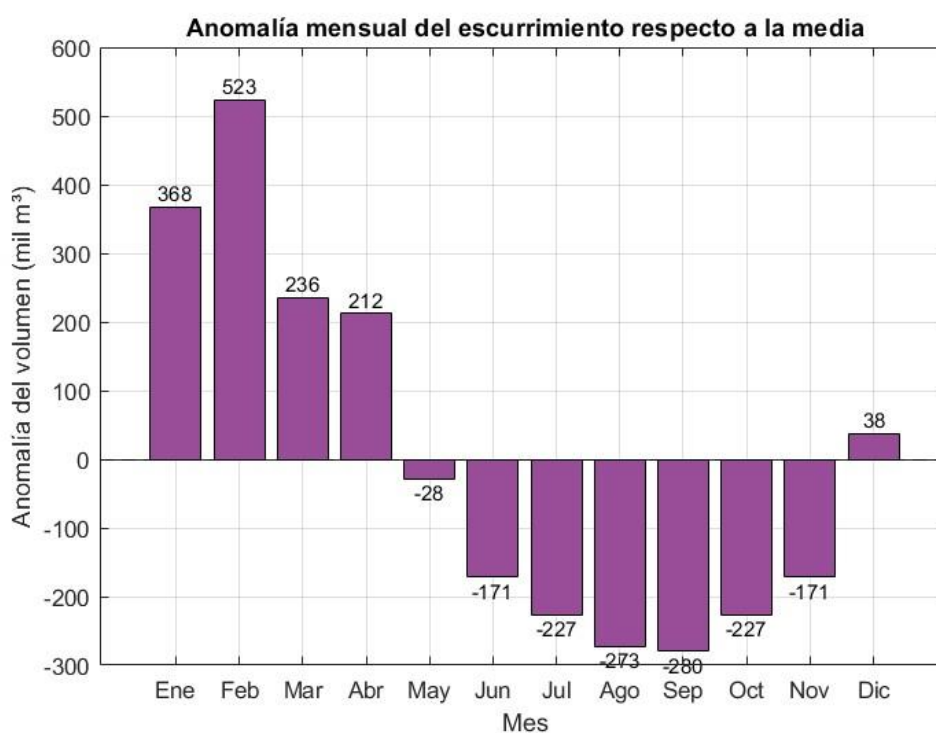
La Figura 18 muestra las anomalías del volumen de escurrimiento mensual en la laguna Ustunaccocha con respecto al promedio anual, permitiendo identificar los meses con aportes hídricos por encima o por debajo del valor medio.

Durante los primeros tres meses (enero a marzo), se observa un comportamiento positivo con valores que superan ampliamente la media, siendo febrero el mes con la mayor anomalía positiva (+523 mil m³), lo que refleja condiciones de abundancia hídrica asociadas a lluvias intensas en el periodo estacional húmedo. Esta situación también ocurre en enero y marzo, lo cual confirma la influencia de eventos de lluvia extrema durante esta temporada.

Por otro lado, de mayo a noviembre se evidencian anomalías negativas, destacando agosto (-273 mil m³) y septiembre (-280 mil m³) como los meses con mayor déficit hídrico, lo que se asocia con un incremento de la evaporación y una drástica disminución de la precipitación. Esta fase de sequía prolongada impacta directamente en la disponibilidad de agua en la laguna, generando condiciones de estrés hídrico. Finalmente, diciembre presenta una leve recuperación con una anomalía positiva (+38 mil m³), esto indica el inicio del nuevo periodo de recarga pluvial.

Figura 18

Anomalía mensual del escurrimiento respecto a la media



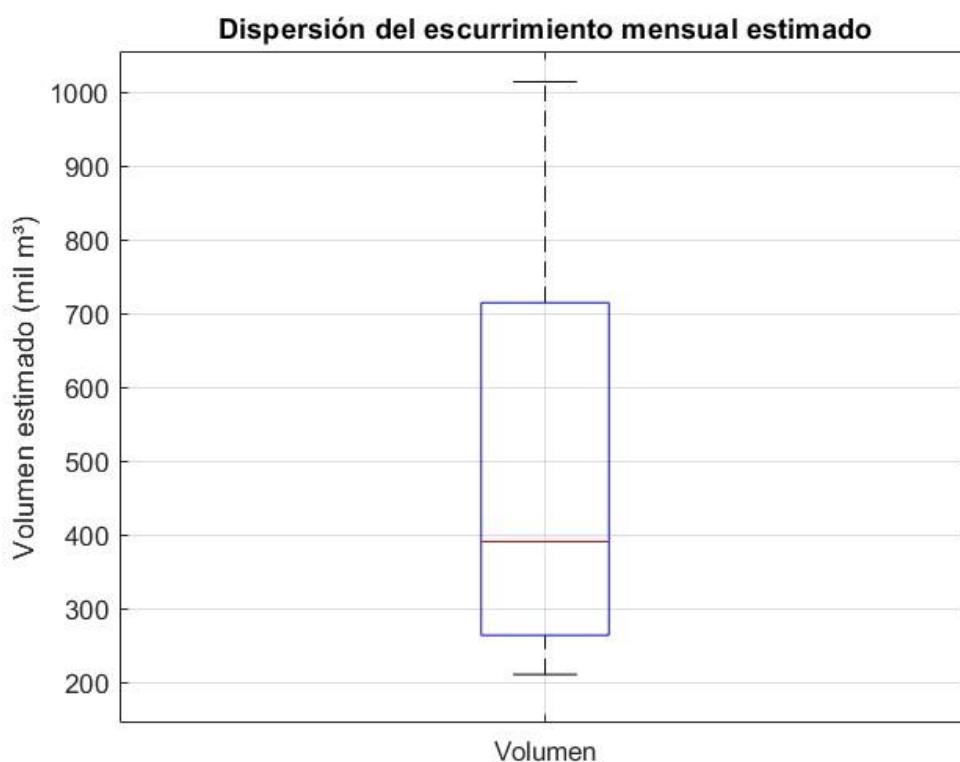
Nota. Elaboración Propia

La Figura 19 presenta un diagrama de caja (boxplot) que muestra la distribución del escurrimiento mensual estimado en la laguna Ustunaccocha durante el periodo analizado. Este tipo de gráfico permite identificar visualmente la variabilidad, tendencia central y posibles valores atípicos del volumen de agua disponible mensualmente. La mediana (línea roja dentro de la caja) se sitúa en torno a los 400 mil m³, lo que indica que la mitad de los meses tiene volúmenes por encima y por debajo de este valor. La caja representa el rango intercuartílico, evidenciando

una dispersión significativa: el 50 % central de los datos se extiende desde aproximadamente 260 mil hasta 710 mil m³. Esto refleja una notable variabilidad estacional en la disponibilidad de agua. Los valores extremos (límites de los bigotes) alcanzan un máximo cercano a los 1010 mil m³, asociado a meses de lluvias intensas, y un mínimo en torno a los 210 mil m³, característico de los meses secos o con eventos de sequía prolongada.

Figura 19

Dispersión del escurrimiento mensual estimado



Nota. Elaboración Propia

4.2. Influencia de la distribución temporal de los eventos climáticos extremos sobre la gestión hídrica

La distribución temporal de los eventos climáticos extremos como lluvias intensas o períodos de sequía influye directamente en la planificación y eficiencia de la gestión hídrica en cuerpos de agua como la laguna Ustunaccocha. Estos eventos no solo alteran la disponibilidad de recursos en determinados meses, sino que

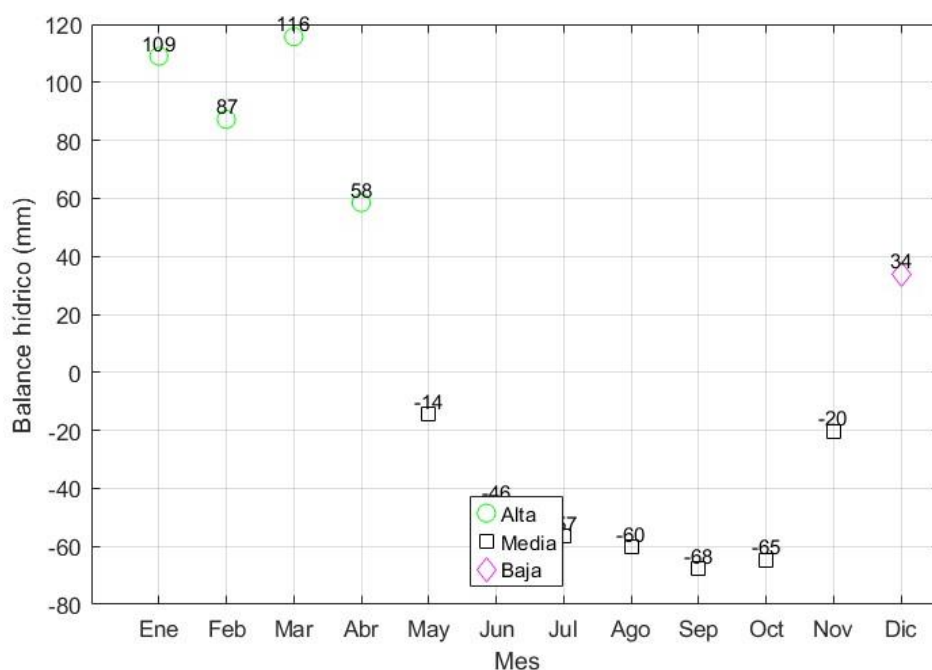
también exigen adaptar las estrategias de almacenamiento, uso y distribución del agua para atender la demanda agrícola y otros usos priorizados.

En este contexto, mediante el uso del código del Anexo N°4, se ha analizado cómo la alternancia mensual entre periodos de exceso y déficit hídrico afecta el equilibrio entre la oferta (escurrimiento) y la demanda de agua. Este análisis considera indicadores como el balance hídrico mensual, la eficiencia de cobertura de la demanda y la frecuencia de eventos extremos en el año hidrológico, proporcionando una base para evaluar las limitaciones operativas en la gestión del recurso en función de su estacionalidad climática.

La Figura 20 muestra el balance hídrico mensual estimado en la laguna Ustunacocha como resultado de la diferencia entre la precipitación y la evaporación. Esta variable ha sido clasificada en tres niveles de eficiencia hídrica: Alta, Media y Baja. Se observa que los primeros cuatro meses del año (enero a abril) presentan balances positivos significativos, alcanzando un pico de 116 mm en marzo, lo cual refleja una alta eficiencia hídrica en este periodo. Esto se asocia a la temporada de lluvias intensas, que supera con holgura los niveles de evaporación.

Figura 20

Distribución mensual de eficiencia hídrica - Laguna Ustunacocha



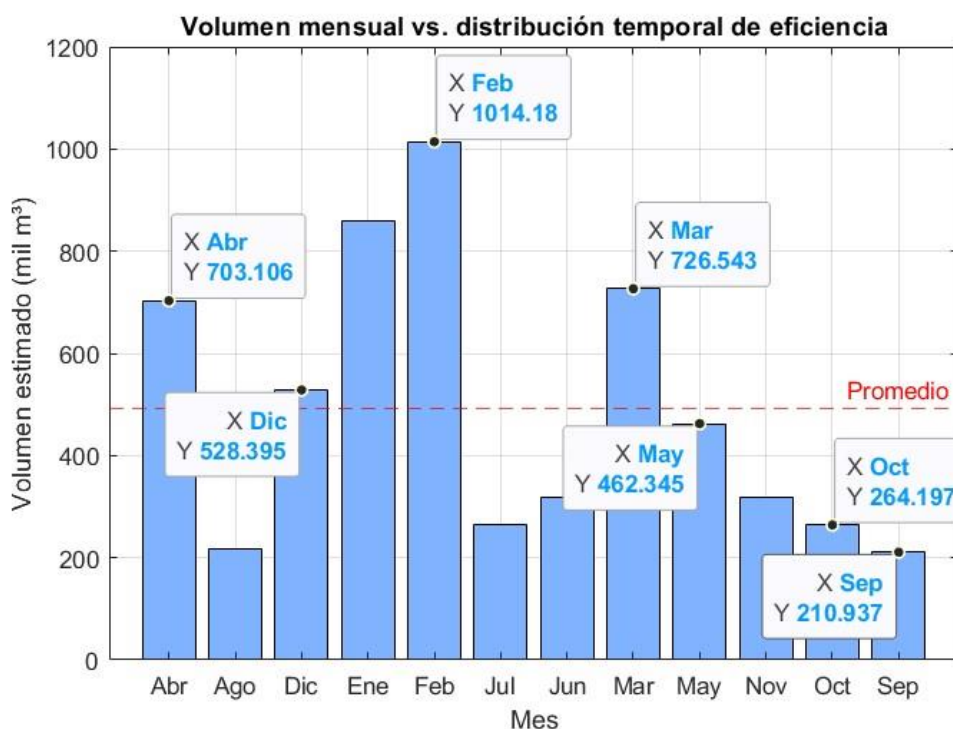
Nota. Elaboración Propia

A partir de mayo, el balance comienza a disminuir, entrando en valores negativos desde dicho mes hasta noviembre, lo que indica una mayor pérdida de agua por evaporación que ingreso por precipitación. Esta condición genera una eficiencia hídrica media entre mayo y noviembre, y una baja únicamente en diciembre, a pesar de que el balance vuelve a valores positivos. La razón podría atribuirse a que diciembre aún no logra compensar las pérdidas acumuladas durante los meses secos. Este comportamiento revela la clara influencia estacional en la gestión del recurso hídrico. Durante la temporada de lluvias, existe capacidad de recarga y almacenamiento del recurso, mientras que, en la temporada seca, la gestión debe centrarse en conservar lo acumulado para evitar déficit.

La Figura 21 representa gráficamente el volumen mensual estimado de agua en la laguna Ustunacocha y su relación con la distribución temporal de eficiencia hídrica. Se visualiza que los meses con mayor volumen estimado —como febrero (1014.18 mil m³), marzo (726.543 mil m³) y abril (703.106 mil m³)— coinciden con la temporada de lluvias intensas y balance hídrico alto, reflejando una eficiencia de gestión favorable.

Figura 21

Volumen mensual vs. distribución temporal de eficiencia



Nota. Elaboración Propia

En contraste, meses como septiembre (210.937 mil m³), octubre (264.197 mil m³) y julio (264.197 mil m³) presentan volúmenes muy por debajo del promedio (línea roja punteada), los cuales corresponden a periodos de baja precipitación y alta evaporación, lo que limita severamente la eficiencia operativa del sistema hídrico. Este gráfico evidencia que la eficiencia en la gestión del recurso está directamente influenciada por la distribución estacional del agua.

La Figura 22 compara gráficamente la oferta mensual estimada de agua con la demanda agrícola mensual en la laguna Ustunacocha, destacando además la ocurrencia de eventos climáticos extremos (indicados con * para lluvias intensas y x para sequías). Se observa que:

- **Enero (*):** Se presenta un evento de lluvia intensa. La oferta hídrica (830,943 m³) es **muy superior** a la demanda (50,000 m³), lo que refleja una excelente disponibilidad de agua en la laguna. El exceso es una oportunidad para almacenamiento.
- **Febrero (*):** También ocurre una lluvia extrema. La oferta (1,086,620 m³) es la más **alta del año**, muy por encima de la demanda (70,000 m³). La presencia de lluvias intensas favorece el llenado de la laguna.
- **Marzo (*):** Continúa la presencia de lluvias intensas. Aunque la oferta (703,106 m³) disminuye respecto a febrero, sigue siendo suficiente frente a una demanda de 60,000 m³.
- **Abril (x):** No se presenta una lluvia intensa, pero sí una sequía incipiente. Aun así, la oferta (703,106 m³) sigue siendo adecuada frente a la demanda agrícola de 60,000 m³, aunque comienza a observarse una disminución.
- **Mayo (x):** Se acentúa la sequía. La oferta (447,431 m³) es inferior a la de los meses anteriores y se aproxima al límite de la demanda (80,000 m³), evidenciando el inicio de estrés hídrico.
- **Junio (x):** El evento de sequía es claro. La oferta (319,594 m³) comienza a ser **críticamente menor** que la demanda (90,000 m³), marcando un periodo de escasez.
- **Julio (x):** La sequía continúa. La oferta (255,675 m³) no cubre la demanda (95,000 m³), generando un déficit hídrico sostenido.

- **Agosto (x):** Se mantiene el evento de sequía. La oferta es la más baja del año (210,937 m³), mientras que la demanda agrícola (95,000 m³) se mantiene alta.
- **Setiembre (x):** Continúa el evento seco. La oferta hídrica (210,937 m³) sigue siendo baja frente a los requerimientos de 90,000 m³, ratificando la persistencia de la escasez.
- **Octubre (x):** La sequía persiste. La oferta (255,675 m³) no es suficiente frente a la demanda de 85,000 m³, afectando la eficiencia del sistema de riego.
- **Noviembre (x):** Aunque la demanda disminuye (70,000 m³), la oferta (319,594 m³) sigue siendo limitada, lo que genera un escenario de vulnerabilidad.
- **Diciembre (*):** Reaparece un evento de lluvia intensa. La oferta mejora a 511,349 m³ frente a una demanda de 60,000 m³, marcando el inicio de la recuperación hídrica de la laguna.

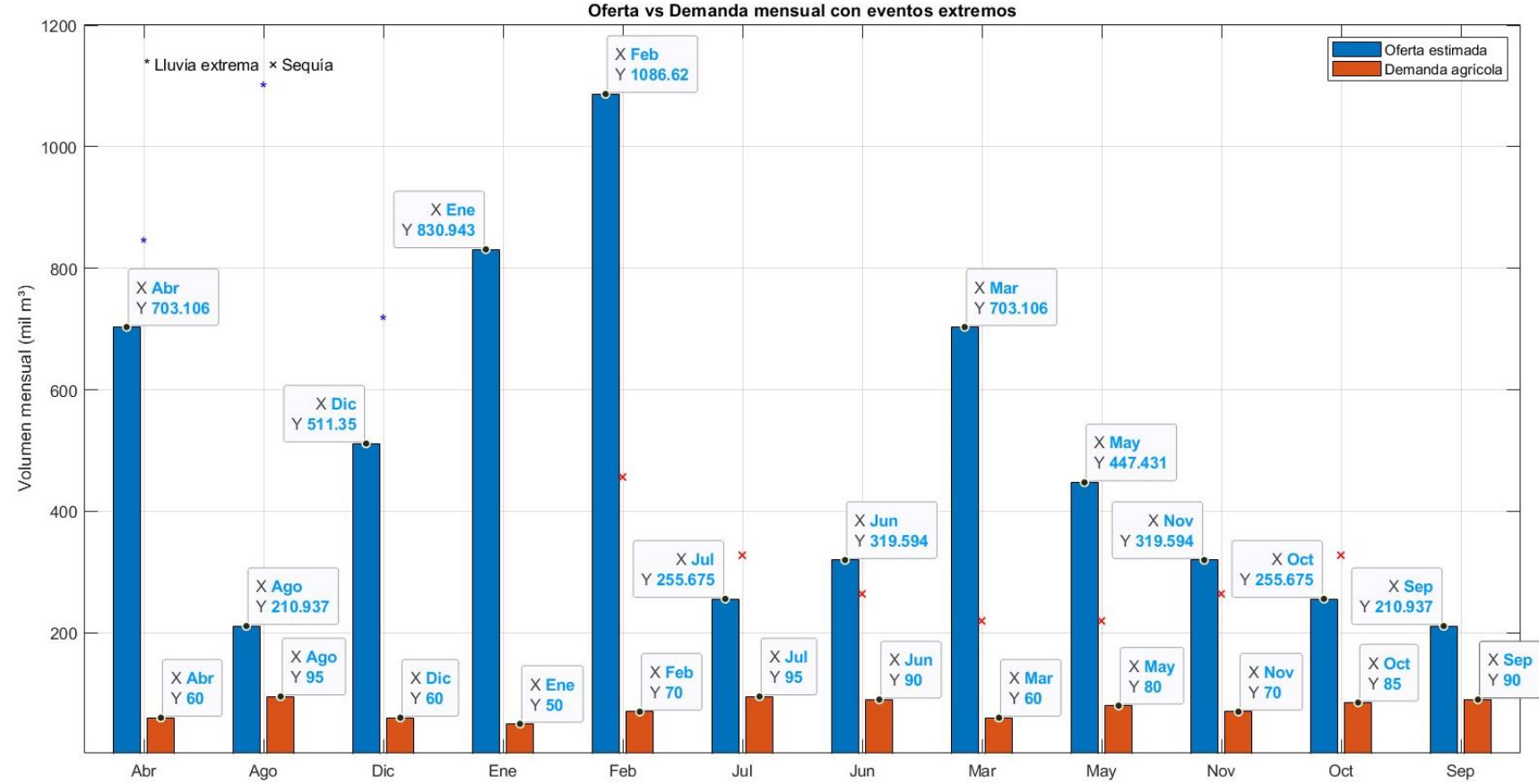
En resumen:

- **Meses con lluvias intensas (*):** Enero, febrero, marzo y diciembre. Durante estos meses, la oferta supera ampliamente a la demanda, y se observa un potencial de recarga y almacenamiento hídrico.
- **Meses con sequía (x):** Desde abril hasta noviembre, con mayor severidad entre junio y octubre, donde la oferta es consistentemente menor a la demanda, generando desequilibrios y necesidad de mejor gestión del recurso.

Estos resultados reflejan la necesidad de una planificación hídrica que contemple medidas de regulación estacional, priorizando la captación y almacenamiento en épocas de abundancia para cubrir los déficits durante la estación seca

Figura 22

Oferta vs Demanda mensual con eventos extremos



Nota. Elaboración Propia

La Tabla 18 presenta un análisis detallado de la eficiencia hídrica mensual en la laguna Ustunacocha, cruzando datos de precipitación, evaporación, oferta estimada (a partir del escurrimiento) y demanda agrícola mensual. A través de esta comparación, se calcula la relación Oferta/Demanda (Rel O/D) y se identifican los meses con eventos climáticos extremos, específicamente lluvias intensas y sequías.

Meses con lluvias intensas:

- Enero, febrero y marzo se clasifican como meses con lluvia extrema (precipitación >130 mm). En estos meses, la oferta hídrica supera ampliamente la demanda, alcanzando relaciones O/D superiores a 11, lo que indica un excedente hídrico significativo y posibilidades de almacenamiento o redistribución.
- En diciembre, aunque no se sobrepasa el umbral para lluvia extrema, se observa una buena recuperación del sistema con una relación O/D de 8.52, sin presencia de sequía.

Meses con sequía:

- De mayo a noviembre, la evaporación supera a la precipitación, generando una condición de sequía.
- En estos meses, la oferta hídrica disminuye considerablemente, especialmente entre junio y septiembre, donde las relaciones O/D caen por debajo de 3. Aun así, se clasifican como "satisfactorias", lo que indica que la capacidad de gestión ha logrado cubrir la demanda, posiblemente gracias a una planificación previa o a reservorios acumulados.

Meses de transición:

- Abril se sitúa como un mes de transición entre lluvias intensas y el inicio de la sequía. Aunque no hay eventos extremos, la oferta se mantiene alta.
- Octubre y noviembre, aunque aún presentan condiciones de sequía, muestran una ligera recuperación en la oferta frente a los meses más secos (julio–septiembre).

Tabla 18*Evaluación mensual de la eficiencia hídrica y ocurrencia de eventos climáticos extremos en la laguna Ustunacocha*

Mes	Precip (mm)	Evap (mm)	Oferta (m³)	Demanda (m³)	Rel O/D	Clasificación	Lluvia Extrema	Sequía
Ene	160	51	830,943.36	50,000.00	16.62	Satisfactoria	true	false
Feb	140	52.8	1,086,618.24	70,000.00	15.52	Satisfactoria	true	false
Mar	180	64.3	703,105.92	60,000.00	11.72	Satisfactoria	true	false
Abr	120	61.5	703,105.92	60,000.00	11.72	Satisfactoria	false	false
May	60	74.4	447,431.04	80,000.00	5.59	Satisfactoria	false	true
Jun	20	66.1	319,593.60	90,000.00	3.55	Satisfactoria	false	true
Jul	10	66.6	255,687.84	95,000.00	2.69	Satisfactoria	false	true
Ago	10	70.3	210,936.96	95,000.00	2.22	Satisfactoria	false	true
Sep	20	87.8	210,936.96	90,000.00	2.34	Satisfactoria	false	true
Oct	40	104.8	255,687.84	85,000.00	3.01	Satisfactoria	false	true
Nov	80	100.3	319,593.60	70,000.00	4.57	Satisfactoria	false	true
Dic	130	96	511,349.76	60,000.00	8.52	Satisfactoria	false	false

Nota. Elaboración Propia

Sobre la eficiencia hídrica (Relación Oferta/Demanda) se infiere lo siguiente:

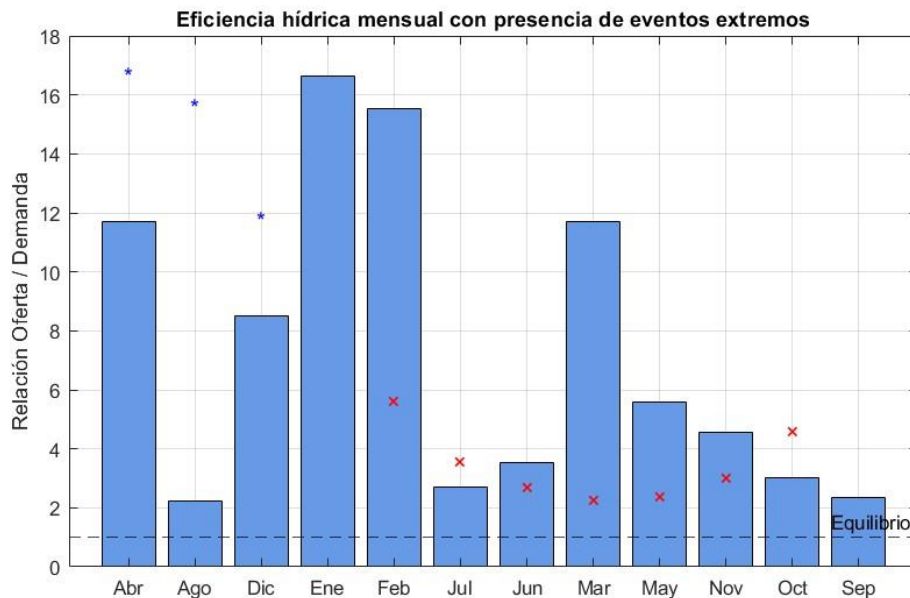
- Rel O/D > 10: Enero a abril → Altísima disponibilidad hídrica
- Rel O/D entre 2 y 6: Mayo a noviembre → Presión sobre el recurso, pero aún se logra abastecer la demanda agrícola mensual.
- Todos los meses tienen clasificación “Satisfactoria”, lo que indica que no se registró desabastecimiento total, aunque sí hubo disminuciones importantes en la oferta durante los eventos de sequía.

La Figura 23 muestra la variación mensual de la eficiencia hídrica medida como la relación entre oferta estimada y demanda agrícola. Además, incorpora simbología de eventos extremos:

- **Asterisco azul (*):** meses con lluvias extremas (precipitación > 130 mm)
- **Cruz roja (x):** meses con sequía (evaporación > precipitación)

Figura 23

Eficiencia hídrica mensual con presencia de eventos extremos



Nota. Elaboración Propia

- **Alta eficiencia (>10):** Se observa en enero, febrero y marzo, meses en los que las lluvias intensas coinciden con una oferta muy superior a la demanda, favoreciendo la acumulación de agua en la laguna.

- **Eficiencia moderada (entre 4 y 10):** Se presenta en abril, mayo, noviembre y diciembre, meses sin eventos extremos, pero aún con balances razonables. Destaca abril, sin evento extremo, pero con eficiencia >10 por acumulación de oferta.
- **Eficiencia baja (<4):** Ocurre en junio a octubre, coincidiendo con los meses de sequía. Aquí, la evaporación elevada y la escasa precipitación limitan la eficiencia del sistema.

La figura evidencia que la eficiencia hídrica se ve fuertemente influenciada por los eventos extremos, destacando el efecto positivo de las lluvias intensas en los primeros meses del año y el impacto negativo de las sequías prolongadas durante la segunda mitad del año.

4.3. Relación de la intensidad de eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión de los recursos hídricos

En esta sección se analiza cómo varía la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunacocha ante diferentes niveles de intensidad de eventos climáticos extremos. Para ello, se definió como intensidad la diferencia mensual entre precipitación y evaporación, mientras que la capacidad de gestión se midió mediante la relación entre la oferta hídrica estimada (volumen disponible) y la demanda agrícola correspondiente.

Usando el código detallado en el Anexo N°5, se evaluó esta relación mes a mes, clasificando los eventos en lluvias extremas, sequías o ausencia de evento, y comparando sus respectivas intensidades con la capacidad de gestión lograda. Esta aproximación permitió identificar si los meses más intensos, ya sea por exceso o déficit hídrico, están asociados a una mayor o menor eficiencia en la respuesta del sistema lagunar.

A continuación, se presentan las tablas y figuras generadas a partir del análisis cuantitativo realizado.

La Tabla 19 muestra una evaluación detallada de la relación entre la intensidad de los eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión hídrica en la

laguna Ustunacocha durante los doce meses del año. Para ello, se calculó la intensidad como la diferencia entre la precipitación y la evaporación mensual (en mm), y se utilizó la relación oferta/demanda hídrica como indicador de la capacidad de gestión.

Tabla 19

Intensidad de eventos y capacidad de gestión hídrica – Ustunacocha

Mes	Intensidad (mm)	Capacidad (Relación Oferta/Demanda)	Evento
Ene	109	16.62	Lluvia Extrema
Feb	87.2	15.52	Lluvia Extrema
Mar	115.7	11.72	Lluvia Extrema
Abr	58.5	11.72	Ninguno
May	-14.4	5.59	Sequía
Jun	-46.1	3.55	Sequía
Jul	-56.6	2.69	Sequía
Ago	-60.3	2.22	Sequía
Sep	-67.8	2.34	Sequía
Oct	-64.8	3.01	Sequía
Nov	-20.3	4.57	Sequía
Dic	34	8.52	Ninguno

Nota. Elaboración Propia

Los resultados indican una correlación muy alta ($r = 0.960$) entre la intensidad de los eventos y la capacidad de gestión, lo que implica que a mayor intensidad positiva (es decir, cuando las precipitaciones superan considerablemente la evaporación), la gestión hídrica tiende a ser más eficiente, reflejándose en una mayor cobertura de la demanda.

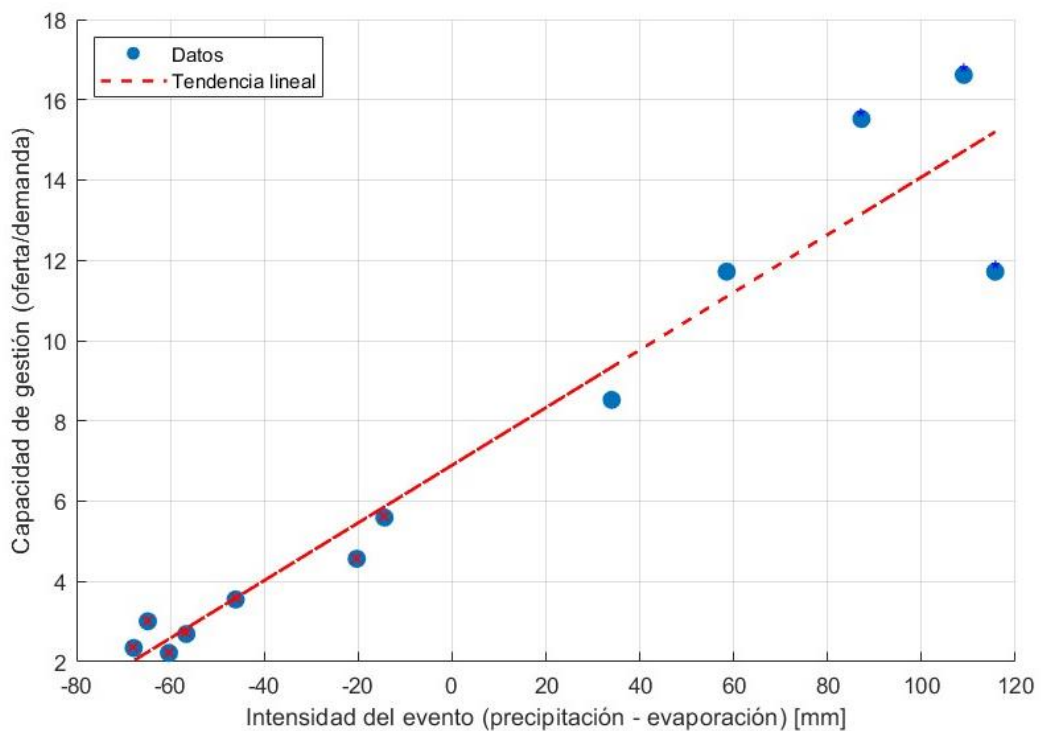
Durante los meses de enero, febrero y marzo, clasificados como meses de lluvias extremas, se registraron las intensidades más altas (entre 87.2 y 115.7 mm) y, consecuentemente, las capacidades de gestión más elevadas, con relaciones oferta/demandas superiores a 11. Por el contrario, entre mayo y noviembre, predominan los valores negativos de intensidad (indicativos de sequía), y la capacidad de gestión disminuye drásticamente, con valores por debajo de 5, llegando incluso a 2.22 en agosto, el mes más crítico.

Esto demuestra que la laguna Ustunacocha responde con alta eficiencia hídrica en contextos de fuerte ingreso de agua, pero su desempeño se reduce notablemente en condiciones de estrés hídrico prolongado, evidenciando una fuerte dependencia del balance climático mensual. La presencia de meses sin eventos extremos (abril y diciembre) también permite observar una gestión intermedia, acorde con intensidades moderadas.

La figura 24 muestra un análisis de regresión lineal entre la intensidad de los eventos climáticos extremos (calculada como la diferencia mensual entre precipitación y evaporación) y la capacidad de gestión hídrica (representada por la relación entre la oferta estimada y la demanda de agua en la laguna Ustunacocha).

Figura 24

Relación entre intensidad de eventos extremos y capacidad hídrica



Nota. Elaboración Propia

Los puntos azules representan los datos mensuales, mientras que la línea roja segmentada indica la tendencia lineal de comportamiento. Se observa una fuerte correlación positiva: a medida que la intensidad del evento climático es mayor (es

decir, cuando hay más precipitación neta), la capacidad de gestión hídrica también aumenta significativamente. Esto es consistente con el coeficiente de correlación alto obtenido ($r \approx 0.96$), evidenciando que la eficiencia del sistema hídrico está fuertemente influenciada por el balance hídrico mensual. Por ejemplo, intensidades por encima de 80 mm están asociadas con capacidades de gestión superiores a 15 (oferta muy por encima de la demanda), mientras que intensidades negativas (sequías) reducen la capacidad de gestión por debajo de 4. Este patrón confirma que la resiliencia hídrica de la laguna es altamente sensible a las condiciones climáticas extremas y destaca la importancia de integrar este tipo de análisis en la planificación de estrategias de adaptación y manejo sostenible del recurso.

CONCLUSIONES

La investigación confirmó que los eventos climáticos extremos (lluvias intensas y sequías) afectan significativamente la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunaccocha. Durante los meses de lluvias extremas (enero, febrero y marzo), la laguna registró volúmenes de agua superiores a 700,000 m³, alcanzando un pico de 1,086,618 m³ en febrero, mientras que en los meses de sequía (junio a octubre), el volumen descendió por debajo de 300,000 m³. Estos resultados evidencian una marcada dependencia del sistema hídrico respecto al régimen climático mensual.

El análisis de frecuencia permitió identificar tres meses con lluvias extremas (enero, febrero y marzo) y siete meses de sequía (mayo a noviembre). Esta distribución se reflejó directamente en el volumen estimado: mientras que los meses de lluvia superaron los 700,000 m³ (con un máximo en febrero), los meses de sequía presentaron caídas significativas, alcanzando el mínimo en agosto con 217,968 m³. Por tanto, se concluye que la frecuencia de eventos extremos impacta directamente en la variabilidad mensual del volumen hídrico.

Se evidenció que la concentración de eventos de lluvia en el primer trimestre del año coincide con una eficiencia hídrica alta, reflejada en relaciones oferta/demandas superiores a 11. En contraste, la prolongación de eventos de sequía entre mayo y octubre ocasionó una eficiencia baja, con relaciones por debajo de 4 en meses como agosto (2.22) y septiembre (2.34). A pesar de que todos los meses se clasificaron como "satisfactorios", se identificaron presiones hídricas importantes durante los meses secos, lo que demuestra que una distribución temporal desigual de los eventos limita la sostenibilidad de la gestión hídrica a lo largo del año.

Se encontró una correlación muy alta ($r = 0.960$) entre la intensidad de los eventos (precipitación - evaporación) y la capacidad de gestión hídrica (relación oferta/demanda). En meses con alta intensidad positiva como enero (+109 mm) y marzo (+115.7 mm), la capacidad de gestión fue máxima (16.62 y 11.72 respectivamente), mientras que en meses con intensidad negativa como agosto (-60.3 mm), la capacidad cayó a 2.22. Esto demuestra que la intensidad climática mensual es un predictor clave del desempeño hídrico de la laguna, y que su capacidad de gestión responde de forma directa a estos extremos.

RECOMENDACIONES

Dado que los meses de enero a marzo concentran los mayores volúmenes de agua (hasta 1,086,618 m³ en febrero), se recomienda el uso de reservorios o infraestructuras de retención para almacenar excedentes y asegurar el abastecimiento en los meses secos.

La eficiencia hídrica disminuye drásticamente entre junio y septiembre (relación oferta/demanda < 3), por lo que es necesario establecer estrategias de redistribución y priorización del uso del agua durante esos meses críticos.

Dada la fuerte correlación ($r = 0.960$) entre la intensidad (precipitación – evaporación) y la capacidad de gestión, se sugiere incluir este indicador en sistemas de alerta temprana y planificación operativa.

Durante la estación seca, se recomienda fomentar cultivos de bajo requerimiento hídrico o escalonar los periodos de siembra y riego en función de las proyecciones de oferta.

Las comunidades usuarias de la laguna deben participar en comités de gestión que integren información climática y escenarios de sequía para adoptar medidas preventivas antes de los meses de mayor déficit hídrico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, P. (2017). Estimación de curvas intensidad, duración y frecuencia (idf) en puntos geográficos sin registros históricos de precipitación. (Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás). Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/19947>
- Alfonso, P. (2023). Gestión de riesgo de eventos climatológicos extremos que inciden sobre el volumen de fibra grasienta en comunidades alpaqueras de canas – región Cusco. (Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16709>
- Baldeon, L. (2016). Modelamiento hidrológico de la sub cuenca del Rio Achamayo. Uncp.edu.pe. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4588>
- Barceló, A. M., y Ballesteros, C. R. (2015). Periodos de retorno para la precipitación acumulada en varios días. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas. AEMET.
- Bussetini, M. (2018). Flujos medioambientales en la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. BOLETÍN DE LA OMM, 67(1), 65-66. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9570>
- Chambi, G., Cabrera, C., Torres, J., Rodríguez, M., Malca-Casavilca, N., Rendon, E., y Herencia, B. (2023). Impacto del cambio climático en factores hídricos de la cuenca inferior de los ríos Chira y Piura. Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas Metalurgia Y Ciencias Geográficas, 26(51), e25292–e25292. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25292>
- Chow, Ven Te; Maidment, David R. y Mays, Larry W (1998). Hidrología aplicada. Ed. McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- CIIFEN. (2017). Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. Obtenido de Adaptación y mitigación frente al Cambio Climático: https://ciifen.org/?option=com_content&view=category&l
- Creswell, J. W. (2014). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed.). SAGE Publications

- CSR Staff. (2023). El impacto del cambio climático en los eventos climáticos extremos: Lecciones de las recientes inundaciones y sequías. Obtenido de <https://www.csrconsulting.com.mx/2023/05/31/el-impacto-del-cambio-climatico-en-los-eventos-climaticos-extremos-lecciones-de-las-recientes-inundaciones-y-sequias/>
- Flores. (2023). "Impacto del cambio climático en la escorrentía superficial en la cuenca del río Chacco." Unsch.edu.pe; Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5847>
- GCG-UC. (2017). Centro de Cambio Global UC. Comunicación y Recursos. Obtenido de Centro de Cambio Global UC: <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-yrecursos/recursos/glosario>
- Graz, C., y Manrique, N. (2023). Evaluación espacio-temporal de las precipitaciones estimadas por satélite en el Perú. (Tesis, Universidad Mayor de San Marcos). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/19674>
- Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A., & 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.
- IDEAM. (2014). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Participación Ciudadana. Cambio Climático. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacionciudadana/cambio-climatico>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2023. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5588186/4963255-peru-anuario-de-estadisticas-ambientales-2023%282%29.pdf?v=1706036917>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Glosario de términos. En Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial. Matthews J.B.R. ed. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf
- IPCC (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F.,D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Kerlinger, F. N. (1986). Foundations of behavioral research (3rd ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- Lema, F. (2021). Análisis del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos de cuencas en régimen natural ubicadas en la zona alta del río Mataquito: comparación entre los escenarios RCP 8.5 y RCP 4.5. *Uchile.cl*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181333>
- Llontop-Silva, M., y Correa-Chilón, D. (2023). Variabilidad estacional en la cuenca Chancay-Lambayeque: desafíos y oportunidades en la gestión de los recursos hídricos. *South Sustainability*, 4(2). <https://doi.org/10.21142/SS-0402-2023-e087>
- López, J. (2017). Diseño de un UAV para gestión de recursos hídricos. (Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla). Obtenido de

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/70791/TFM%20Juan%20Diego%20L%c3%b3pez%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lozano, D. (2014). Eventos climáticos extremos de precipitación y sus efectos en la migración interna en Guatemala. (Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Obtenido de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5118>

Lozano, J. (2018). Recursos hídricos. Disponibilidad, variabilidad y gestión. Revista de geografía Norte Grande (71), 5-8. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022018000300005>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Mantaro. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Obtenido de https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/5592/ANA0004141_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moretto, B., Cano, O., y Gentili, J. (2024). Análisis de la gestión de riesgos asociados a extremos hídricos en dos cuencas hidrográficas del suroeste bonaerense (Rep. Argentina). Conicet.gov.ar. <http://hdl.handle.net/11336/240176>

Municipalidad Distrital de Vinchos. (2017). Construcción del sistema de riego laguna Ustunaccocha - Ccasanccay en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga-Ayacucho: Memoria descriptiva. Ana.gob.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/5333>

Musy, A (2001). Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capítulo 1, 2, 3, 4 y 5.

Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, 1-27. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Observatorio Ceplan. (2020). Aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos. Obtenido de <https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/t57>

- Ponte, L. (2023). EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN - WES PERÚ. WES PERÚ - Consultora Ambiental.
- Sánchez, A. (2021). Gestión integrada de recursos hídricos en la Pampa de Concón. El caso de la Asociación Agropecuaria Las Planicies de Cañete, 2021. Ucv.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85289>
- Senamhi. (2016). CICLOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN EN EL PERÚ UTILIZANDO INFORMACIÓN SATELITAL. Ministerio del Ambiente.
- Sosa, F. (2020). Los impactos del cambio climático en la gestión del agua en la Ciudad de México: La urgencia del fortalecimiento de las capacidades de adaptación. Argumentos Estudios críticos De La Sociedad, 1(92), 81–102. <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/202092-04>
- Vasquez Villanueva, A. (2000). Manejo de cuencas altoandinas (1a. ed.). LIMA: escuela superior de administración de aguas "Charles Sutton".

ANEXOS

ANEXO N°1: Matriz de consistencia

“IMPACTO DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA LAGUNA USTUNACCOCHA, DISTRITO DE VINCHOS, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodologías
General	General	General	Variable Independiente	
¿Cuál es el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunacocha, ubicada en el distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho?	Evaluar el impacto de los eventos climáticos extremos en la gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunacocha, en el distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho.	La gestión de los recursos hídricos de la laguna Ustunacocha, en el distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho, se ve directamente influenciada por los eventos climáticos extremos, generando variaciones en la disponibilidad y la eficiencia de gestión del agua que desafían la sostenibilidad del manejo hídrico en la región.	Eventos climáticos extremos Dimensiones Frecuencia de los Eventos Intensidad de los Eventos Distribución Temporal	1. TIPO DE INVESTIGACIÓN En este caso, el presente estudio corresponde a una investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo. 2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN El nivel de investigación es correlacional, explicativa, predictiva
Específicos	Específicos	Específicos	Variable Dependiente	4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN El diseño de la presente investigación es de tipo no experimental.
¿Cómo afecta la frecuencia de los eventos climáticos extremos a la variación del volumen de agua en la laguna Ustunacocha?	Cuantificar como la frecuencia de eventos climáticos extremos afectan la variación del volumen de agua en la laguna Ustunacocha.	La frecuencia de los eventos climáticos extremos causa variaciones significativas en el volumen de agua de la laguna Ustunacocha.	Gestión de recursos hídricos en la laguna Ustunacocha. Dimensiones:	4. POBLACION La población de esta investigación es la laguna Ustunacocha del distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, Ayacucho.
¿De qué manera influye la distribución temporal de los eventos climáticos extremos en la eficiencia de la gestión hídrica en la laguna Ustunacocha?	Determinar la influencia de la distribución temporal de los eventos climáticos extremos sobre la eficiencia de la gestión hídrica en la laguna Ustunacocha.	La distribución temporal de los eventos climáticos extremos disminuye la eficiencia de la gestión hídrica en la laguna Ustunacocha.	Disponibilidad de Agua Eficiencia de Gestión	5. MUESTRA

<p>¿Cuál es la relación entre la intensidad de los eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha?</p>	<p>Evaluar la relación entre la intensidad de los eventos climáticos extremos y la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha.</p>	<p>Existe una relación en la que la mayor intensidad de los eventos climáticos extremos reduce la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna Ustunaccocha.</p>		<p>La muestra ha sido definida mediante un muestro no probabilístico de tipo intencional, seleccionando a dicha laguna por sus características representativas, disponibilidad de datos históricos, accesibilidad y relevancia socioambiental en la zona, por ello esta investigación se centrará exclusivamente en la laguna Ustunaccocha, seleccionada por ser representativa de los impactos de los eventos climáticos extremos en la gestión de recursos hídricos en el distrito de Vinchos.</p> <p>6. TECNICAS Análisis documental</p> <p>7. INSTRUMENTOS Registro</p>
--	---	--	--	---

Nota. Elaboración propia

ANEXO N°3: Código de la frecuencia de eventos climáticos extremos afectan la variación del volumen de agua

```
% Análisis de la frecuencia de eventos climáticos extremos y su  
relación  
% con la variación del volumen de agua en la laguna Ustunacocha  
  
% === Datos mensuales aproximados ===  
precipitacion_mm = [160, 140, 180, 120, 60, 20, 10, 10, 20, 40, 80,  
130]; % estimado  
evaporacion_mm = [51, 52.8, 64.3, 61.5, 74.4, 66.1, 66.6, 70.3, 87.8,  
104.8, 100.3, 96];  
escurrimiento_m3 = [858641.47, 1014177.02, 726542.78, 703105.92,  
462345.41, 319593.6, ...  
264197.38, 217968.19, 210936.96, 264197.38,  
319593.6, 528394.75];  
  
meses =  
{'Ene', 'Feb', 'Mar', 'Abr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Ago', 'Sep', 'Oct', 'Nov',  
'Dic'};  
  
% === Paso 1: Definir umbrales de eventos extremos ===  
umbral_lluvia = 130; % mm/mes  
eventos_lluvia_extrema = precipitacion_mm > umbral_lluvia;  
eventos_sequia = evaporacion_mm > precipitacion_mm;  
  
% === Paso 2: Calcular frecuencias ===  
frecuencia_lluvias = sum(eventos_lluvia_extrema);  
frecuencia_sequias = sum(eventos_sequia);  
  
fprintf('Frecuencia de lluvias extremas: %d meses\n',  
frecuencia_lluvias);  
fprintf('Frecuencia de sequías: %d meses\n', frecuencia_sequias);  
  
% === Paso 3: Visualización de serie doble (bar + line) ===  
figure;  
yyaxis left  
bar(escurrimiento_m3/1000, 'FaceColor', [0.4 0.6 0.8])  
ylabel('Volumen estimado (mil m³)')  
  
yyaxis right  
plot(precipitacion_mm, '-o', 'Color', [0.2 0.4 0.2], 'LineWidth',  
1.5)  
hold on  
plot(evaporacion_mm, '--s', 'Color', [0.8 0.4 0.4], 'LineWidth', 1.5)  
ylabel('Precipitación / Evaporación (mm)')  
  
title('Relación entre eventos extremos y volumen mensual - Laguna  
Ustunacocha')  
xticks(1:12)  
xticklabels(meses)  
legend('Volumen (mil m³)', 'Precipitación', 'Evaporación',  
'Location', 'northwest')  
grid on
```

```

% === Paso 4: Scatter plot Precipitación vs Volumen ===
figure;
scatter(precipitacion_mm, escurrimiento_m3/1000, 60, 'filled')
xlabel('Precipitación mensual (mm)')
ylabel('Volumen estimado (mil m³)')
title('Relación entre precipitación y volumen mensual estimado')
grid on

% === Paso 5: Mapa de calor hipotético volumen vs. precipitación
umbral ===
precip_range = 100:10:250; % Umbrales de precipitación en mm
meses_idx = 1:12;
Z = rand(length(precip_range), length(meses_idx)) * 1e6; % Simulado

figure;
imagesc(meses_idx, precip_range, Z)
xlabel('Mes')
ylabel('Precipitación simulada (mm)')
title('Mapa de calor - Volumen estimado vs. Precipitación')
colorbar
colormap jet
xticks(1:12)
xticklabels(meses)

% === Paso 6: Variaciones de umbrales de lluvia extrema ===
umbrales = [100, 120, 130, 150];
figure;
tiledlayout(2,2)
for i = 1:length(umbrales)
    nexttile
    extremos = precipitacion_mm > umbrales(i);
    colores = repmat([0.5 0.8 1], 12, 1); % celeste por defecto
    for j = 1:12
        if extremos(j)
            colores(j,:) = [1 0.2 0.2]; % rojo si supera umbral
        end
    end
    bar(1:12, precipitacion_mm, 'FaceColor', 'flat', 'CData',
colores, 'EdgeColor','k')
    hold on
    yline(umbrales(i), '--k', ['Umbral = ', num2str(umbrales(i)), '
mm'])
    title(['Umbral: ', num2str(umbrales(i)), ' mm'])
    xticks(1:12)
    xticklabels(meses)
    ylabel('Precipitación (mm)')
    grid on
end
sgtitle('Variación de eventos extremos según umbral de
precipitación')

```

```

% Análisis de la frecuencia de eventos climáticos extremos y su
relación
% con la variación del volumen de agua en la laguna Ustunacocha

% === Datos mensuales aproximados ===
precipitacion_mm = [160, 140, 180, 120, 60, 20, 10, 10, 20, 40, 80,
130]; % estimado
evaporacion_mm = [51, 52.8, 64.3, 61.5, 74.4, 66.1, 66.6, 70.3, 87.8,
104.8, 100.3, 96];
escurrimiento_m3 = [858641.47, 1014177.02, 726542.78, 703105.92,
462345.41, 319593.6, ...
264197.38, 217968.19, 210936.96, 264197.38,
319593.6, 528394.75];

meses =
{'Ene', 'Feb', 'Mar', 'Abr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Ago', 'Sep', 'Oct', 'Nov',
'Dic'};

% === Paso 1: Definir umbrales de eventos extremos ===
umbral_lluvia = 130; % mm/mes
eventos_lluvia_extrema = precipitacion_mm > umbral_lluvia;
eventos_sequia = evaporacion_mm > precipitacion_mm;

% === Paso 2: Calcular frecuencias ===
frecuencia_lluvias = sum(eventos_lluvia_extrema);
frecuencia_sequias = sum(eventos_sequia);

fprintf('Frecuencia de lluvias extremas: %d meses\n',
frecuencia_lluvias);
fprintf('Frecuencia de sequías: %d meses\n', frecuencia_sequias);

% === Paso 3: Visualización de serie doble (bar + line) ===
figure;
yyaxis left
bar(escurrimiento_m3/1000, 'FaceColor', [0.4 0.6 0.8])
ylabel('Volumen estimado (mil m³)')

yyaxis right
plot(precipitacion_mm, '-o', 'Color', [0.2 0.4 0.2], 'LineWidth',
1.5)
hold on
plot(evaporacion_mm, '--s', 'Color', [0.8 0.4 0.4], 'LineWidth', 1.5)
ylabel('Precipitación / Evaporación (mm)')

title('Relación entre eventos extremos y volumen mensual - Laguna
Ustunacocha')
xticks(1:12)
xticklabels(meses)
legend('Volumen (mil m³)', 'Precipitación', 'Evaporación',
'Location', 'northwest')
grid on

% === Paso 4: Scatter plot Precipitación vs Volumen ===
figure;
scatter(precipitacion_mm, escurrimiento_m3/1000, 60, 'filled')
xlabel('Precipitación mensual (mm)')

```

```

ylabel('Volumen estimado (mil m³)')
title('Relación entre precipitación y volumen mensual estimado')
grid on

% === Paso 5: Mapa de calor hipotético volumen vs. precipitación
umbrales ===
precip_range = 100:10:250; % Umbrales de precipitación en mm
meses_idx = 1:12;
Z = rand(length(precip_range), length(meses_idx)) * 1e6; % Simulado

figure;
imagesc(meses_idx, precip_range, Z)
xlabel('Mes')
ylabel('Precipitación simulada (mm)')
title('Mapa de calor - Volumen estimado vs. Precipitación')
colorbar
colormap jet
xticks(1:12)
xticklabels(meses)

% === Paso 6: Variaciones de umbrales de lluvia extrema ===
umbrales = [100, 120, 130, 150];
figure;
tiledlayout(2,2)
for i = 1:length(umbrales)
    nexttile
    extremos = precipitacion_mm > umbrales(i);
    colores = repmat([0.5 0.8 1], 12, 1); % celeste por defecto
    for j = 1:12
        if extremos(j)
            colores(j,:) = [1 0.2 0.2]; % rojo si supera umbral
        end
    end
    bar(1:12, precipitacion_mm, 'FaceColor', 'flat', 'CData',
colores, 'EdgeColor','k')
    hold on
    yline(umbrales(i), '--k', ['Umbral = ', num2str(umbrales(i)), '
mm'])
    title(['Umbral: ', num2str(umbrales(i)), ' mm'])
    xticks(1:12)
    xticklabels(meses)
    ylabel('Precipitación (mm)')
    grid on
end
sgtitle('Variación de eventos extremos según umbral de
precipitación')

```

ANEXO N°4: Código de la evaluación de la influencia de la distribución temporal de eventos extremos

```
% === Datos mensuales de precipitación, evaporación y volumen estimado ===
precipitacion_mm = [160, 140, 180, 120, 60, 20, 10, 10, 20, 40, 80, 130];
evaporacion_mm = [51, 52.8, 64.3, 61.5, 74.4, 66.1, 66.6, 70.3, 87.8, 104.8, 100.3, 96];
volumen_m3 = [858641.47, 1014177.02, 726542.78, 703105.92, 462345.41, 319593.6, ...
              264197.38, 217968.19, 210936.96, 264197.38, 319593.6, 528394.75];
meses = {'Ene', 'Feb', 'Mar', 'Abr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Ago', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dic'};

% === Paso 1: Cálculo del balance hídrico mensual simple ===
% Balance = Precipitación - Evaporación
balance_mm = precipitacion_mm - evaporacion_mm;

% Clasificación de eficiencia hídrica (alta, media, baja) según balance
eficiencia = strings(1,12);
for i = 1:12
    if balance_mm(i) > 50
        eficiencia(i) = "Alta";
    elseif balance_mm(i) > 0
        eficiencia(i) = "Media";
    else
        eficiencia(i) = "Baja";
    end
end

% === Paso 2: Visualización de eficiencia hídrica por mes ===
figure;
gscatter(1:12, balance_mm, eficiencia, 'gkm', 'osd', 8)
xlabel('Mes')
xticks(1:12)
xticklabels(meses)
ylabel('Balance hídrico (mm)')
title('Distribución mensual de eficiencia hídrica - Laguna Ustunaccocha')
legend('Alta', 'Media', 'Baja', 'Location', 'south')
grid on

% === Paso 3: Análisis comparativo con volumen mensual ===
figure;
bar(categorical(meses), volumen_m3/1000, 'FaceColor', [0.5 0.7 1])
hold on
yline(mean(volumen_m3/1000), '--r', 'Promedio')
title('Volumen mensual vs. distribución temporal de eficiencia')
ylabel('Volumen estimado (mil m³)')
xlabel('Mes')
grid on
```

ANEXO N°5: Código de la evaluación de la influencia de la distribución temporal de eventos extremos

```
% Evaluación de la relación entre la intensidad de eventos climáticos
extremos
% y la capacidad de gestión de los recursos hídricos en la laguna
Ustunaccocha

% === Datos base (mensuales) ===
precipitacion_mm = [160, 140, 180, 120, 60, 20, 10, 10, 20, 40, 80,
130];
evaporacion_mm = [51, 52.8, 64.3, 61.5, 74.4, 66.1, 66.6, 70.3, 87.8,
104.8, 100.3, 96];
escurrimiento_lps = [320.58, 419.22, 271.26, 271.26, 172.62, 123.3,
98.64, ...
                    81.38, 81.38, 98.64, 123.3, 197.28];

% === Cálculo de intensidad del evento (precipitación - evaporación)
===
intensidad_evento = precipitacion_mm - evaporacion_mm;

% === Conversión de escurrimiento a volumen mensual (m³) ===
volumen_oferta_m3 = escurrimiento_lps * 2592;

% === Demanda mensual agrícola estimada (proyecto Ustunaccocha) ===
demanda_m3 = [50000, 70000, 60000, 60000, 80000, 90000, 95000, ...
              95000, 90000, 85000, 70000, 60000];

% === Cálculo de capacidad de gestión mensual ===
capacidad_gestion = volumen_oferta_m3 ./ demanda_m3;

% === Identificación de eventos extremos ===
umbral_lluvia = 130;
evento_lluvia_extrema = precipitacion_mm > umbral_lluvia;
evento_sequia = evaporacion_mm > precipitacion_mm;

% === Análisis de correlación ===
R = corrcoef(intensidad_evento, capacidad_gestion);
fprintf('Coeficiente de correlación entre intensidad y capacidad de
gestión: %.3f\n', R(1,2));

% === Visualización de la relación ===
meses =
{'Ene', 'Feb', 'Mar', 'Abr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Ago', 'Sep', 'Oct', 'Nov',
'Dic'};

figure;
scatter(intensidad_evento, capacidad_gestion, 70, 'filled')
xlabel('Intensidad del evento (precipitación - evaporación) [mm]')
ylabel('Capacidad de gestión (oferta/demanda)')
title('Relación entre intensidad de eventos extremos y capacidad
hídrica')
grid on
hold on
```

```

% Añadir símbolos para eventos extremos
for i = 1:12
    if evento_lluvia_extrema(i)
        text(intensidad_evento(i), capacidad_gestion(i)+0.05, '*',
'Color', 'blue', ...
'FontSize', 12, 'HorizontalAlignment', 'center');
    elseif evento_sequia(i)
        text(intensidad_evento(i), capacidad_gestion(i)+0.05, 'x',
'Color', 'red', ...
'FontSize', 12, 'HorizontalAlignment', 'center');
    end
end

% Línea de tendencia
p = polyfit(intensidad_evento, capacidad_gestion, 1);
yfit = polyval(p, intensidad_evento);
plot(intensidad_evento, yfit, '--r', 'LineWidth', 1.5)
legend('Datos', 'Tendencia lineal', 'Location', 'northwest')

% === Impresión detallada por mes con tipo de evento ===
for i = 1:12
    if evento_lluvia_extrema(i)
        tipo_evento = 'Lluvia Extrema';
    elseif evento_sequia(i)
        tipo_evento = 'Sequía';
    else
        tipo_evento = 'Ninguno';
    end

    fprintf('%s | Intensidad: %.1f mm | Capacidad: %.2f | Evento:
%s\n', ...
meses{i}, intensidad_evento(i), capacidad_gestion(i),
tipo_evento);
end

```

ANEXO N°6: Resumen de Datos Climáticos Ustunaccocha

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura Media (°C)	Humedad Relativa (%)	Evaporación (mm)	Velocidad Viento (m/s)
Enero	160	6.75	74.8	51	4
Febrero	140	6.9	69.4	52.8	4
Marzo	180	6.9	75.3	64.3	4
Abril	120	6.75	65.8	61.5	3.8
Mayo	60	5.9	62.5	74.4	4
Junio	20	4.9	54.8	66.1	4
Julio	10	4.65	51.7	66.6	4
Agosto	10	4.9	60.4	70.3	4
Setiembre	20	5.65	63.2	87.8	4.3
Octubre	40	5.9	61	104.8	4
Noviembre	80	6.65	62.4	100.3	4
Diciembre	130	6.9	68.3	96	4

ANEXO N°7: Producción de Cultivos Tradicionales en la Gestión de recurso hídrico. Fuente ANA

Cultivo	Cosecha Has.	Rendimiento TM/Ha.	Producción TM	Precio (S/.)	VBP Miles de S/.	% VBP
Papa	232	7.76	1801	0.33	594.33	32.89
Cebada grano	836	0.92	662	0.5	331	18.32
Maíz Amiláceo	151	0.92	139	1	139	7.69
Haba grano Seco	116	0.88	102	1	102	5.64
Olluco	115	0.8	92	0.88	87.12	4.91
Orégano	54	4	216	0.39	84.24	4.66
Trigo	140	0.89	125	0.42	52.5	2.96
Alfalfa	7	25.71	180	0.31	55.8	3.03
Avena forrajera	20	11.75	235	0.2	47	2.65
Oca	34	3.53	120	0.34	40.8	2.26
Arveja grano	30	1.83	55	0.71	39.05	2.16
Haba grano verde	25	1.76	44	0.63	27.72	1.56
Mashua	27	3	81	0.31	25.11	1.39
Tarwi	13	0.85	11	1.1	12.1	0.68
Quinoa	13	0.85	11	1.46	16	0.89
Cebolla	3	3	9	1.78	1.75	0.1
Calabaza	1	5	5	0.35	1.75	0.1
Totales de la producción agrícola					1773.9	100%

ANEXO N°8: Evidencia fotográfica de la visita a campo











UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 035-2025-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL No 254-2025-FIMGC-D**, a los **cuatro días del mes de septiembre de 2025**, siendo las **10:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Civil**, bajo la presidencia del **Ing. Angel Hugo Vilchez Peña**, y los miembros: **Ing. Edward LEON PALACIOS**, **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ** y **Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO**, actuando como secretario docente el **Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller:

AMILCAR TACURI GAMBOA

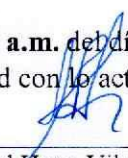
Quien presentó la tesis denominada:

IMPACTO DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA LAGUNA USTUNACCOCHA, DISTRITO DE VINCHOS, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO, 2025

Los señores miembros del jurado, luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:


Aprobado con dieciséis (16)

Siendo las **11:30 a.m.** del día **04 de septiembre de 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad con lo actuado, los miembros del jurado firman al pie del presente.


Ing. Angel Hugo Vilchez Peña
Presidente


Ing. Edward LEON PALACIOS
Miembro


Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Miembro


Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
Miembro - Asesor


Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ
Secretario docente de la FIMGC

FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS Y CIVIL
Av. Independencia S/N
Ciudad Universitaria
Central Tel. 066 312510
Anexo 151



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 022-2025-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : Amilcar TACURI GAMBOA
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : IMPACTO DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS
EXTREMOS EN LA GESTIÓN DE RECURSOS
HÍDRICOS EN LA LAGUNA USTUNACCOCHA,
DISTRITO DE VINCHOS, PROVINCIA DE HUAMANGA
– AYACUCHO, 2025
Evaluación de la Originalidad : 15 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2786570095

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 19 de octubre del 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

IMPACTO DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA LAGUNA USTUNACCOCHA, DISTRITO DE VINCHOS, PROVINCIA DE HUAMANGA – AYACUCHO, 2025

por Amilcar TACURI GAMBOA

Fecha de entrega: 19-oct-2025 11:25p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2786570095

Nombre del archivo: Te_Amilcar_Tacuri_Gamboa.pdf (4.39M)

Total de palabras: 23757

Total de caracteres: 134978

IMPACTO DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA LAGUNA USTUNACCOCHA, DISTRITO DE VINCHOS, PROVINCIA DE HUAMANGA – AYACUCHO, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	idoc.pub Fuente de Internet	2%
3	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	1%

8	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	1 %
9	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad ESAN -- Escuela de Administración de Negocios para Graduados Trabajo del estudiante	<1 %
11	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
13	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
14	public.wmo.int Fuente de Internet	<1 %
15	bancadaperuposible.blogspot.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
17	www.sbn.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

19	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
20	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
21	www.scilit.net Fuente de Internet	<1 %
22	investigacion.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
23	www.fao.org Fuente de Internet	<1 %
24	Aguilar, Milagros del Pilar Angulo. "Percepciones y Acciones Frente al Evento El Niño Costero 2017 en Lunahuaná, Lima", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru), 2024 Publicación	<1 %
25	argumentos.xoc.uam.mx Fuente de Internet	<1 %
26	dokumen.site Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo