UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024

PRESENTADO POR:

Br. TEOBALDO ARTURO TORRES VARGAS

Br. FRANK GUTIERREZ SALAS

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

Mgt. Ing. GORKI FEDERICO ASCUE SALAS

CUSCO - PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** MG. ING. GORKI FEDERICO ASCUE SALAS quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"

Presentado por: TEOBALDO ARTURO TORRES VARGAS DNI N° 76400028;
presentado por: FRANK GUTIERREZ SALAS DNI N°: 77909389
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 05 **%.**

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 25 de SETIEMBRE de 2026

Firma

Post firma MG. ING. GORKI FEDERICO ASCUE SALAS

Nro. de DNI 24484766

ORCID del Asesor 0000-0002-4477-7132

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:629767064

FRANK GUTIERREZ SALAS - TEOBALDO ARTURO T...

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:629767064

Fecha de entrega
25 sep 2026, 9:48 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
25 sep 2026, 9:53 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_CUENCA PIURAY Turnitin.pdf

Tamaño del archivo
14.0 MB

270 páginas

64.634 palabras

329.463 caracteres

5% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

4%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
3%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios por darme fortaleza, sabiduría y perseverancia para superar cada desafío y permitirme alcanzar esta meta. Este logro representa la culminación de una etapa llena de aprendizajes, desafíos y momentos que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional. A mis padres, Nancy Salas Huamanttica y Juan Gutiérrez Avilés, por su amor, apoyo y enseñanzas, por acompañarme a lo largo de mi vida y brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante ante cada dificultad. A mis hermanos, Juan Clinsman y Nays Mildred, por su cariño, comprensión y respaldo, y por acompañarme con confianza y aliento durante este proceso. A mi enamorada, Nidia Rosmery, por su amor, compañía y apoyo incondicional, por estar presente en los momentos difíciles, por sus palabras de aliento y por motivarme a continuar cuando el camino se hizo más complicado. A mi familia, por estar presente de diferentes maneras y compartir conmigo este camino.

Frank Gutierrez Salas

A Dios, por ser mi refugio y guía en todos los momentos, por brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante y la sabiduría para mantenerme firme en el camino hacia mis metas; a mis queridos padres, Eufracio Hancco Torres y Rosa Vargas Huaman, a quienes agradezco por su amor incondicional, sus sacrificios y sus enseñanzas, los cuales han sido fundamentales en mi formación personal y profesional y constituyen la base de todo lo que soy y de todo lo que he logrado; a mis amados hermanos, Rosa Pilar, Liz Malena y Kevin Dario, por su apoyo incesante y sus palabras de ánimo; a mi enamorada, Roxana Contreras, por acompañarme en cada etapa de este recorrido, compartir mis alegrías, celebrar mis logros y brindarme su apoyo en los momentos difíciles; a toda mi familia, cuyo amor y apoyo me han hecho recordar siempre que los sueños se alcanzan con fe, esfuerzo y perseverancia. Finalmente, a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de esta etapa tan importante, les expreso mi más sincero agradecimiento.

Teobaldo Arturo Torres Vargas

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por su formación, sus enseñanzas y su exigencia en términos académicos, que han sido elementos esenciales en nuestra capacitación profesional. Durante la carrera, compartimos varios cursos con ellos y adquirimos valiosos conocimientos y experiencias que, sin lugar a dudas, tendrán un impacto significativo en nuestro futuro desempeño.

Asimismo, manifestamos nuestro reconocimiento sincero al Mg. Ing. Gorki Federico Ascue Salas, asesor de tesis, por su continuo asesoramiento, paciencia y dedicación a lo largo de todo el proceso de creación de este trabajo.

Al Dr. Ing. Edwin Astete Samanez, por su ayuda inestimable, guía y disponibilidad de tiempo durante la realización de esta tesis. Sus observaciones, sugerencias y comentarios, junto con su vasta experiencia y conocimientos, han contribuido en gran medida a mejorar la calidad de esta investigación.

De manera especial, agradecemos al Ing. Carlos Loaiza Shiaffino por su apoyo incondicional, disposición permanente y valiosos aportes técnicos, los cuales fueron de gran importancia durante el desarrollo de la presente tesis.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a las instituciones que facilitaron la información necesaria para el desarrollo de la investigación: al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) por los datos climáticos; a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) por la información hidrológica y técnico-administrativa; y a SEDACUSCO S.A., por los datos operacionales de la cuenca Piuray. Su colaboración hizo posible el análisis y la construcción de los resultados aquí presentados.

RESUMEN

La investigación titulada “Impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray, 2024” tuvo como objetivo determinar el grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento durante el período completo 2000-2024. La metodología comprendió el análisis de información climática PISCO, la modelación hidrológica mediante ArcSWAT, calibrado y validado con SWAT-CUP, la estimación del volumen mediante balance hídrico e información batimétrica de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el análisis de correlación y la evaluación de proyecciones CMIP6 bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Los resultados evidenciaron variabilidad interanual de la precipitación, con valores entre 641.87 y 1024.81 mm y un promedio de 825.76 mm. La temperatura media anual registró además un incremento de 0.13 °C. El volumen de almacenamiento osciló entre 55.97 y 81.30 Mm^3, con un promedio de 70.97 Mm^3 y una ganancia neta de 10.96 Mm^3. La precipitación presentó una fuerte relación con la variación del almacenamiento ($R^2 = 0.8529$; $r = 0.9235$), mientras que la temperatura mostró una relación menor ($R^2 = 0.2441$; $r = 0.49$).

Las proyecciones indican incrementos de precipitación de hasta 7.64 % y 14.38 %, y aumentos de temperatura de hasta 2.49 °C y 4.93 °C bajo SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. Se concluye que el cambio climático influye en la dinámica de almacenamiento de la laguna Piuray, siendo la precipitación el principal factor climático asociado a la disponibilidad hídrica.

Palabras clave: Cambio climático, Laguna Piuray, Volumen de almacenamiento, Balance hídrico, ArcSWAT.

ABSTRACT

The research entitled “Impact of Climate Change on the Storage Volume of Piuray Lagoon, 2024” aimed to determine the degree of impact of climate change on storage volume during the complete period from 2000 to 2024. The methodology included the analysis of PISCO climate data, hydrological modeling using ArcSWAT, calibrated and validated with SWAT-CUP, the estimation of storage volume through water balance and bathymetric information provided by the National Water Authority (ANA), correlation analysis, and the evaluation of CMIP6 projections under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios.

The results evidenced interannual variability in precipitation, with values ranging from 641.87 to 1024.81 mm and an average of 825.76 mm. The annual mean temperature also showed an increase of 0.13 °C. Storage volume ranged from 55.97 to 81.30 Mm^3, with an average of 70.97 Mm^3 and a net gain of 10.96 Mm^3. Precipitation showed a strong relationship with storage variation ($R^2 = 0.8529$; $r = 0.9235$), whereas temperature showed a weaker relationship ($R^2 = 0.2441$; $r = 0.49$).

The projections indicate increases in precipitation of up to 7.64% and 14.38%, and increases in temperature of up to 2.49 °C and 4.93 °C under SSP2-4.5 and SSP5-8.5, respectively. It is concluded that climate change influences the storage dynamics of Piuray Lagoon, with precipitation being the main climatic factor associated with water availability.

Keywords: Climate change, Piuray Lagoon, Storage volume, Water balance, ArcSWAT.

INDICE GENERAL

RESUMEN III

ABSTRACT IV

INDICE GENERAL V

INDICE DE TABLAS: IX

INDICE DE FIGURAS: XIII

INDICE DE ANEXOS XXI

INDICE DE PLANOS XXV

CAPITULO 1: INTRODUCCION 1

1.1. Planteamiento del problema 2

1.2. Formulación del problema 3

1.2.1. Problema General: 3

1.2.2. Problemas Específicos: 3

1.3. Justificación de la investigación 3

1.3.1. Justificación por Conveniencia 3

1.3.2. Justificación por Relevancia social 3

1.3.3. Justificación por Implicancias practicas 4

1.3.4. Justificación por Valor teórico 4

1.3.5. Justificación por Utilidad metodológica 5

1.4. Objetivo de la investigación 5

1.4.1. Objetivos generales: 5

1.4.2. Objetivos específicos: 5

1.5. Delimitación de estudio 5

1.5.1. Delimitación espacial 5

1.5.2. Delimitación temporal 7

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO 8

2.1. Antecedentes de estudio....8
2.1.1. Antecedentes internacionales....8
2.1.2. Antecedente nacional:....11
2.1.3. Antecedente local:....14
2.2. Bases teóricas:....16
2.2.1. Cambio climático y variabilidad en el sistema climático....16
2.2.2. Volumen de almacenamiento....20
2.2.3. Cuenca hidrográfica....21
2.2.4. Teledetección e información geoespacial....35
2.2.5. Información Meteorológica....40
2.2.6. Modelo Hidrológico....43
2.3. Hipótesis....55
2.3.1. Hipótesis general....55
2.3.2. Hipótesis especificas....55
2.4. Variables....56
2.4.1. Identificación de variables....56
2.4.2. Operacionalización de variables....57
2.5. Definición de términos básicos....58
CAPITULO 3: METODOLOGÍA....64
3.1. Alcance de la investigación....64
3.2. Diseño de investigación....64
3.3. Población....65
3.4. Muestra....65
3.4.1. Tipo de muestreo....65
3.4.2. Criterios de selección de muestra....65
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos....66

3.5.1. Técnica 66
3.5.2. Instrumento 66
3.5.3. Recolección, control de calidad y reprocesamiento de datos meteorológicos 68
3.5.4. Regionalización de datos históricos para la cuenca Piuray 79
3.5.5. Corrección de sesgo de datos de precipitación y temperatura 82
3.5.6. Información climática y escenarios SSP 84
3.5.7. Evaluación y selección de modelos climáticos por escenario 87
3.5.8. Información hidrometeorológica 97
3.5.9. Información cartográfica y satelital 97
3.5.10. Información batimétrica y niveles de espejo de agua 102
3.5.11. Caracterización geológica de la cuenca Piuray 109
3.5.12. Caracterización hidrogeología de la cuenca 111
3.5.13. Procesamiento y selección de MDE 115
3.5.14. Procesamiento de datos pisco en R 120
3.5.15. Inventario y caracterización de manantiales de la cuenca Piuray 123
3.5.16. Serie histórica de caudales de referencia 125
3.5.17. Simulación hidrológica en ArcSWAT 127
3.5.18. Balance Hídrico en la Cuenca 148
3.5.19. Volumen de almacenamiento de la laguna Piuray 160
3.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos 161
3.6.1. Validez de los instrumentos 162
3.6.2. Confiabilidad de los instrumentos 162
3.7. Plan de análisis de datos 163
CAPÍTULO 4: RESULTADOS 166
4.1. Parámetros de la cuenca 166

4.1.1. Generalidades 166
4.1.2. Determinación de los parámetros fisiográficos 166
4.1.3. Determinación de los Parámetros geomorfológicos 167
4.1.4. Determinación de los parámetros de Drenaje 171
4.1.5. Resumen de los parámetros de la cuenca de estudio 173
4.2. Resultados del análisis hidrometeorológico e hidrológico 174
4.2.1. Resultados del análisis de la precipitación histórica (1981-2024) 174
4.2.2. Análisis de la temperatura máxima y mínima (1981-2024) 198
4.2.3. Resultados de la simulación con el modelo SWAT 209
4.2.4. Resultados del balance hídrico 224
4.2.5. Influencia de la precipitación y la temperatura en la variación del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray (2000-2024) 237
4.2.6. Evaluación del desempeño y selección de modelos climáticos globales (GCM) 239
4.3. Resultados de simulación bajo escenarios de cambio climático 244
4.3.1. Análisis de las proyecciones climáticas regionalizadas 244
4.3.2. Proyección de precipitación, temperatura media y caudal. 249
4.3.3. Tendencia de la precipitación anual 254
4.3.4. Tendencia de la temperatura media anual 255
4.3.5. Tendencia de caudal media anual 256
CAPÍTULO 5: DISCUSIONES 257
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES 260
CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES 263
CAPÍTULO 8: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 264
ANEXOS 270

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1 *Valores interpretativos del factor de forma de una cuenca*.....26

Tabla 2 *Clasificación de una cuenca de acuerdo a su índice de compacidad*.....27

Tabla 3 *Clasificación de la densidad de drenaje*.....33

Tabla 4 *Principales insumos de información geoespacial y su aplicación en la modelación hidrológica*.....37

Tabla 5 *Indicadores estadísticos de desempeño*.....54

Tabla 6 *Indicadores estadísticos para tener la mejor simulación*.....54

Tabla 7 *Operacionalización De Variables*.....57

Tabla 8 *Ubicación de las Estaciones Meteorológicas*.....69

Tabla 9 *Ubicación de las Estaciones Meteorológicas de Temperatura*.....80

Tabla 10 *Coordenadas de un punto tomada como estación de la cuenca de estudio*.....82

Tabla 11 *Coordenadas UTM y geográficas de las estaciones cercanas a la cuenca*.....82

Tabla 12 *Modelos climáticos globales (GCM) seleccionados del CMIP6 - Fuente: Copernicus Climate Data Store (CDS)*.....87

Tabla 13 *Desempeño final del modelo en la fase de validación*.....96

Tabla 14 *Características físicas de la laguna Piuray*.....104

Tabla 15 *Resultados de la Batimetría de la Laguna Piuray*.....105

Tabla 16 *Registros históricos mensuales del nivel del espejo de agua de la laguna Piuray (m)*.....108

Tabla 17 *Cotas mensuales del nivel del espejo de agua de la laguna Piuray (m.s.n.m.)*.....108

Tabla 18 *Columna estratigráfica de la cuenca Piuray*.....111

Tabla 19 *Clasificación hidrogeológica de las principales unidades geológicas de la cuenca Piuray*.....112

Tabla 20 *Comparación del nivel de espejo de agua de los MDE con el resultado del estudio batimétrico*.....119

Tabla 21 *Parte 01- Inventario de manantiales existentes en uso* 123

Tabla 22 *Parte 02- Inventario de manantiales existentes en uso* 124

Tabla 23 *Caudales de referencia* 126

Tabla 24 *Información de entrada del modelo SWAT para la cuenca Piuray* 128

Tabla 25 *Información climática de entrada del modelo SWAT* 129

Tabla 26 *Tabla de equivalencias de cobertura vegetal* 131

Tabla 27 *Equivalencias entre las unidades de suelo ZEE y su correspondencia FAO* 132

Tabla 28 *Tabla de periodo de simulación*.....142

Tabla 29 *Configuración de los periodos para la calibración y validación del modelo hidrológico.*.....144

Tabla 30 *Parámetros de calibración* 145

Tabla 31 *Parámetros de flujo superficial* 150

Tabla 32 *Parámetros de perfil del suelo*.....153

Tabla 33 *Parámetros de flujo subterráneo* 153

Tabla 34 *Data de demanda de agua extraída de la laguna por SEDACUSCO 2000 - 2012.* 156

Tabla 35 *Demanda de agua extraída de la laguna por SEDACUSCO 2013 - 2024.* 156

Tabla 36 *Demanda con fines de uso pecuario en la cuenca Piuray.* 156

Tabla 37 *Demanda poblacional de comunidades de la cuenca Piuray*.....157

Tabla 38 *Demanda agrícola en comunidades de la cuenca Piuray* 157

Tabla 39 *Demanda agrícola en comunidades de la cuenca Piuray* 158

Tabla 40 *Cuadro de características de áreas entre curvas de nivel*.....168

Tabla 41 *Parámetros de drenaje de la red hidrográfica - Cuenca Piuray*.....171

Tabla 42 *Parámetros morfológicos de la cuenca Piuray* 173

Tabla 43 *Ubicación de las Estaciones Meteorológicas - Precipitación*.....174

Tabla 44 *Resumen Estadístico para Precipitación de cada estación obtenido de Statgraphics Centurion V 18*.....175

Tabla 45 *Síntesis del análisis estadístico de precipitación obtenido de Statgraphics Centurion V 18*.....187

Tabla 46 *Ubicación de las Estaciones Meteorológicas - Temperatura*.....199

Tabla 47 *Coordenadas de un punto tomada como estación de la cuenca de estudio*.....204

Tabla 48 *Coordenadas UTM y geográficas de las estaciones cercanas a la cuenca*.....204

Tabla 49 *Datos de Temperatura media mensual estimados para la estación de la cuenca Piuray (1981-2024) mediante interpolación por NWS a partir de 7 estaciones meteorológicas circundantes*.....205

Tabla 50 *Cobertura vegetal en la cuenca Piuray*.....210

Tabla 51 *Tipos de suelo en la cuenca Piuray*.....211

Tabla 52 *Distribución de pendientes en la cuenca Piuray*.....212

Tabla 53 *Desempeño del modelo SWAT en cada etapa de calibración*.....218

Tabla 54 *Parámetros óptimos obtenidos en la calibración*.....219

Tabla 55 *Comparación de indicadores estadísticos entre calibración y validación*.....223

Tabla 56 *Caudal de aporte hidrológico de la cuenca a la laguna Piuray - oferta hídrica*..225

Tabla 57 *Datos de balance hídrico total en la cuenca Piuray en m3/s 2000-2024*.....227

Tabla 58 *Datos de balance hídrico total en la cuenca Piuray en MMC 2000-2024*.....228

Tabla 59 *Resumen balance hídrico superficial en MMC*.....229

Tabla 60 *Resumen balance hídrico subterráneo en MMC*.....229

Tabla 61 *Resumen balance hídrico total en MMC*.....230

Tabla 62 *Balance hídrico en la cuenca Piuray en m3/s 1990-2022*.....231

Tabla 63 *Modelos Climáticos Globales (GCM) seleccionados - CMIP6 (Copernicus, escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5)*.....240

Tabla 64 *Indicadores de desempeño (PBIAS, RMSE y R) de los modelos climáticos escenario SSP2-4.5*.....242

Tabla 65 *Indicadores de desempeño (PBIAS, RMSE y R) de los modelos climáticos escenario SSP5-8.5*.....242

Tabla 66 *Modelos climáticos seleccionados para el análisis de proyecciones regionalizadas*.....244

Tabla 67 *Variación proyectada de la precipitación acumulada bajo el escenario SSP2-4.5*.....249

Tabla 68 *Variación proyectada de la temperatura media bajo el escenario SSP2-4.5*.....250

Tabla 69 *Variación proyectada de caudal medio bajo el escenario SSP2-4.5*.....250

Tabla 70 *Proyeccion caudal medio mensual bajo escenario SSP2-4.5*.....251

Tabla 71 *Variación proyectada de la precipitación acumulada bajo el escenario SSP5-8.5*.....252

Tabla 72 *Variación proyectada de la temperatura media bajo el escenario SSP5-8.5*.....252

Tabla 73 *Variación proyectada de caudal medio bajo el escenario SSP5-8.5*.....253

Tabla 74 *Proyección caudal medio mensual bajo escenario SSP2-4.5*.....253

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1 *Ubicación geográfica de la laguna Piuray* 6

Figura 2 *Fases del CMIP - Proyecto de intercomparación de modelos acoplados* 18

Figura 3 *Morfología de cuenca hidrográfica* 22

Figura 4 *Curva hipsométrica de una cuenca* 27

Figura 5 *Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca*.....28

Figura 6 *Diagrama de frecuencias aritméticas de una cuenca* 29

Figura 7 *Transformación de una cuenca en un rectángulo equivalente*.....31

Figura 8 *Numero de orden de causes de Horton* 32

Figura 9 *Esquema de funcionamiento de la teledetección.*.....36

Figura 10 *Representación del relieve mediante un modelo digital de elevación.* 37

Figura 11 *Distribución mundial de los principales grupos de suelos según la clasificación WRB* 38

Figura 12 *Representación satelital de las características de la superficie terrestre en América del Sur*.....39

Figura 13 *Mapa de Data de PISCO V2.1* 42

Figura 14 *Ciclo Hidrologico - ArcSwat*.....44

Figura 15 *Cobertura de las áreas agrícolas en la cuenca de estudio* 47

Figura 16 *Áreas con cobertura vegetal escasa o ausente en la cuenca de estudio con poca vegetación* 48

Figura 17 *Cobertura vegetal en la zona de estudio* 49

Figura 18 *Cuerpo acuático superficial de la laguna Piuray* 50

Figura 19 *Curva de calibración del caudal de salida (FLOW_OUT_8) en SWAT-CUP*.....53

Figura 20 *Flujograma para el tratamiento de datos hidrometeorológicos*.....69

Figura 21 *Diagrama de distancias desde la cuenca Piuray* 81

Figura 22 *Interfaz de la plataforma de Copernicus*.....85

Figura 23 *Interfaz de la plataforma de descarga de COPERNICUS* 86

Figura 24 *Cambios proyectados en temperatura y precipitación globales* 89

Figura 25 *Interfaz del software CMhyd* 92

Figura 26 *Diagrama de Taylor de precipitación mensual (escenario SSP2-4.5).*.....93

Figura 27 *Diagrama de Taylor de temperatura máxima mensual (escenario SSP2-4.5).*.....94

Figura 28 *Diagrama de Taylor de temperatura mínima mensual (escenario SSP2-4.5).* 94

Figura 29 *Diagrama de Taylor de precipitación mensual (escenario SSP5-8.5).*.....95

Figura 30 *Diagrama de Taylor de temperatura máxima mensual (escenario SSP5-8.5).*.....95

Figura 31 *Diagrama de Taylor de temperatura mínima mensual (escenario SSP5-8.5).* 96

Figura 32 *Modelo digital de elevación del Perú*.....98

Figura 33 *Mapa digital de suelos del mundo*.....99

Figura 34 *Mapa digital de suelos de cusco - ZEE* 99

Figura 35 *Descarga de uso de cobertura vegetal GlobeLand30* 100

Figura 36 *Modelo conceptual de generación de valores de curva número*.....101

Figura 37 *Mapa de curva número para condiciones normales* 101

Figura 38 *Morfología de la laguna Piuray*.....103

Figura 39 *Relieve y Morfología de la laguna Piuray* 103

Figura 40 *Curva de área vs volumen de la laguna Piuray* 106

Figura 41 Mapa geológico simplificado de la cuenca Piuray.....110

Figura 42 Mapa hidrogeológico simplificado de la cuenca Piuray. 113

Figura 43 Perfiles geológico-hidrogeológicos interpretativos.....114

Figura 44 *Delimitación de la zona de estudio* 115

Figura 45 *Descarga de modelos digitales de elevación (MDE)* 116

Figura 46 *Mosaicos generados a partir de modelos digitales de elevación (MDE)* 118

Figura 47 *Recorte de datos Pisco en el área de área de estudio*.....121

Figura 48 *Recorte de datos Pisco en el área de área de estudio*.....121

Figura 49 *Extracción de datos pisco para las estaciones virtuales*.....122

Figura 50 *Datos de precipitación-PISCO exportados*.....123

Figura 51 *Datos de temperatura PISCO exportados*.....123

Figura 52 *Modelo digital de elevación Copernicus*.....130

Figura 53 *Cobertura vegetal clasificada en la zona de estudio* 131

Figura 54 *Tipo de suelos FAO para la cuenca Piuray* 133

Figura 55 *Tipo de suelos ZEE del Cusco para la cuenca Piuray*.....133

Figura 56 *Procedimiento para la definición de HRUs en ArcSWAT*.....135

Figura 57 *Asignación de MDE*.....136

Figura 58 *Generación automática de la red de drenaje y subcuencas*.....136

Figura 59 *Cobertura vegetal clasificada en la zona de estudio* 137

Figura 60 *Tipo de suelo clasificada en la zona de estudio* 137

Figura 61 *Clasificación de pendientes en la zona de estudio*.....138

Figura 62 *Intersección y construcción de HRUs* 138

Figura 63 *Carga de datos climáticos PISCO*.....139

Figura 64 *Distribución espacial de los valores iniciales de Curva Número (CN) en la cuenca Piuray.*.....140

Figura 65 *Selección del algoritmo SUFI-2*.....144

Figura 66 *Configuración de la variable FLOW_OUT y de la función objetivo para la calibración del modelo* 146

Figura 67 *Flujograma de simulación hidrológica en SWAT*.....147

Figura 68 *Procesos del balance hídrico superficial y estimación de la escorrentía en ArcSWAT.*.....149

Figura 69 *Dinámica del balance hídrico subterráneo: Interacción entre el acuífero somero, el acuífero profundo y el flujo base.* 152

Figura 70 *Flujograma metodológico para la determinación del balance hídrico total y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray.* 154

Figura 71 *Representación esquemática del concepto del balance hidrico en el modelo SWAT* 155

Figura 72 Flujograma de trabajo de investigación.....165

Figura 73 *Curva hipsométrica de la cuenca Piuray* 168

Figura 74 *Polígono de frecuencias de altitudes*.....169

Figura 75 *Rectángulo equivalente de la cuenca Piuray* 170

Figura 76 *Mapa de numero de orden de los causes de la cuenca Piuray* 171

Figura 77 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Calca.*.....176

Figura 78 *Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Kayra.*.177

Figura 79 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Perayoc.*.....177

Figura 80 *Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Perayoc.* 178

Figura 81 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Pisac.* 179

Figura 82 *Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Pisac.*..180

Figura 83 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Urubamba.*...181

Figura 84 Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Urubamba. 182

Figura 85 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Ancachuro.*...182

Figura 86 *Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Ancachuro.* 183

Figura 87 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Calca.*.....184

Figura 88 *Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Calca.* .185

Figura 89 *Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Chitapampa.*.185

Figura 90 *Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Chitapampa.* 186

Figura 91 *Histograma de la distribución de la precipitación mensual con datos incompletos - Estación Calca* 189

Figura 92 *Datos de entrada de las 7 estaciones para HEC4* 190

Figura 93 *Histograma de la distribución de la precipitación mensual con datos Completos - Estación Granja Kayra* 191

Figura 94 *Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de la Precipitación Total Mensual en Siete Estaciones Meteorológicas* 192

Figura 95 *Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de la Precipitación Total Mensual de la estación Granja Kayra(base) entre las demás Estaciones Meteorológicas* 193

Figura 96 *Gráfico de la distribución de Precipitación de las siete Estaciones Meteorológicas* 194

Figura 97 *Distribución de la Precipitación promedio total de todas las Estaciones.* 195

Figura 98 *Precipitación media mensual en la cuenca Piuray a partir de las estaciones meteorológicas cercanas (1994-2024)* 196

Figura 99 *Gráfico de dispersión de precipitación observada con PISCO* 197

Figura 100 *Grafico de la precipitación acumulada mensual observada respecto a PISCO* 198

Figura 101 *Histograma de la distribución de la Temperatura Media mensual con datos incompletos - Estación Perayoc* 200

Figura 102 *Histograma de la distribución de la Temperatura Media mensual con datos Completos - Estación Granja Kayra* 201

Figura 103 *Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de la Temperatura mensual de las siete Estaciones Meteorológicas* 202

Figura 104 *Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de Temperatura mensual de la estación Granja Kayra(base) entre las demás Estaciones Meteorológicas*...203

Figura 105 *Temperatura media mensual en la cuenca Piuray (1981-2024) obtenida a partir de estaciones meteorológicas cercanas mediante el método del National Weather Service* 206

Figura 106 *Gráfico de dispersión de temperatura minima y PISCO* 207

Figura 107 *Grafico de la temperatura mínima mensual observada respecto a PISCO*.....208

Figura 108 *Grafico de la temperatura máxima mensual observada respecto a PISCO* 208

Figura 109 *Descargas medias mensuales preliminares del periodo 1990-2011*.....213

Figura 110 *Diagrama de dispersión de la simulación inicial - sin calibración*.....214

Figura 111 *Diagrama de dispersión bajo 500 simulaciones* 214

Figura 112 *Diagrama de dispersión bajo 750 simulaciones* 215

Figura 113 *Diagrama de dispersión bajo 1000 simulaciones* 215

Figura 114 *Hidrograma sim inicial* 216

Figura 115 *Hidrograma bajo 500 simulaciones*.....216

Figura 116 *Hidrograma bajo 750 simulaciones*.....217

Figura 117 *Hidrograma bajo 1000 simulaciones*.....217

Figura 118 *Sensibilidad global de los parámetros calibrados para la iteración final*.....220

Figura 119 *Diagrama de dispersión del caudal* 221

Figura 120 *Hidrograma comparativo*.....222

Figura 121 *Hidrograma comparativo entre caudales observados, calibrados y validados.* 223

Figura 122 *Variación mensual de niveles de espejo de agua de la laguna Piuray (2000-2024)* 233

Figura 123 *Variación temporal del volumen de almacenamiento en MMC de la laguna Piuray (2000 - 2024)*.....234

Figura 124 *Comparación entre el ΔV observado y el ΔV estimado mediante balance hídrico (2000-2024)*.....236

Figura 125 Relación entre el ΔV observado y el ΔV estimado mediante balance hídrico ...237

Figura 126 *Diagrama de dispersión entre precipitación mensual y variación mensual del volumen de almacenamiento (ΔV)* 238

Figura 127 *Diagrama de dispersión entre temperatura promedio mensual y variación mensual del volumen de almacenamiento (ΔV)* 239

Figura 128 *Vista de la interfaz principal del software CMhyd utilizada para la corrección de sesgo de precipitación y temperatura.* 241

Figura 129 *Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de los Modelos Climaticos - SSP245* 242

Figura 130 *Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de los Modelos Climaticos - SSP5-85* 243

Figura 131 *Proyección de la precipitación anual acumulada bajo el escenario SSP2-4.5 (1981-2100).*.....245

Figura 132 *Proyección de la temperatura máxima media anual bajo el escenario SSP2-4.5 (1981-2100).*.....245

Figura 133 *Proyección de la temperatura mínima media anual bajo el escenario SSP2-4.5 (1981-2100).*.....246

Figura 134 *Proyección de la precipitación anual acumulada bajo el escenario SSP5-8.5 (1981-2100).*.....247

Figura 135 *Proyección de la temperatura máxima media anual bajo el escenario SSP5-8.5 (1981-2100).*.....247

Figura 136 *Proyección de la temperatura mínima media anual bajo el escenario SSP5-8.5 (1981-2100).*.....248

Figura 137 *Tendencia de la precipitación anual histórica y proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (1981-2100)* 254

Figura 138 *Tendencia de la temperatura media anual histórica y proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (1981-2100)* 255

Figura 139 *Tendencia del caudal media anual histórica y proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (1990-2100)* 256

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. *Matriz de consistencia* 270

Anexo 2. *Cronograma de Realización de Tesis - Parte 1.* 271

Anexo 3. *Cronograma de Realización de Tesis - parte 2.*.....272

Anexo 4. *Presupuesto.*.....273

Anexo 5. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Granja Kayra* 274

Anexo 6. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Granja Kayra* 275

Anexo 7. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Perayoc*.....276

Anexo 8. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Perayoc* 277

Anexo 9. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Pisac.* 278

Anexo 10. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Pisac.*.....279

Anexo 11. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Urubamba.* 280

Anexo 12. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Urubamba* ..281

Anexo 13. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Anta Ancachuro* 282

Anexo 14. Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Anta Ancachuro 283

Anexo 15. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Calca*.....284

Anexo 16. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Calca* 285

Anexo 17. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Chitapampa* 286

Anexo 18. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Chitapampa* 287

Anexo 19. *Datos de precipitación mensual estimados para la estación de la cuenca Piuray (1981-2024) mediante NWS a partir de las estaciones cercanas* 288

Anexo 20. Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Granja Kayra 289

Anexo 21. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Granja Kayra* 290

Anexo 22. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Perayoc* ..291

Anexo 23. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Perayoc* 292

Anexo 24. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Pisac* 293

Anexo 25. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Pisac*.....294

Anexo 26. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Urubamba* 295

Anexo 27. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Urubamba* 296

Anexo 28. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Anta Ancachuro* 297

Anexo 29. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Anta Ancachuro* 298

Anexo 30. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Calca*.....299

Anexo 31. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Calca* 300

Anexo 32. *Datos de Temperatura media mensual estimados para la estación de la cuenca Piuray (1981-2024) mediante interpolación por NWS a partir de las estaciones cercanas* .301

Anexo 33. *Datos de proyección mensual de precipitación bajo el escenario SSP2-4.5*.....302

Anexo 34. *Datos de proyección mensual de precipitación bajo el escenario SSP5-8.5*.....304

Anexo 35. *Datos de proyección mensual de Temperatura media bajo el escenario SSP2-4.5* 306

Anexo 36. *Datos de proyección mensual de Temperatura media bajo el escenario SSP5-8.5* 308

Anexo 37. *Datos de precipitación mensual PISCO escalados*.....310

Anexo 38. *Datos de temperatura mensual PISCO escalados* 311

Anexo 39. *Tirantes de agua de la laguna Piuray (m.s.n.m)*.....312

Anexo 40. *Niveles de espejo de agua de la laguna Piuray (H en m)* 313

Anexo 41. *Serie de referencia de caudales mensuales del estudio de SEDACUSCO para la calibración y validación del modelo hidrológico de la laguna Piuray.* 314

Anexo 42. *Volúmenes de agua de la alguna Piuray en MMC.* 315

Anexo 43. *Datos de proyección de Caudales medios mensuales (m3/s) bajo el escenario SSP2-4.5*.....316

Anexo 44. *Datos de proyección de Caudales medios mensuales (m3/s) bajo el escenario SSP5-8.5*.....318

Anexo 45. *Solicitud de acceso a la Información meteorológica a Sunami*.....321

Anexo 46. *Solicitud de Información Climatológica Complementaria a la Estación Meteorológica Perayoc*.....323

Anexo 47. *Solicitud de Información Batimétrica y Caracterización Morfométrica a la Autoridad Nacional del Agua (ANA)* 325

Anexo 48. *Solicitud de información de Nivel de espejo agua de la Laguna Piuray a SEDACUSCO S.A.* 327

Anexo 49. *Fotografía de vista panorámica de la Laguna Piuray y su entorno.* 333

Anexo 50. *Fotografía de la captación de agua de la laguna de Piuray* 333

Anexo 51. *Fotografia de la vista de captación de la bocatoma de SEDACUSCO* 334

Anexo 52. *Fotografia de la vista de la compuerta de la laguna Piuray.* 334

Anexo 53. *Fotografia de descarga natural de la laguna evidenciando caudal nulo durante la toma de datos* 335

Anexo 54. *Fotografia de Zona agrícola ubicada en la ribera de la Laguna Piuray*.....335

Anexo 55. *Fotografia de cobertura vegetal dominada por plantaciones de Eucalypto en el área de estudio*.....336

Anexo 56. *Fotografia de área de pastizales mejorados destinados a actividad ganadera.* .336

Anexo 57. *Fotografia de presencia de totorales (Schoenoplectus californicus) en sectores puntuales de la laguna*.....337

Anexo 58. *Fotografia de afluente secundario con caudal mínimo previo a su ingreso a la Laguna Piuray* 337

Anexo 59. *Fotografia de otro afluente secundario con caudal reducido que descarga hacia la Laguna Piuray.* 338

Anexo 60. *Fotografia Afluente principal próximo a la laguna evidenciando disminución ignificativa de caudal.*.....338

Anexo 61. *Fotografía Tramo del afluente principal en proceso de descarga hacia la Laguna Piuray*.....339

Anexo 62. *Fotografía de la orilla de la Laguna Piuray donde se evidencia retracción del espejo de agua.*.....339

INDICE DE PLANOS

Plano 1. *Mapa de ubicación de la cuenca Piuray*.....342

Plano 2. *Mapa de comunidades campesinas - cuenca Piuray* 343

Plano 3. *Mapa de delimitación de subcuencas y parámetros morfométricos*.....344

Plano 4. *Mapa de uso de cobertura de la cuenca piuray*.....345

Plano 5. *Mapa de tipo de suelo de la cuenca piuray*.....346

Plano 6. *Mapa de pendientes de la cuenca piuray*.....347

Plano 7. *Mapa de unidades de respuesta hidrológica* 348

Plano 8. *Mapa de curva numero* 349

Plano 9. *Mapa de estaciones meteorológicas* 350

Plano 10. *Plano batimétrico de la laguna Piuray*.....351

Plano 11. *Plano perfil longitudinal y transversal de la laguna Piuray* 352

Plano 12. *Plano geológico de la cuenca Piuray* 353

Plano 13. *Plano corte hidrogeológico de la cuenca Piuray* 354

CAPITULO 1: INTRODUCCION

El cambio climático constituye uno de los desafíos ambientales y sociales más significativos del siglo XXI, afectando de manera significativa la disponibilidad, distribución y calidad de los recursos hídricos a nivel global. En regiones, como los Andes, estas alteraciones se manifiestan con mayor intensidad debido a la sensibilidad de sus ecosistemas y a la dependencia directa de las comunidades locales respecto al agua para su subsistencia, la agricultura y el abastecimiento urbano.

En el contexto peruano, los efectos del cambio climático se manifiestan a través de la modificación sobre los patrones de precipitación y temperatura, así como en la reducción del almacenamiento natural de agua en glaciares, lagunas y acuíferos. Estas variaciones comprometen la estabilidad hídrica de las cuencas altoandinas.

Dentro de este escenario, la Laguna Piuray, ubicada en la región Cusco, se vuelve estratégico por ser una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad y permite el desarrollo de actividades agrícolas y culturales en su entorno. Sin embargo, los cambios en las condiciones climáticas durante las últimas décadas podrían estar afectando su volumen de almacenamiento y su capacidad de regulación natural.

Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo analizar cómo influye el cambio climático en la variación del volumen de almacenamiento de la Laguna Piuray, mediante el análisis de la relación entre las variables climáticas y el comportamiento hídrico del cuerpo lagunar en el período 2000 - 2024. El análisis de estos patrones permitirá comprender la dinámica de respuesta de la laguna frente a las fluctuaciones climáticas y aportar información relevante para la gestión sostenible del recurso hídrico en la cuenca.

En consecuencia, los resultados obtenidos servirán como base para plantear las estrategias de mitigación y adaptación frente a los efectos del cambio climático en la región andina, esto permitirá fortalecer la gestión y conservación de los recursos hídricos en beneficio de las comunidades locales y del entorno ambiental.

1.1. Planteamiento del problema

La cuenca y la laguna Piuray constituyen una fuente importante de agua para el abastecimiento de parte de la población de la ciudad del Cusco y diversas actividades de su entorno. Por su importancia, resulta necesario conocer cómo ha evolucionado su disponibilidad hídrica y qué factores se relacionan con las variaciones de su almacenamiento. Durante 2000-2024, el volumen de la laguna presentó fluctuaciones asociadas a la variabilidad de los aportes hídricos, las condiciones climáticas y las demandas existentes en la cuenca.

El cambio climático puede modificar las condiciones hidrológicas mediante alteraciones en la precipitación y el incremento de la temperatura, repercutiendo sobre la escorrentía, la evapotranspiración y los aportes hacia la laguna. Asimismo, el crecimiento de la demanda para consumo humano y actividades productivas representa una presión adicional sobre el recurso hídrico. Por ello, resulta necesario analizar conjuntamente la variabilidad climática y las extracciones para comprender su influencia sobre el almacenamiento de la laguna Piuray.

En este contexto, el volumen de almacenamiento no presenta necesariamente una disminución continua, sino períodos de incremento y reducción según las condiciones hidrológicas y las demandas existentes. Por ello, es relevante determinar cómo varió el almacenamiento durante 2000-2024 y establecer en qué medida las variaciones de precipitación y temperatura asociadas al cambio climático se relacionan con dicho comportamiento.

La falta de una evaluación integrada de las condiciones climáticas, los aportes hidrológicos, las demandas y el almacenamiento dificulta comprender la dinámica de la disponibilidad hídrica de la laguna Piuray. En consecuencia, es necesario analizar su comportamiento histórico y evaluar posibles modificaciones bajo escenarios climáticos futuros, generando información técnica para la gestión sostenible del recurso hídrico en la cuenca.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General:

- **PG:** ¿Cuál es el grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la Laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024?

1.2.2. Problemas Específicos:

- **PE1:** ¿Cuál es la variación de la precipitación y temperatura por el cambio climático en la laguna de Piuray entre los años 2000-2024?
- **PE2:** ¿Cuál es la variación espacio temporal del volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024?
- **PE3:** ¿Cuál es el grado de correlación entre la precipitación, temperatura y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray entre los años 2000 y 2024?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación por Conveniencia

Es de suma relevancia llevar a cabo un análisis exhaustivo de la administración del recurso hídrico en la región de Cusco, dado que la laguna de Piuray juega un rol fundamental en la provisión de agua tanto para los habitantes como para las labores agrícolas. Cuando se preguntó cómo el cambio climático estaba afectando la capacidad de este cuerpo de agua para almacenar agua, se pretende recopilar datos relevantes que pueda servir de base para la gestión y planificación de los recursos hídricos. Estos saberes pueden ser utilizados para tomar decisiones que garanticen la presencia y el aprovechamiento duradero del agua, favoreciendo tanto las necesidades humanas como las exigencias del ámbito agrícola en la región.

1.3.2. Justificación por Relevancia social

El análisis actual requiere una importancia significativa para los habitantes que dependen de la laguna de Piuray como su principal suministro de agua potable y labores

agrícolas. Los resultados alcanzados podrían incidir de manera directa en el bienestar de los habitantes del Cusco, además de tener repercusiones en la elaboración de políticas a nivel de las instituciones y el gobierno. Dentro del contexto de los retos generados por el fenómeno del cambio climático, los resultados de esta investigación proporcionan herramientas fundamentales para la creación de estrategias enfocadas en la preservación y aprovechamiento óptimo de los caudales de agua. En consecuencia, la contribución de este estudio resulta esencial para reforzar la protección del agua en el área y producir impactos positivos en la comunidad y sociedad.

1.3.3. Justificación por Implicancias practicas

Resolverá los problemas de disponibilidad y administración del agua en la región. A través de un análisis del efecto del cambio climático sobre el volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray, podrán desarrollarse métodos de adaptación y mitigación para futuras dificultades. También podría tener efectos sobre la forma de gestionar el agua en otras zonas afectadas por sucesos comparables, aportando respuestas viables a diversos problemas medioambientales y de recursos hídricos.

1.3.4. Justificación por Valor teórico

Se plantea llenar el vacío de conocimiento sobre las consecuencias específicas del cambio climático sobre cuerpos de agua andinos, como es el caso de la laguna de Piuray. Los resultados son extrapolables a lagos con características similares, lo que apoya las teorías que relacionan el cambio climático con la variación en el volumen de agua en regiones altoandinas. Asimismo, se prevé que los hallazgos contribuyan a la generación de nuevos patrones de anticipación y sugerencias para investigaciones venideras acerca de hidrología y variabilidad climática.

1.3.5. Justificación por Utilidad metodológica

La investigación presenta utilidad metodológica al desarrollar un procedimiento para la integración, depuración y análisis de información hidrológica en cuencas con registros incompletos, fortaleciendo la relación entre variables climáticas y el almacenamiento de agua en cuerpos lacustres. Asimismo, permite mejorar la forma de analizar variables como precipitación, temperatura, caudal de aporte, nivel del espejo de agua y volumen de almacenamiento mediante series temporales consistentes, proponiendo un esquema metodológico replicable para el estudio hidrológico de cuencas altoandinas.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivos generales:

- **OG:** Determinar el grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la Laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024.

1.4.2. Objetivos específicos:

- **OE1:** Determinar la variación de la precipitación y temperatura por el cambio climático en la laguna de Piuray entre los años 2000-2024.
- **OE2:** Determinar la variación espacio temporal del volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024.
- **OE3:** Determinar el grado de correlación entre la precipitación, temperatura y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray entre los años 2000 y 2024.

1.5. Delimitación de estudio

1.5.1. Delimitación espacial

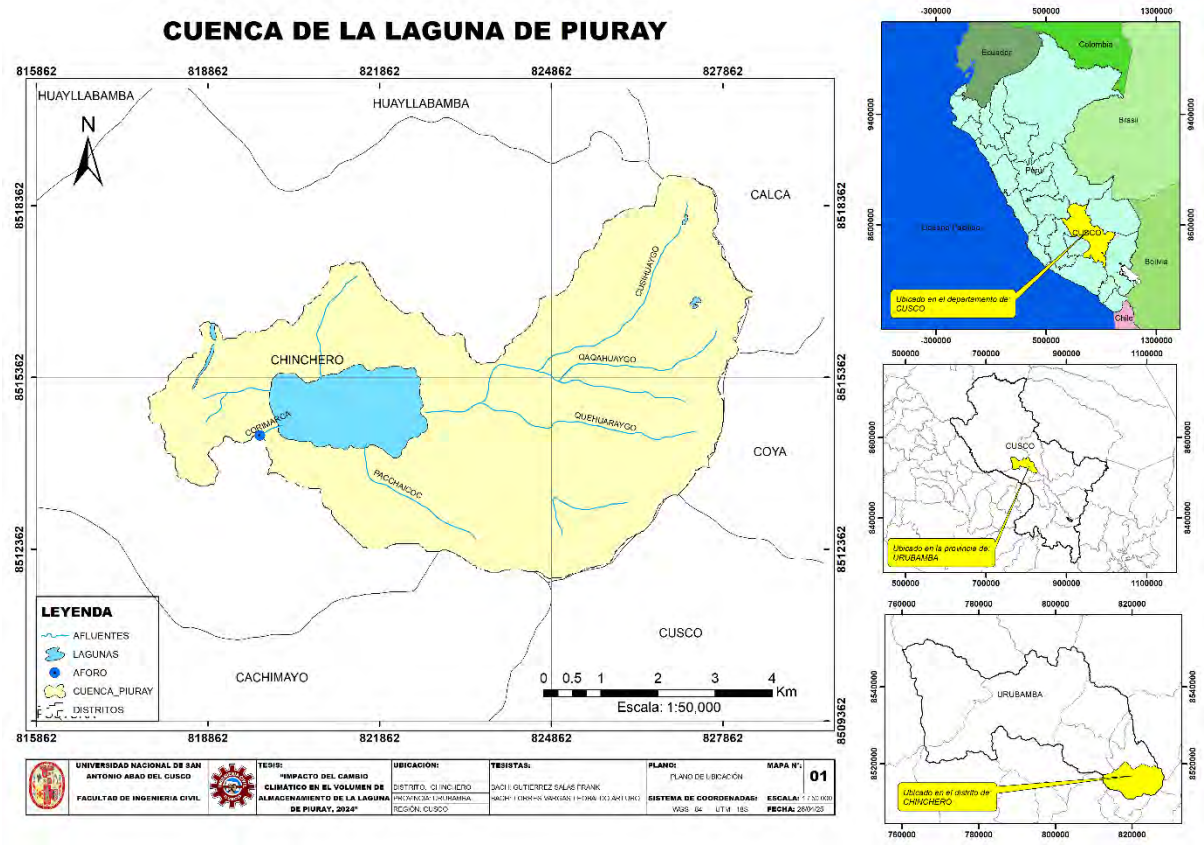
La cuenca de la laguna de Piuray está situada en el distrito de Chinchero, perteneciente a la provincia de Urubamba, región Cusco, Perú. Esta cuenca se encuentra a una altitud promedio de 3950.96 msnm, entre las coordenadas 13°25’10” S y 72°01’01” W con un área

aproximado de 39.69 km2, donde sus alturas se encuentran entre 3693.00 y 4535.00 msnm. Esta cuenca que desemboca en la laguna de Piuray, constituye una fuente estratégica de suministro de agua potable para el consumo humano en la ciudad del Cusco.

Se procederá a delimitar la zona de investigación correspondiente a la cuenca hidrográfica de la laguna de Piuray mediante el empleo de tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este lugar pertenece a la región de gran altitud en el sur de Perú, conocida por su clima frío, variaciones en la disponibilidad de agua y su notable vulnerabilidad ante las repercusiones del cambio climático. La elección efectuada permite el análisis de fenómenos hidrológicos en un escenario característico de la región altoandina de Perú.

Figura 1

Ubicación geográfica de la laguna Piuray



Nota. Elaboración propia de la ubicación de la laguna Piuray.

1.5.2. Delimitación temporal

La data utilizada está comprendida entre los años de 1981 y el 2100; sin embargo, la presente investigación se delimita al intervalo temporal del 2000 al 2024, el cual fue seleccionado debido a la disponibilidad de datos climáticos, hidrológicos y niveles de espejo de agua históricos las cuales fueron obtenidas de fuentes como SENAMHI, SEDACUSCO, ANA y data grillada PISCO.

El período 1981-1989 fue empleado como etapa de calentamiento (warm-up) del modelo SWAT, con el propósito de estabilizar las condiciones iniciales del modelo, tales como la humedad del suelo y el almacenamiento en los acuíferos. Posteriormente, el período 1990-2011 fue utilizado para la calibración del modelo hidrológico y el período 2012-2022 para su validación, garantizando una adecuada representación del comportamiento hidrológico de la cuenca Piuray. Asimismo, el período 2025-2100 se consideró para el análisis de las proyecciones climáticas bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

En consecuencia, el período 2000-2024 constituye el horizonte temporal de la investigación, ya que concentra la información observada necesaria para evaluar la evolución de la precipitación, la temperatura, los caudales y los niveles del espejo de agua, permitiendo analizar el impacto del cambio climático sobre el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray y compararlo con las proyecciones climáticas futuras.

Adicionalmente, la amplitud del período de información considerado permitió disponer de una base de datos continua para la regionalización, corrección de sesgo, simulación hidrológica y generación de escenarios climáticos futuros. Esta integración entre registros históricos y proyecciones climáticas proporciona un marco metodológico consistente para evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca y estimar la evolución del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray frente a las variaciones climáticas proyectadas durante el siglo XXI.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tesis internacional 01:

Bahamóndez Provoste (2021) realizó la tesis de investigación titulada "Cambio climático y su efecto sobre los cuerpos de agua de Chile central: variación interanual superficial de los lagos andinos (32°S-36°S) entre 1984 y 2020", en la Universidad de Chile, para optar al título de Geógrafa. El objetivo de la investigación fue analizar cómo el clima afecta la fluctuación de la extensión de agua en 14 lagos de gran altitud de Chile durante el periodo 1984-2020.

La investigación fue de tipo aplicada y de nivel correlacional, y empleó información climática y de superficie de los cuerpos de agua para analizar su comportamiento interanual y su relación con las variables climáticas. Asimismo, se evaluó la relación entre las variaciones de la superficie, la precipitación, la temperatura y la evaporación.

Los resultados mostraron que, desde 2010, se presentó una pérdida constante de superficie en la mayoría de los lagos, asociada con un incremento de la temperatura, una reducción de las precipitaciones y un aumento de la evaporación. Se identificaron cinco eventos importantes de disminución y se observó que los cambios en el nivel del agua estuvieron más relacionados con la precipitación y la temperatura que con la evaporación. Además, siete de los catorce lagos presentaron una correlación relevante con las precipitaciones, mientras que la mayoría mostró una relación negativa con las temperaturas medias anuales.

Se concluyó que las variaciones climáticas han tenido relación con la disminución de la superficie de los lagos, especialmente en aquellos ubicados al norte de los 35°S, observándose además un retraso de dos a tres años en la respuesta de algunos cuerpos de agua frente a las variaciones en la disponibilidad hídrica. Este antecedente resulta relevante para la

presente investigación porque evidencia la relación entre las variables climáticas y la dinámica de los cuerpos de agua altoandinos, particularmente la precipitación y la temperatura.

Tesis internacional 02:

Oyarzo y Cuevas (2022) realizaron la tesis de investigación titulada “Efectos del cambio climático en la evolución de los niveles de agua del lago Ranco”, en la Universidad Andrés Bello, cuyo objetivo fue analizar la evolución de los niveles de agua del lago Ranco debido al cambio climático, considerando los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 y diferentes periodos futuros. La investigación fue de tipo aplicada y de nivel explicativo, debido a que empleó información hidrológica y climática para modelar el balance hídrico y analizar los efectos de escenarios de cambio climático sobre los niveles y almacenamiento del lago.

La metodología se basó en el uso de series históricas de precipitación, temperatura, evaporación y caudales afluentes y efluentes, provenientes de la Dirección General de Aguas (DGA) y del explorador de cuencas CAMELS del CR2. Con esta información se calibró un modelo de balance hídrico mediante la ecuación de continuidad. Posteriormente, se aplicaron los escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5 para proyectar las variaciones futuras del nivel del lago. La estimación del caudal subterráneo se realizó mediante análisis de tendencias y patrones estacionales, empleando regresión lineal y promedio móvil anual.

Los resultados mostraron que, bajo el escenario RCP 2.6 y para el periodo futuro próximo, se proyectó un incremento del nivel del lago equivalente a 6,54 millones de m^3. En contraste, para el escenario RCP 8.5 se proyectó una disminución de 10,8 cm en el nivel del lago durante los periodos futuros, equivalente a una reducción aproximada de 49,04 millones de m^3.

Se concluyó que el cambio climático podría modificar los niveles y el volumen de almacenamiento del lago Ranco bajo los escenarios evaluados. Este antecedente aporta a la presente investigación debido a que emplea el balance hídrico y variables climáticas para analizar las variaciones del almacenamiento de un cuerpo de agua.

Tesis internacional 03:

Moncada Chávez (2023) realizo la tesis de investigación titulada "Análisis Socio-ecológico en Relación con el Cambio Climático para la Laguna de Tota, Aquitania, Boyacá" en la UNAD de Colombia como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental. El objetivo de la investigación fue analizar las interacciones socioecológicas de la Laguna de Tota frente al cambio climático y las actividades humanas.

La metodología comprendió la identificación de actores, la evaluación de conflictos socioecológicos, factores de vulnerabilidad y cambios fisicoquímicos del cuerpo de agua. Asimismo, se emplearon herramientas de análisis espacial y temporal para evaluar el estado de la calidad y disponibilidad del recurso hídrico, así como los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad y la dinámica de la laguna. La investigación se basó en el marco de sistemas socio-ecológicos propuesto por McGinnis y Ostrom (2014).

Los resultados evidenciaron afectaciones en el volumen de agua, incremento de la temperatura, fluctuaciones en los patrones de precipitación y proliferación de cianobacterias, comprometiendo la sostenibilidad del ecosistema y el bienestar de las poblaciones relacionadas con este recurso. Asimismo, se identificaron factores de vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones, y efectos asociados a las actividades agrícolas y ganaderas.

Se concluyó que las variaciones climáticas y las actividades humanas han generado efectos sobre la laguna, resaltándose la necesidad de estrategias de adaptación y mitigación, así como de una gestión integrada de la cuenca. Este antecedente resulta útil para la presente investigación porque demuestra que la dinámica de los cuerpos de agua puede estar relacionada tanto con factores climáticos como con actividades humanas.

Articulo internacional 04:

Mejía et al. (2022) realizaron el artículo científico titulado "Influencia de la variabilidad climática en los pantanos altoandinos de la microcuenca Miguaguó, Andes venezolanos",

publicado en la Revista de Ciencias Ambientales. El objetivo fue evaluar la influencia de la variabilidad climática en los pantanos altoandinos de dicha microcuenca.

La investigación consideró una serie temporal de 46 años, a partir de la cual se seleccionaron 15 años muestrales climatológicamente distintos mediante la disponibilidad de imágenes satelitales Landsat. Se empleó el Índice de Estrés Hídrico (MSI) para evaluar el comportamiento de la vegetación de los pantanos y su contenido de humedad. Asimismo, los valores del MSI fueron comparados estadísticamente con el Índice del Niño Oceánico (ONI) y con indicadores climáticos locales.

Los resultados mostraron que la dinámica hidrológica de los humedales estuvo influenciada por la combinación de anomalías del fenómeno ENOS, correspondientes a El Niño, La Niña y años neutrales. Se observó una tendencia predominante hacia la recuperación hídrica durante los eventos de La Niña y los años neutrales, aunque la respuesta fue diferenciada según la ubicación de los pantanos, las condiciones biofísicas del entorno y la intensidad y secuencia de las anomalías climáticas. Asimismo, los humedales mostraron una elevada resiliencia hidrológica frente a estas variaciones.

Se concluyó que la variabilidad climática presenta una influencia clara sobre la dinámica y el comportamiento de los humedales altoandinos de la Cordillera de Mérida, aunque dicha influencia varía según las condiciones espaciales, topográficas, morfológicas y edáficas de cada humedal. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación porque demuestra la utilidad de relacionar variables climáticas con indicadores de comportamiento hídrico para analizar los efectos de la variabilidad climática en ecosistemas altoandinos.

2.1.2. Antecedente nacional:

Tesis nacional 01:

Espinoza y Cuevas (2022) realizaron la tesis de investigación titulada “Modelamiento matemático y uso de S.I.G. para la estimación de la reducción del volumen de agua en la laguna

Aricota, región Tacna", en la Universidad Nacional del Callao cuyo objetivo fue estimar la reducción del volumen de agua de la laguna Aricota mediante el modelamiento matemático y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La metodología se basó en tres aspectos: el procesamiento de imágenes satelitales Landsat, el procesamiento estadístico de las imágenes y el análisis multiespectral y multitemporal para determinar el volumen de agua de la laguna. Asimismo, se empleó regresión lineal simple para analizar la reducción del volumen en el tiempo.

Los resultados mostraron una tendencia de reducción del volumen de 7,9 hm^3/año, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,49$. Además, el índice Kappa presentó valores entre 0,76 y 0,95, mientras que el ajuste entre el volumen y el nivel altimétrico alcanzó un $R^2 = 0,9804$.

Se concluyó que la laguna Aricota presentó una reducción del volumen de agua a lo largo del tiempo y que la metodología desarrollada permitió estimar su comportamiento. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación debido a que emplea herramientas de modelamiento, regresión y SIG para analizar la variación del volumen de almacenamiento.

Tesis nacional 02:

Ginez Choque (2025) realizó la tesis de investigación titulada "Relación entre el nivel hídrico y cambio climático: una evaluación de los tributarios y los niveles de contaminación del lago Titicaca de la región Puno", en la región Puno, Perú, para optar el grado académico de Doctoris Scientiae en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en la Universidad Nacional del Altiplano. El objetivo fue modelar la relación entre el nivel hídrico del lago Titicaca y los caudales de sus ríos tributarios mediante estimadores de máxima verosimilitud, durante el periodo 2000-2023.

La investigación tuvo enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño no experimental, utilizando registros históricos de caudales de los ríos Huancané, Ramis, Coata e Ilave y niveles del lago Titicaca. Para el análisis se emplearon los métodos de mínimos cuadrados ordinarios

y estimadores de máxima verosimilitud, además de pruebas de tendencia para las series históricas.

Los resultados mostraron una relación directa entre los caudales de los ríos Huancané y Ramis y el nivel del lago, mientras que Coata e Ilave presentaron una relación inversa. El modelo de regresión presentó significancia estadística global ($p = 0{,}0074 < 0{,}01$); sin embargo, los parámetros individuales de los ríos no fueron estadísticamente significativos.

Se concluyó que la variabilidad del nivel hídrico del lago Titicaca depende parcialmente de los aportes fluviales, pero presenta una mayor influencia de factores climáticos y antrópicos.

Tesis nacional 03:

Según Arroyo Canales et al. (2021) realizaron la tesis de investigación titulada "Influencia del cambio climático y uso del suelo en la capacidad de regulación hídrica en la microcuenca Medio Bajo Mantaro del departamento de Huancavelica, periodo 2015-2020", cuyo objetivo fue determinar la influencia del cambio climático y el cambio de uso de suelo en la capacidad de regulación hídrica de la microcuenca.

La investigación empleó el método hipotético-deductivo, fue de tipo aplicada, nivel correlacional y presentó un diseño no experimental transversal de tipo correlacional. Se analizaron datos de precipitación, temperatura, caudal y cobertura vegetal, empleando el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre las variables.

Los resultados mostraron una relación directa entre la precipitación y el caudal, con un coeficiente de Pearson de 0,90 y un R^2 de 81 %; entre la cobertura vegetal y el caudal, una relación directa de 0,83 y R^2 de 69 %; mientras que el cambio de uso de suelo y el caudal presentaron una relación inversa de −0,65 y R^2 de 43 %. La temperatura y el caudal mostraron una relación inversa de −0,39 y R^2 de 15 %, considerada no significativa por las autoras.

Se concluyó que la precipitación, la cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo influyeron en la capacidad de regulación hídrica de la microcuenca, mientras que el cambio climático, representado por la temperatura, no mostró una relación significativa.

2.1.3. Antecedente local:

Tesis local 01:

Lloclla y Ugarte (2018), realizaron la investigación titulada “Oferta hídrica de la cuenca de Piuray, Urubamba-Cusco, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático”, en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, cuyo objetivo fue evaluar la disponibilidad actual y futura del recurso hídrico en la microcuenca de Piuray bajo escenarios de cambio climático.

La metodología comprendió el análisis de información histórica de precipitación y temperatura, la regionalización climática mediante estaciones meteorológicas, la evaluación hidrogeológica de la microcuenca, el inventario de manantes, el balance hídrico superficial y subterráneo, y la modelación del flujo de aguas subterráneas mediante MODFLOW. Asimismo, se realizó una evaluación prospectiva de la disponibilidad hídrica bajo escenarios futuros.

Los resultados determinaron una precipitación media anual de 1215,3 mm y una marcada estacionalidad, concentrándose entre el 80 % y 85 % de la precipitación anual entre diciembre y marzo. Asimismo, se identificó una tendencia creciente de la temperatura y se proyectaron incrementos progresivos hacia finales del siglo XXI.

Se concluyó que las condiciones climáticas futuras podrían modificar la disponibilidad hídrica de la microcuenca, por lo que resulta necesario considerar conjuntamente los factores climáticos e hidrogeológicos en la gestión del recurso hídrico. Este antecedente constituye una referencia fundamental para la presente investigación debido a que se desarrolla en la misma cuenca de estudio y proporciona información sobre la precipitación, temperatura, oferta hídrica y procesos hidrogeológicos relacionados con la dinámica de la laguna Piuray.

Estudio batimétrico de la laguna Piuray (octubre 2020):

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizó en octubre de 2020 un estudio batimétrico de la laguna Piuray, ubicada en la región Cusco, con el objetivo de actualizar la información sobre sus principales características morfométricas y determinar su volumen de almacenamiento.

El estudio permitió obtener información sobre la cota del espejo de agua, superficie, profundidad máxima, morfología y volumen almacenado. Al 18 de octubre de 2020 se registró los siguientes resultados relevantes del estudio:

- Cota del espejo de agua: 3,694.14 m.s.n.m.
- Volumen de almacenamiento (al 18 de octubre de 2020): 75.41 hm^3
- Profundidad máxima: 43.85 m
- Área del espejo de agua: 3.56 km^2
- Morfología: La laguna presenta una forma irregular, con taludes pronunciados en algunos sectores y zonas de baja profundidad propensas a la proliferación de vegetación acuática, lo que indica un posible inicio del proceso de eutrofización.

Relevancia para el Estudio del Cambio Climático:

Los resultados evidenciaron que la laguna presenta una morfología irregular, con sectores de mayor profundidad y zonas de menor profundidad. Esta información permite caracterizar las condiciones morfométricas y de almacenamiento del cuerpo de agua para el periodo evaluado.

El estudio batimétrico constituye una referencia importante para la presente investigación, debido a que proporciona el valor de volumen observado en octubre de 2020 utilizado como referencia para la estimación de la serie histórica de almacenamiento de la laguna Piuray durante el periodo 2000-2024

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. Cambio climático y variabilidad en el sistema climático

2.2.1.1. Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC (1992) caracteriza el cambio climático como una alteración climática atribuible, ya sea de manera directa o indirectamente a la intervención humana, esta alteración afecta la composición de la atmósfera global y que se añade a la inestabilidad climática natural que se ha observado durante periodos parecidos. Esta definición introduce un aspecto clave: la distinción entre los cambios climáticos naturales, producidos por fenómenos como erupciones volcánicas, variaciones solares o eventos oceánicos, y aquellos provocados por acciones humanas, que son persistentes y de escala global.

Santa Cruz Castello et al. (2022)se describe el cambio climático como una alteración a largo plazo de las condiciones atmosféricas estándar, tales como el aumento de la temperatura a nivel mundial, variaciones en los esquemas de precipitaciones, deshielo de masas glaciares y el incremento de eventos extremos como sequías, inundaciones y olas de calor. Estas modificaciones no son simples alteraciones, sino que representan una progresiva acumulación progresiva de gases de efecto invernadero en la atmósfera, junto con ciertos procedimientos agrícolas e industriales.

El efecto del impacto del cambio climático trasciende las fluctuaciones atmosféricas, siendo una evolución completa que incluye alteraciones en el ecosistema, en la organización socioeconómica y en la preservación de los recursos naturales, en consecuencia, en lugar de ser considerado simplemente como un cambio en el clima, se trata de un desafío a nivel mundial que requiere la colaboración entre diversas disciplinas y la implementación coordinada de acciones, para tratar esta problematica, es necesario integrar la ciencia con medidas

gubernamentales y enfoques sustentables para mitigar sus impactos y ajustarse a sus resultados a largo plazo (Calixto Flores & Silva Mar, 2023).

2.2.1.2. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)

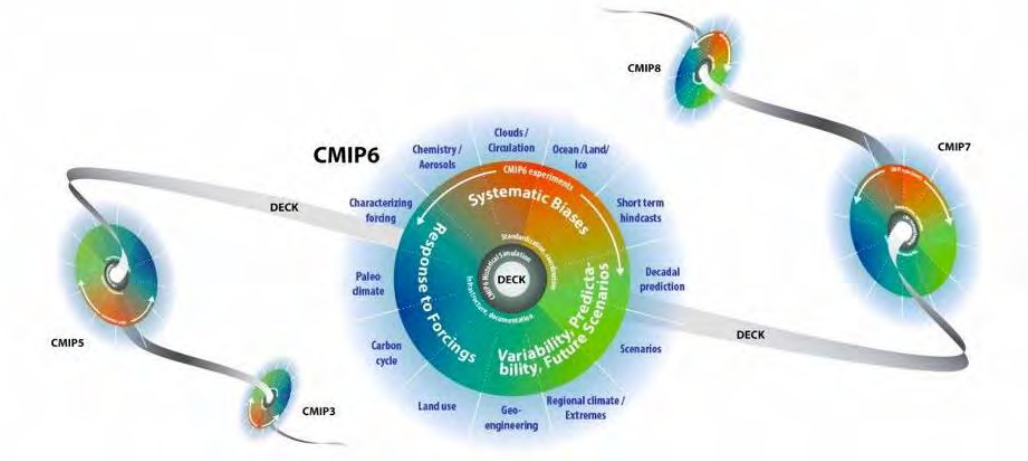
El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), creado en 1988 por el PNUMA y la OMM, es el principal órgano internacional encargado de evaluar el cambio climático a partir del análisis de la literatura científica, técnica y socioeconómica más actual y relevante. Conformado por 195 países miembros de la ONU y la OMM, el IPCC no realiza investigaciones propias, sino que sintetiza conocimientos para proporcionar información objetiva y equilibrada sobre los impactos y riesgos del cambio climático. Su carácter científico e intergubernamental le permite ofrecer informes de alta autoridad científica que orientan la toma de decisiones a nivel global, sin prescribir políticas específicas (IPCC, s. f.-b).

2.2.1.3. Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP)

Es una iniciativa internacional del Programa Mundial de Investigadores del Clima (PMIC) que coordina y compara modelos climáticos desarrollados en distintos centros de investigación a nivel global. Su objetivo es mejorar la comprensión de los cambios pasados, presentes y futuros del clima mediante simulaciones que integran la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, la criosfera y la biosfera. Aunque los modelos requieren simplificaciones, el enfoque multimodelo permite identificar resultados consistentes y fortalecer la confiabilidad de las proyecciones. Actualmente, la sexta fase (CMIP6) proporciona datos fundamentales para el análisis científico y la toma de decisiones, siendo una herramienta clave para estudios como el impacto del cambio climático (CMIP, 2023).

Figura 2

Fases del CMIP - Proyecto de intercomparación de modelos acoplados



Nota. Obtenido de (CMIP, 2023).

Los escenarios del SSP

Se ha desarrollado un nuevo conjunto de escenarios climáticos en relación con el sexto informe del IPCC (IPCC AR6), las "Trayectorias Socioeconómicas Compartidas" (SSP). En comparación con las RCP utilizadas anteriormente, los nuevos escenarios de SSP se han mejorado de diversas maneras.

Los escenarios climáticos no son predicciones exactas, sino futuros posibles que combinan trayectorias socioeconómicas (SSP) con niveles de forzamiento radiativo (W/m² al 2100).

En general, las nuevas SSP son escenarios que consideran los cambios socioeconómicos futuros y las contribuciones para mitigar el cambio climático. El sexto informe de evaluación (IPCC, 2023) esbozó cinco escenarios (SSP1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) que anunciaban un aumento de la temperatura de 1,5 °C en el futuro cercano (2021-2040) y de 3,3-5,7 °C en el futuro lejano (2081-2100) si la situación continúa de acuerdo con el escenario de emisiones más alto (Siabi et al., 2023).

SSP 1-2.6: El Acuerdo de París, que se centra en limitar el calentamiento global a 2,0 °C para 2100, está relacionado con el escenario SSP1-2.6, que es una de las versiones

mejoradas de los RCP (2,6 W/m2). El escenario SSP1-2.6 supone una evolución relativamente optimista de la sociedad futura hacia la sostenibilidad con una expansión económica significativa, inversión en salud y educación, y una gobernanza sólida, esta es la vía que prevé que el mundo cooperará para combatir el cambio climático (Riahi et al., 2017).

El resultado es un mundo que se calentará entre 1,3 °C y 2,4 °C en relación con 1950, con una población mundial de 7000 millones. Este escenario sigue los objetivos del Acuerdo de París de limitar el calentamiento a menos de 2,0 °C, ya que supone un aumento de la temperatura media global de 1,8 °C para 2100 (Siabi et al., 2023).

SSP2-4.5: Es un escenario "intermedio", es consistente con las acciones climáticas de varios países para cumplir con sus obligaciones existentes de reducción de emisiones (Riahi et al., 2017).

El resultado es un mundo que se espera que se caliente entre el rango de 2,1 °C y 3,5 °C en relación con 1950, con 9.6 mil millones de personas. En SSP2-4.5, se espera que el forzamiento radiativo total aumente a aproximadamente 4,5 Wm −2 hasta 2070 y luego disminuya. Se espera que esto conduzca a una disminución en la producción de alimentos en todo el mundo debido a más extremos de calor e inundaciones catastróficas por extremos de precipitación (Riahi et al., 2017). Aquí, se espera que la desigualdad continúe; sin embargo, el enfoque está en lograr objetivos ambientales a través de la cooperación internacional.

SSP3-7.0: En el escenario SSP3-7.0, los países tienden a retirarse de la cooperación internacional y se centran en sus propios objetivos económicos. Aquí, el nacionalismo resurge esto llevaría a los países a apoyar aún más la explotación de sus combustibles fósiles (Riahi et al., 2017).

Como resultado, se espera que los gases que atrapan el calor distinto del dióxido de carbono, así como el metano y los aerosoles, aumenten a niveles altos. Se espera que la población mundial aumente a aproximadamente 12.6 mil millones de personas para 2100. Sin embargo, la inversión en desarrollo tecnológico y educación disminuiría. El resultado es un

mundo que se calentará entre 2,8 °C y 4,6 °C con respecto a 1950. En este punto, se espera que los niveles de forzamiento radiativo aumenten a aproximadamente 7,0 Wm −2 (Siabi et al., 2023). También se espera que el nivel del mar aumente catastróficamente entre 46 y 74 cm.

SSP5-8.5: En el escenario SSP5-8.5, la humanidad tiende a no hacer nada respecto al cambio climático, sino que lo empeora persistentemente (Riahi et al., 2017). Este escenario prevé un crecimiento económico mundial impulsado por el gas natural, el petróleo y la quema de carbón. Se espera que la población mundial alcance un máximo de 8.500 millones en la década de 2050 y descienda al nivel actual de aproximadamente 7.000 millones para 2100.

En este caso, los recursos se destinan a la adaptación al cambio climático con poco apoyo para mitigar las emisiones. El resultado es un mundo que se calentará entre 3,3 °C y 5,7 °C en relación con 1950 para finales del siglo XXI (Riahi et al., 2017). Aquí es donde se espera que los niveles de forzamiento radiativo aumenten a aproximadamente 8,5 Wm −2. En este escenario, se prevén inundaciones costeras a gran escala y condiciones meteorológicas extremadamente destructivas.

2.2.2. Volumen de almacenamiento

El agua presente en su entorno natural o controlado, reflejando su habilidad para acumular y conservar líquido en una región específica. En la administración de los recursos hídricos esta caracteristica resulta fundamental, ya que permite estimar el volumen de agua disponible para diversos usos, tales como el suministro a la población, la irrigación de cultivos, la industria y la preservación de los ecosistemas acuáticos. De acuerdo con el informe del US U.S. Army Corps of Engineers (2018), este volumen indica la habilidad natural del cuerpo de agua para retener líquido, prescindiendo de construcciones artificiales como presas o embalses, en el caso de lagos que se forman de manera natural.

El entendimiento de la capacidad de almacenamiento no solo resulta fundamental para calcular la posibilidad de obtener agua, sino que también influye directamente en la

organización y el ajuste frente a los efectos del cambio climático, las variaciones de temperatura, la transpiración de las plantas y la distribución de las precipitaciones pueden modificar significativamente las reservas de agua, reduciendo la capacidad de regulación natural del recurso hídrico.

Además, la capacidad de almacenamiento influye directamente en la capacidad de un lago para atenuar los efectos de los fenómenos climáticos. Un tamaño reducido dificulta la capacidad de reacción ante dichas situaciones, en contraste, una capacidad suficiente puede funcionar como un controlador natural, aliviando la carga sobre los sistemas artificiales de suministro.

2.2.3. Cuenca hidrográfica

Unidad geográfica delimitada por divisorias topográficas que establecen el flujo natural del agua hacia un punto común de descarga, tal como puede ser un río principal, un lago o un océano. En términos simples, se trata de una superficie terrestre en la que toda el agua de lluvia, si el terreno fuera completamente impermeable, escurriría hacia una única salida, guiada por la pendiente y la morfología del terreno. Esta región está drenada por una red fluvial compuesta por un cauce principal y múltiples afluentes, lo que configura su jerarquía interna. La cuenca hidrográfica, por tanto, constituye la unidad básica de análisis en hidrología, ya que permite comprender los procesos de escorrentía, infiltración, transporte de sedimentos y recarga de acuíferos (Aparicio Mijares, 1992).

La importancia de la cuenca hidrográfica trasciende su carácter meramente físico, ya que también representa una entidad para la administración del medio ambiente y del territorio. En este fenómeno se combinan elementos de origen natural y humano, tales como la utilización del terreno, la tala de árboles, la expansión urbana y los métodos de cultivo. La gestión integrada de cuencas fomenta una perspectiva integral del territorio al coordinar medidas de

preservación, recuperación ambiental y organización del recurso hídrico entre los diversos participantes que viven o impactan en la cuenca.

Figura 3

Morfología de cuenca hidrográfica



Nota. Adaptado de Velasquez Ocaña Rafael, (2013).

2.2.3.1. Afluentes

Un afluente se define como un cuerpo de agua, comúnmente un arroyo o un río que desemboca en otro cauce de agua más grande, uniéndose en un lugar llamado confluencia. Usualmente, el afluente se caracteriza por ser el curso de agua de dimensiones más reducidas en cuanto a caudal, longitud o extensión de cuenca en contraste con el río principal, si bien esta clasificación puede cambiar dependiendo de las particularidades geográficas y climáticas de la región (Márquez, 2021).

Los ríos principales se benefician significativamente de la aportación de los afluentes, los cuales desempeñan una función esencial en el abastecimiento de agua, colaborando en el control natural del caudal a lo largo de una región hidrográfica. Además de incrementar el tamaño, también tienen un impacto en la pureza del agua, el depósito de sedimentos, el movimiento de nutrientes y la variedad de especies en el entorno del río. En numerosas

ocasiones, los tributarios se originan en áreas de gran altitud de la cordillera andina o en bosques que actúan como zonas de abastecimiento de agua, fundamentales para preservar la armonía ambiental durante periodos de escasez de lluvias.

2.2.3.2. Efluentes

Un efluente, que también se conoce como emisario, es un flujo de agua que se separa del cauce principal de un río más grande, a diferencia de un afluente que desemboca en el río. Es el agua que se desvía del cauce principal y forma un nuevo canal, natural o artificial. Esta división se puede producir de forma natural (en ríos con gran carga sedimentaria) o ser inducida por el hombre con un objetivo determinado (Márquez, 2021). Estos se pueden dividir en dos tipos:

- **Efluentes Naturales:** Se desarrolla sobre todo en los deltas fluviales, que se forman cuando el río se divide en varios brazos antes de desembocar en un lago o en el mar. Este fenómeno es típico de ríos que poseen una gran carga sedimentaria y un gradiente de pendiente bajo, como los del Nilo y el Amazonas.
- **Efluentes Artificiales:** Por lo general, están representados por acequias, canales o canales de desvío que se han creado con el propósito de realizar tareas relacionadas con el drenaje, la irrigación, el abastecimiento y el control hidráulico. Estos son habituales en proyectos de ingeniería hídrica o sistemas agrícolas que necesitan transportar agua a áreas alejadas del cauce principal.

2.2.3.3. Parámetros fisiográficos

2.2.3.3.1. Área de drenaje (A)

El área de drenaje constituye uno de los parámetros fundamentales en el estudio hidrológico de una cuenca, ya que determina la superficie que contribuye con escorrentía hacia el punto de salida.

De acuerdo con Monsalve Sáenz (2005), “el área de drenaje es el área plana (proyección horizontal) incluida entre sus divisorias topográficas”, definiendo de esta manera el límite espacial que delimita la captación de las aguas pluviales.

Asimismo, Springall G. (1980) señala que “el área drenada de una cuenca es el área en proyección horizontal encerrada por el parteaguas, la cual generalmente se determina con un planímetro y se expresa en kilómetros cuadrados; mientras que las áreas pequeñas pueden expresarse en hectáreas”.

En la actualidad, gracias al avance de las herramientas geoespaciales, la delimitación y cálculo del área de drenaje pueden realizarse de manera más precisa mediante el uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE), los cuales permiten identificar automáticamente las divisorias topográficas y el punto de salida de la cuenca con apoyo de sistemas de información geográfica (SIG).

2.2.3.3.2. Perímetro (P)

Conforme al Foro Peruano para el Agua (GWP Perú), “el perímetro de la cuenca (P) es la longitud del contorno del área de la cuenca”.

Este parámetro se expresa comúnmente en kilómetros (km) y su cálculo puede realizarse manualmente sobre mapas topográficos o mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE), lo cual permite una estimación más precisa.

2.2.3.3.3. Longitud axial de la cuenca (La)

La longitud axial de la cuenca representa la distancia máxima medida a lo largo del eje principal, desde la desembocadura hasta el punto que esta más alejado en la cabecera del cauce principal. Según Villodas (2008), “la longitud L de una cuenca se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal”.

Este parámetro permite conocer la extensión longitudinal de la cuenca, influyendo directamente en el tiempo de concentración y en el comportamiento hidrológico general.

2.2.3.3.4. Ancho promedio (Ap)

El ancho promedio de la cuenca se define como la relación del área total de la cuenca con respecto a su longitud axial. Este parámetro proporciona una medida general de la forma transversal de la cuenca y permite comparar la proporción entre su extensión longitudinal y su amplitud lateral.

$$A_p = \frac{A}{L_a} \qquad (1)$$

Donde:

- A_p es el ancho promedio de la cuenca
- A es el área total de la cuenca
- L_a es el área de la cuenca

2.2.3.3.5. Factor de forma (Ff)

El factor de forma representa la relación entre el área de la cuenca con el cuadrado de su longitud axial.

Según Pérez (1979), el factor de forma permite clasificar la morfología de las cuencas desde muy alargadas hasta aquellas que “rodean el desagüe”, estas últimas caracterizadas por una configuración casi circular que concentra rápidamente el escurrimiento hacia el punto de salida. Se calcula mediante la expresión:

$$F_f = \frac{A}{L_a^2} \qquad (2)$$

Donde:

- F_f es el factor de forma
- A es el área de la cuenca
- L_a es la longitud axial

Según Pérez (1979), el factor de forma permite clasificar las cuencas según su morfología, desde aquellas muy alargadas hasta las que “rodean el desagüe”. Las cuencas con factores de forma bajos tienden a ser más alargadas, lo que implica un tiempo de concentración

más prolongado y menor riesgo de crecidas repentinas. En contraste, las cuencas con valores altos presentan formas más circulares, facilitando una concentración rápida del escurrimiento y, por tanto, mayor susceptibilidad a avenidas súbitas.

Tabla 1

Valores interpretativos del factor de forma de una cuenca

Factor de forma	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Nota. Obtenido de Perez (1979)

2.2.3.3.6. Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius (K)

El coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) constituye un parámetro adimensional que expresa la relación entre el perímetro real de una cuenca y el perímetro de un círculo teórico que posee un área equivalente a la de dicha cuenca (Gaspari et al., 2012). Este círculo teórico representa la forma de máxima compacidad, sirviendo como referencia para evaluar el grado de alargamiento o redondez de la cuenca.

De acuerdo con López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre (1987), el coeficiente de compacidad permite inferir el comportamiento hidrológico de la cuenca, la morfología de la cuenca tiene un gran significativo en los escurrimientos y en la respuesta del hidrograma generado por una precipitación. Cuencas más compactas tienden a producir picos de caudal más altos y rápidos, y cuencas alargadas presentan una respuesta más atenuada y retardada.

El índice se calcula mediante la expresión:

$$K = \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (3)$$

Donde:

- K es el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

- A es el área de la cuenca
- P es el perímetro de la cuenca

Tabla 2

Clasificación de una cuenca de acuerdo a su índice de compacidad

Coeficiente de compacidad	Clases de compacidad
1 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval-oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular

Nota. Adaptado de Fuentes Junco (2004), citado en Gaspari (2012).

2.2.3.4. Parámetros geomorfológicos

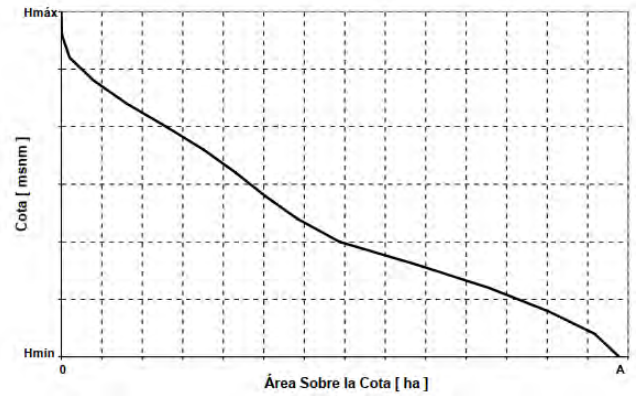
2.2.3.4.1. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica constituye una representación gráfica del relieve de una cuenca hidrográfica, mostrando la relación entre la altitud y la superficie acumulada por encima de cada cota.

De acuerdo con Monsalve Sáenz (2005), la curva hipsométrica se obtiene mediante la determinación del porcentaje de área de drenaje que se encuentra por encima o por debajo de determinadas elevaciones, las cuales pueden calcularse por métodos planimétricos o mediante el análisis de modelos digitales de elevación (MDE).

Figura 4

Curva hipsométrica de una cuenca



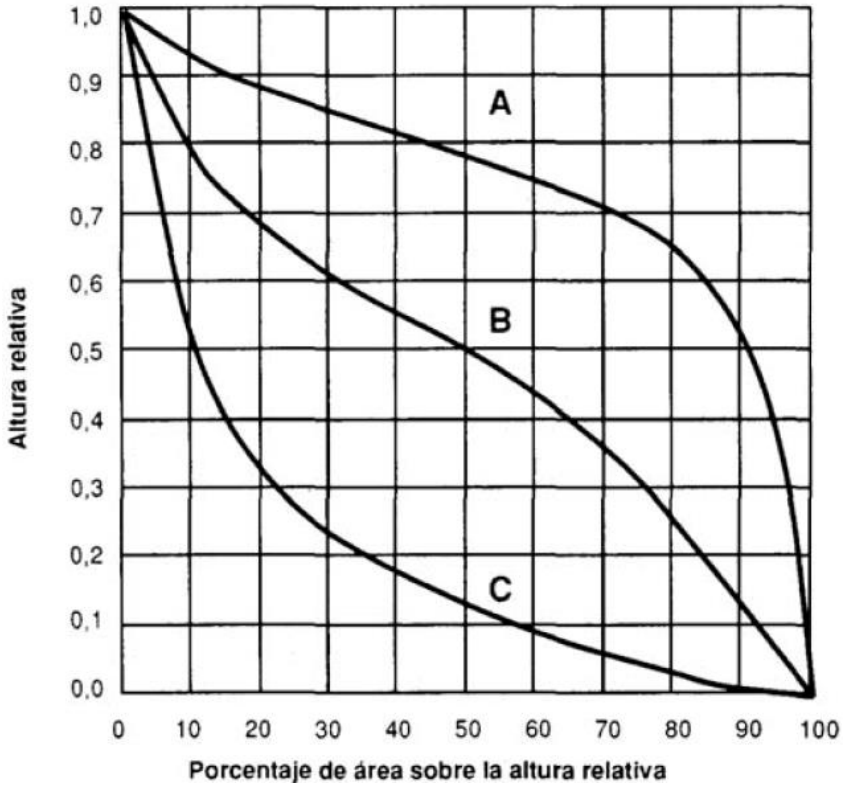
Nota. Obtenido de la guía de estudio para cátedras (Villodas, 2008).

Según Villodas (2008), la curva hipsométrica permite identificar el grado de evolución geomorfológica de una cuenca, clasificándose en tres tipos principales:

- Tipo A (Juvenil): caracteriza a las cuencas jóvenes, con un relieve abrupto y pendientes pronunciadas, donde la erosión es dominante y la mayor parte del área se encuentra a elevaciones altas.
- Tipo B (Madura): corresponde a cuencas en equilibrio, con relieves intermedios y una distribución más uniforme del área entre las distintas altitudes, indicando un balance entre los procesos de erosión y sedimentación.
- Tipo C (Vieja o Senil): representa cuencas con topografía suavizada y escasas pendientes, donde predomina la sedimentación y la erosión ha reducido considerablemente las elevaciones.

Figura 5

Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca



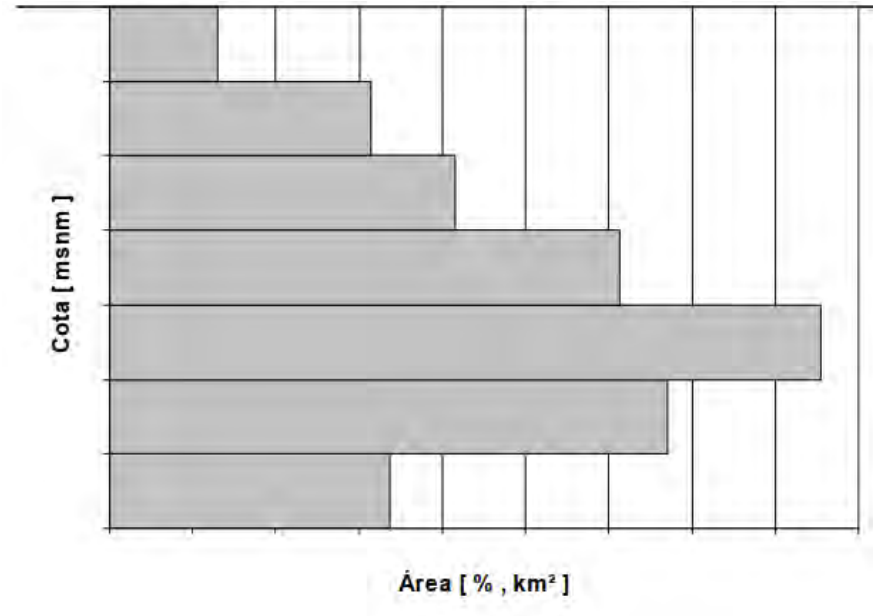
Nota. Obtenido de la guía de estudio para cátedras (Villodas, 2008).

2.2.3.4.2. Polígono de frecuencia de altitudes

El polígono de frecuencia de altitudes, también denominado diagrama de frecuencias altimétricas, constituye una representación gráfica complementaria a la curva hipsométrica. Según Villodas (2008), este diagrama puede emplearse incluso como sustituto de la curva hipsométrica, ya que muestra, en forma escalonada, las superficies comprendidas en intervalos constantes de altura, expresadas tanto en kilómetros cuadrados como en porcentajes.

Figura 6

Diagrama de frecuencias aritméticas de una cuenca



Nota. Obtenido de la guía de estudio para cátedras (Villodas, 2008).

2.2.3.4.3. Altitud media de la cuenca (Hm)

La altitud media de una cuenca (Hm) constituye un parámetro geomorfológico fundamental, ya que permite caracterizar su comportamiento hidrológico general

Diversos procesos hidrológicos, como la evaporación, la precipitación y el derretimiento de nieve, se hallan íntimamente relacionados con la altitud. Sin embargo, es necesario destacar que la altitud de una cuenca tiene mayor influencia sobre la escorrentía, afectando principalmente el tipo de crecidas más que su magnitud (Villodas, 2008).

Puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i h_i}{A} \quad (4)$$

Donde:

- H_m es la altitud media de la cuenca
- a_i representa las áreas parciales comprendidas entre curvas de nivel consecutivas
- h_i corresponde a las alturas medias entre dichas curvas
- A es el área total de la cuenca

2.2.3.4.4. Rectángulo Equivalente

De acuerdo con Villodas (2008), se asume que una cuenca puede comportarse hidrológicamente de manera análoga a un rectángulo que posea igual área, perímetro, índice de compacidad y distribución altitudinal, por lo que conserva su curva hipsométrica.

En esta representación, las curvas de nivel se transforman en líneas rectas que son paralelas al lado menor del rectángulo, que representa el punto salida o desagüe. De esta forma, las pendientes naturales del terreno se reemplazan por las pendientes del rectángulo equivalente, manteniendo la relación general de alturas y escurrimiento de la cuenca real.

De modo similar, Villón Béjar (2006) y Ordóñez Gálvez (2012) describen este procedimiento como una transformación geométrica puramente teórica, que facilita la comparación hidrológica entre cuencas al conservar su relación entre área (A), perímetro (P) e índice de compacidad (Kc). Los lados del rectángulo equivalente pueden calcularse mediante las siguientes expresiones empíricas:

$$L = \frac{K_c}{1.12}\sqrt{A}\left[1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{K_c})^2}\right] \quad (5)$$

$$l = \frac{K_c}{1.12}\sqrt{A}\left[1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{K_c})^2}\right] \quad (6)$$

Donde:

- L es la longitud del lado mayor del rectángulo
- l es la longitud del lado menor del rectángulo
- K_c índice de compacidad
- A es el área total de la cuenca

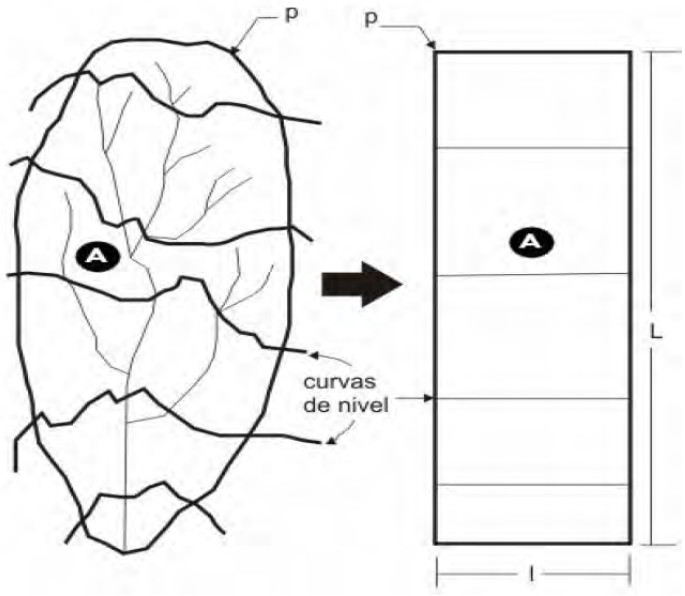
Debiendo verificarse que:

$$L + l = \frac{P}{2}\ (Semiperímetro) \qquad (7)$$

$$Lxl = A \qquad (8)$$

Figura 7

Transformación de una cuenca en un rectángulo equivalente



Nota. Hidrología, Villon Béjar (2006).

2.2.3.5. Parámetros de Drenaje

2.2.3.5.1. Numero de orden de los causes

El grado de ramificación o número de orden de los cauces constituye un parámetro fundamental para caracterizar la estructura jerárquica de la red de drenaje de una cuenca. Este parámetro permite analizar la organización y desarrollo del sistema fluvial, así como su relación con las propiedades geomorfológicas e hidrológicas del territorio.

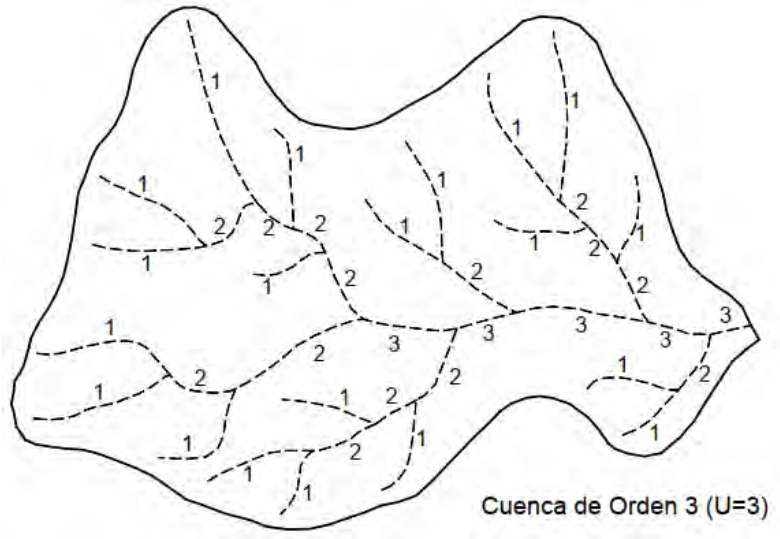
El estudio de la jerarquización de los cauces fue introducido por Horton (1945), quien propuso un método cuantitativo para analizar las redes de drenaje, estableciendo relaciones entre el número, longitud y área de las subcuencas correspondientes a cada orden. Posteriormente, Strahler (1964) perfeccionó este sistema, proporcionando un criterio más operativo y ampliamente utilizado en hidrología.

Según el método de Strahler (1964), la clasificación de los cauces se establece de la siguiente manera:

- Cauce de primer orden: son aquellos que no poseen tributarios reconocibles y generalmente presentan escorrentía intermitente.
- Cauce de segundo orden: resulta de la confluencia de dos cauces de primer orden.
- Cauce de orden n+1: se forma cuando confluyen dos cauces de orden n.
- Mientras un cauce de menor orden se une con otro de mayor orden, el cauce resultante mantiene el orden más alto.

Figura 8

Numero de orden de causes de Horton



Nota. Obtenido de la guía de estudio para cátedras (Villodas, 2008).

De acuerdo con Villodas (2008), en cuencas que no presentan marcadas irregularidades geomorfológicas, los diferentes órdenes de cauces tienden a comportarse según una progresión geométrica, mostrando relaciones consistentes entre el número, longitud y área de drenaje asociadas a cada nivel jerárquico. Además, el orden del cauce principal determina el orden total de la cuenca en su punto de salida.

2.2.3.5.2. Densidad de drenaje (Dd)

La densidad de drenaje (Dd) es un parámetro morfométrico que expresa la relación entre la longitud total de los cauces de una cuenca y su superficie. Matemáticamente se expresa como:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \qquad (9)$$

Donde:

- $\sum L$ es la longitud total de los causes
- A es el área de la cuenca

Según Villodas (2008), la densidad de drenaje depende principalmente de la topografía, las condiciones del suelo y el régimen de precipitaciones. Este autor señala que valores elevados de Dd indican una red de drenaje bien desarrollada, común en terrenos de pendientes pronunciadas, suelos poco permeables o con escasa cobertura vegetal. En cambio, valores bajos se asocian a cuencas con topografía suave, suelos permeables y vegetación abundante, condiciones que favorecen la infiltración y reducen el escurrimiento superficial.

Tabla 3

Clasificación de la densidad de drenaje

Rangos de densidad	Clases
0.1 - 1.8	Baja
1.9 - 3.6	Moderada
3.7 - 5.6	Alta

Nota. Elaboración propia adaptado de Fuentes Junco (2004).

2.2.3.5.3. Extensión media de escurrimiento superficial (Es)

Es la distancia promedio que debe recorrer el agua de lluvia sobre la superficie del terreno antes de incorporarse a un cauce o corriente dentro de la cuenca. Representa, por tanto, la longitud media del flujo superficial directo, en caso de que la escorrentía se produjera en línea recta desde el punto de precipitación hasta el cauce más próximo.

Según Monsalve Sáenz (2005), esta magnitud depende de la configuración geométrica de la cuenca, la densidad de drenaje y la disposición de los cauces. Si se considera que la cuenca puede representarse mediante un área de drenaje rectangular, con un curso de agua de longitud L equivalente a la longitud total de las corrientes de agua en su interior; la extensión media del escurrimiento superficial se determina como:

$$E_s = \frac{A}{4 \sum L} \qquad (10)$$

Donde:

- E_s es la extensión media del escurrimiento superficial
- A es el área de la cuenca
- $\sum L$ es la longitud total de las corrientes

2.2.3.5.4. Tiempo de concentración (Tc)

El tiempo de concentración (Tc) es el período que tarda una partícula de agua en desplazarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta la sección de salida o punto de interés. Este parámetro representa el intervalo necesario para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial hacia el cauce principal, una vez que ha cesado la precipitación (Monsalve Sáenz, 2005).

De manera complementaria, Fuentes Junco (2004) indica que el tiempo de concentración puede interpretarse como el lapso comprendido entre el final del histograma de excesos y el final del escurrimiento directo, aunque también puede definirse como el tiempo entre el centroide del histograma y el punto de inflexión en la curva de recesión del hidrograma.

El valor de Tc es fundamental en el análisis hidrológico, ya que condiciona la forma y el tiempo de respuesta del hidrograma, influyendo directamente en el caudal pico generado por un evento de lluvia. Existen diversas ecuaciones empíricas para su estimación, entre las cuales destacan según a las características de la cuenca Piuray las de Giandotti, Ven Te Chow, Dooge y Temez.

Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad (11)$$

Ven Te Chow:

$$t_c = 0.213 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.64} \quad (12)$$

Dooge:

$$t_c = 0.3 * \frac{A^{0.4}}{S^{0.1}} \quad (13)$$

Temez:

$$t_c = 0.28 * \left(\frac{L}{\sqrt[4]{S}}\right)^{0.76} \quad (14)$$

Donde:

- T_c es el tiempo de concentración
- L es la longitud del cauce principal (km)
- S es la pendiente del cauce principal (m/m)
- A es el área de la cuenca (km2)
- H es la diferencia de alturas (m)

2.2.4. Teledetección e información geoespacial

La teledetección constituye un conjunto de técnicas orientadas a la obtención de información sobre objetos o fenómenos sin necesidad de contacto físico directo. En las aplicaciones terrestres, esta información es obtenida mediante sensores instalados en plataformas aéreas o espaciales, los cuales registran la energía electromagnética reflejada, emitida o retrodispersada por la superficie terrestre. Por esta razón, la teledetección constituye

una herramienta fundamental para la observación y caracterización espacial del territorio (Slonecker et al., 2013; NASA, s. f.).

Figura 9

Esquema de funcionamiento de la teledetección.



Nota. Esquema de teledetección adaptada de Kogut (2021).

La información obtenida mediante la teledetección, junto con otras fuentes de información geoespacial, permite representar espacialmente las características físicas de una cuenca hidrográfica. En la modelación hidrológica, la información relacionada con la topografía, los suelos, la cobertura terrestre y otros atributos espaciales constituye un insumo necesario para representar la configuración física de la cuenca y los procesos hidrológicos que se desarrollan en ella (Arnold et al., 1998; Soil & Water Assessment Tool SWAT, s. f.).

En modelos hidrológicos semidistribuidos como SWAT, la representación espacial de la cuenca considera la variabilidad de las condiciones físicas del territorio. La información asociada a la topografía, las propiedades del suelo y la cobertura o uso del terreno forma parte de los elementos utilizados para caracterizar las unidades espaciales y representar los procesos de balance hídrico dentro de la cuenca (SWAT, s. f.).

Tabla 4

Principales insumos de información geoespacial y su aplicación en la modelación hidrológica

Tipo de información geoespacial	Información que representa	Principales aplicaciones en la modelación hidrológica
Modelo Digital de Elevación (MDE)	Elevación y configuración del relieve	Delimitación de cuencas, determinación de pendientes, dirección y acumulación del flujo y definición de la red de drenaje
Información edafológica	Distribución y propiedades físicas de los suelos	Representación de procesos de infiltración, almacenamiento de agua, percolación y movimiento del agua en el suelo
Cobertura terrestre	Elementos físicos y biológicos de la superficie	Representación de procesos de intercepción, evapotranspiración, infiltración y generación de escorrentía superficial

Nota. Elaboración propia con base en Arnold et al. (1998), Jenson y Domingue (1988), Chen et al. (2015) y documentación técnica del modelo SWAT.

2.2.4.1. Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) constituye una representación digital de la elevación de la superficie terrestre, generalmente almacenada en una estructura raster o cuadrícula de celdas. Esta información permite representar y analizar cuantitativamente las variaciones del relieve dentro de un área determinada (U.S. Geological Survey USGS, 2017).

Figura 10

Representación del relieve mediante un modelo digital de elevación.



Nota. Obtenido de EARTHDATA (NASA, 2021).

En el análisis hidrológico, los datos de elevación permiten generar derivados topográficos relacionados con la dirección del flujo, la acumulación del flujo y la pendiente. Asimismo, estos derivados pueden utilizarse para identificar redes de drenaje y delimitar cuencas y áreas de aporte, constituyendo elementos fundamentales para la representación espacial del escurrimiento superficial (Jenson & Domingue, 1988; USGS, 2017).

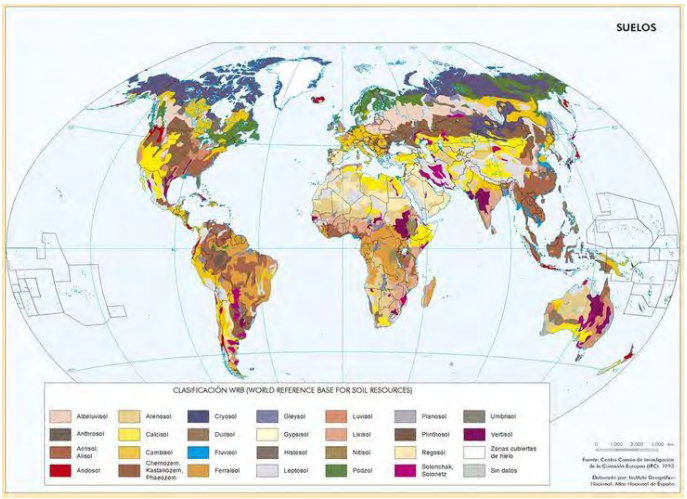
La representación de los procesos hidrológicos derivados del relieve depende de la calidad de la información topográfica utilizada. En particular, la configuración del MDE influye en la generación de derivados como la dirección y acumulación del flujo y, en consecuencia, en la representación de las divisorias y redes de drenaje (USGS, s. f.).

2.2.4.2. Información edafológica

La información edafológica permite representar la distribución espacial de los suelos y las características que influyen en el comportamiento del agua dentro del territorio. Las propiedades del suelo intervienen en procesos hidrológicos como el almacenamiento de agua, la infiltración, la percolación y el movimiento del agua dentro del perfil edáfico (Arnold et al., 1998; SWAT, s. f.).

Figura 11

Distribución mundial de los principales grupos de suelos según la clasificación WRB



Nota. Distribución mundial de los principales grupos de suelos según la clasificación WRB. Adaptado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1993).

En los modelos hidrológicos, la caracterización del suelo resulta importante debido a que las propiedades edáficas condicionan la respuesta hidrológica de las diferentes áreas de una cuenca. En el modelo SWAT, la información relacionada con los suelos forma parte de los parámetros utilizados para representar los procesos hidrológicos y las características de las unidades de respuesta hidrológica (SWAT, s. f.).

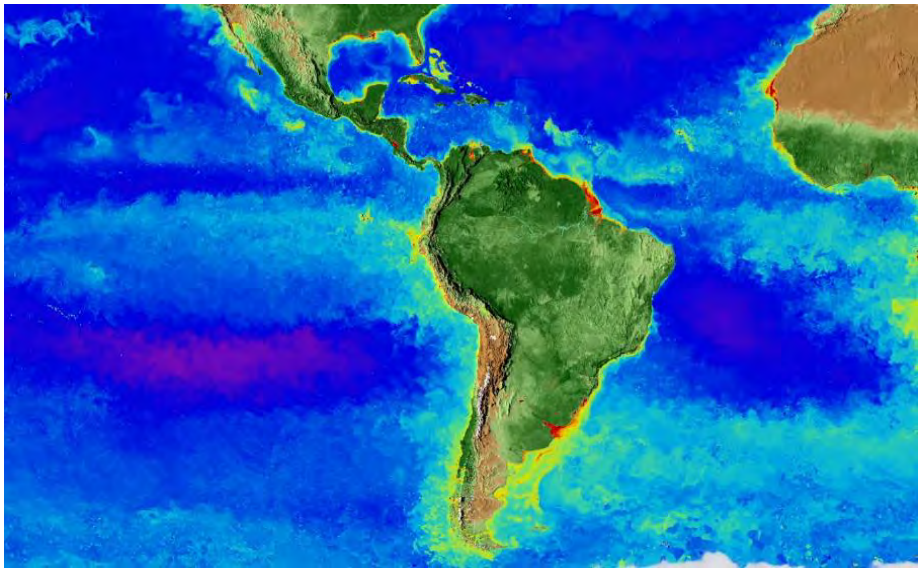
Los mapas de suelos constituyen fuentes de información geoespacial para identificar y representar la distribución de las unidades edáficas en un territorio. Entre las bases de datos de referencia a escala global se encuentra el Mapa Mundial de Suelos FAO/UNESCO, desarrollado como una representación global de los recursos edáficos mundiales a escala 1:5 000 000 (Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, s. f.).

2.2.4.3. Cobertura terrestre

La cobertura terrestre se refiere a los elementos físicos y biológicos presentes y observables sobre la superficie terrestre. Esta puede incluir diferentes categorías, como áreas agrícolas, bosques, pastizales, cuerpos de agua, superficies artificiales y áreas con escasa cobertura vegetal (Chen et al., 2015).

Figura 12

Representación satelital de las características de la superficie terrestre en América del Sur.



Nota. Obtenido de SVS (NASA, 2017).

La distribución espacial de la cobertura terrestre influye en diversos procesos hidrológicos, debido a que las características de la superficie condicionan la interacción entre la precipitación y el territorio. En la modelación hidrológica, las condiciones de cobertura se relacionan con procesos como la intercepción, la evapotranspiración, la infiltración y la generación de escorrentía superficial (Arnold et al., 1998; SWAT, s. f.).

En modelos como SWAT, la información relacionada con la cobertura o uso del terreno se integra con la información topográfica y edafológica para representar espacialmente unidades con características hidrológicas diferenciadas. De esta manera, la variabilidad de las condiciones físicas presentes dentro de una cuenca puede incorporarse en la representación de los procesos hidrológicos del modelo (SWAT, s. f.).

Los productos globales de cobertura terrestre constituyen una fuente importante de información geoespacial para la caracterización del territorio. GlobeLand30 es un producto global de cobertura terrestre desarrollado con una resolución espacial de 30 m, diseñado para representar diferentes categorías de cobertura a escala mundial (Chen et al., 2015).

2.2.5. Información Meteorológica

2.2.5.1. Precipitación

La cantidad de de agua que cae a lo largo de un periodo de tiempo específico. La cantidad de agua que la laguna se acumula o pierde está directamente influenciada por las precipitaciones (Ordóñez Gálvez, 2012).

- Precipitación mensual (mm): La precipitación total promedio mensual, esencial para calcular la cantidad de agua.
- Intensidad de precipitación (mm/h): Medida del volumen de lluvia que cae rápidamente, lo que repercute en la rapidez con que se llenan las lagunas.

2.2.5.2. Temperatura

Cantidad de calor en la atmósfera que influye en cómo se evapora el agua en masas de agua, como la laguna Piuray (Chapman, 1996).

- Temperatura media mensual (°C): Es la temperatura media de todo un mes y es información importante sobre cómo afecta a la evaporación.
- Aumento de temperatura (°C): La evaporación del agua de la laguna puede verse acelerada por aumentos de temperatura en determinadas épocas.

2.2.5.3. Base de datos PISCO

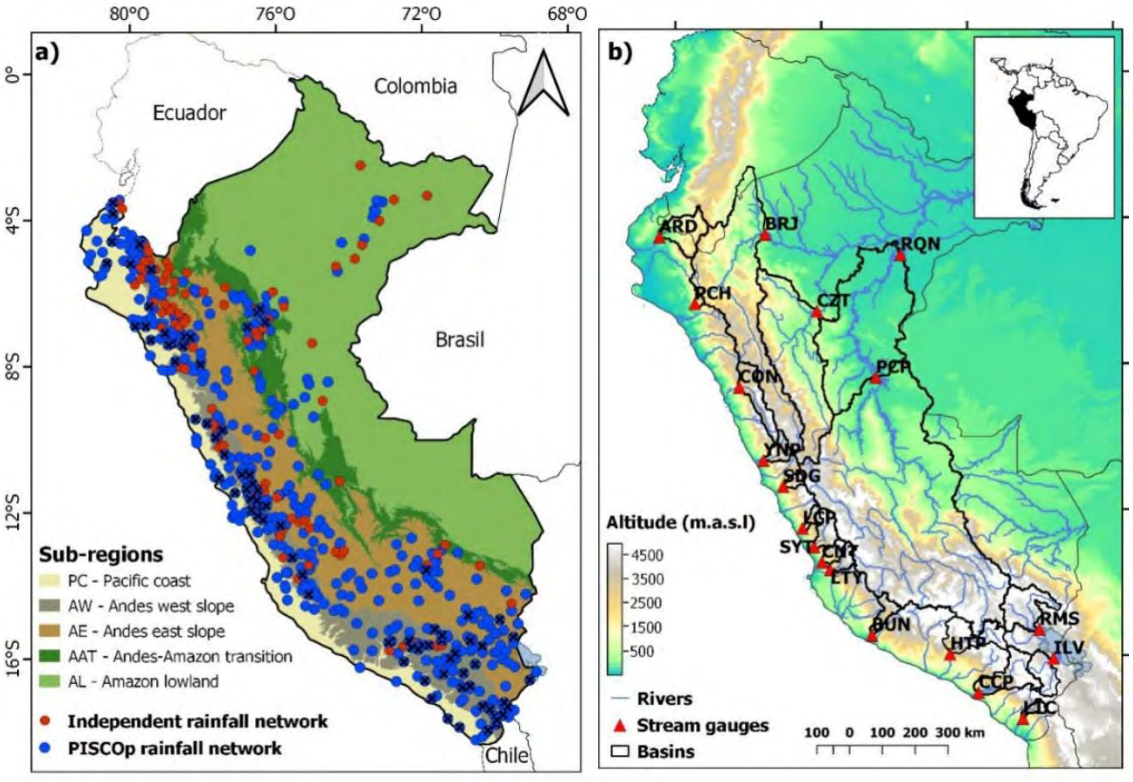
El producto PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and hydrological Observations) constituye un conjunto de datos climáticos de alta resolución espacial (0.1°, aproximadamente 10 km) desarrollado por el SENAMHI para el período 1981 hasta el 2016 (Aybar et al., 2025). Su algoritmo de fusión combina métodos deterministas y geoestadísticos de interpolación, integrando tres fuentes principales de información pluviométrica:

- El control nacional de calidad de los registros y la base de datos de pluviómetros completados.
- Climatologías de precipitación enriquecidas con indicadores de radar.
- Estimaciones satelitales infrarrojas del Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRP).

PISCO constituye una fuente de información pluviométrica espacialmente distribuida para el territorio peruano, cuya generación integra registros observados y fuentes complementarias de información mediante procedimientos de interpolación y control de calidad. Debido a estas características, el producto ha sido desarrollado para apoyar aplicaciones relacionadas con los estudios hidrológicos y la gestión de los recursos hídricos (Aybar et al., 2020).

Figura 13

Mapa de Data de PISCO V2.1



Nota. Figura 13. a) Extensión espacial de PISCOp V2.1. Los puntos azules y rojos representan PISCOp V2.1 y la red pluviométrica independiente, respectivamente. Los puntos con una cruz indican las estaciones con más del 95 % de datos del período 1981-2016. b) Ubicación y cuencas aguas arriba de los aforadores seleccionados (Aybar et al., 2020).

2.2.5.4. Análisis de correlación

El coeficiente de correlación de Pearson (r) permite medir la intensidad y dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, con valores entre −1 y +1. En una regresión lineal simple, el coeficiente de determinación (R^2) corresponde al cuadrado de r y representa la proporción de variabilidad explicada por el modelo (Pearson, 1896).

El coeficiente de correlación de Pearson se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{r} = \frac{\sum_{t=1}^{n}(x_i-\overline{x})(y_i-\overline{y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2 \sum_{t=1}^{n}(y_i-\overline{y})^2}} \qquad (15)$$

Donde r es el coeficiente de correlación de Pearson, x_i es el valor de la variable independiente, y_i es el valor de la variable dependiente, $\overline{x}$ **es la** media de la variable x, $\overline{y}$ **es la** media de la variable y; n es el número de observaciones.

2.2.6. Modelo Hidrológico

Es una herramienta que permite simular los procesos hidrológicos de una cuenca, utilizando variables meteorológicas como precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento (Andrade & Ribeiro, 2020).

Los modelos hidrológicos pueden clasificarse en empíricos, conceptuales, teóricos y distribuidos o semidistribuidos, según la forma en que representan los procesos y la variabilidad espacial de la cuenca (Ocampo & Vélez, 2014).

En resumen, como clasificación general de modelos hidrológicos tenemos:

- Empíricos: Basados en relaciones estadísticas observadas
- Conceptuales: Representan de forma simplificada los procesos físicos mediante ecuaciones.
- Teóricos o físicamente basados: Representan los procesos mediante principios físicos y ecuaciones diferenciales.
- Distribuidos / semidistribuidos: Consideran la variabilidad espacial dentro de la cuenca.

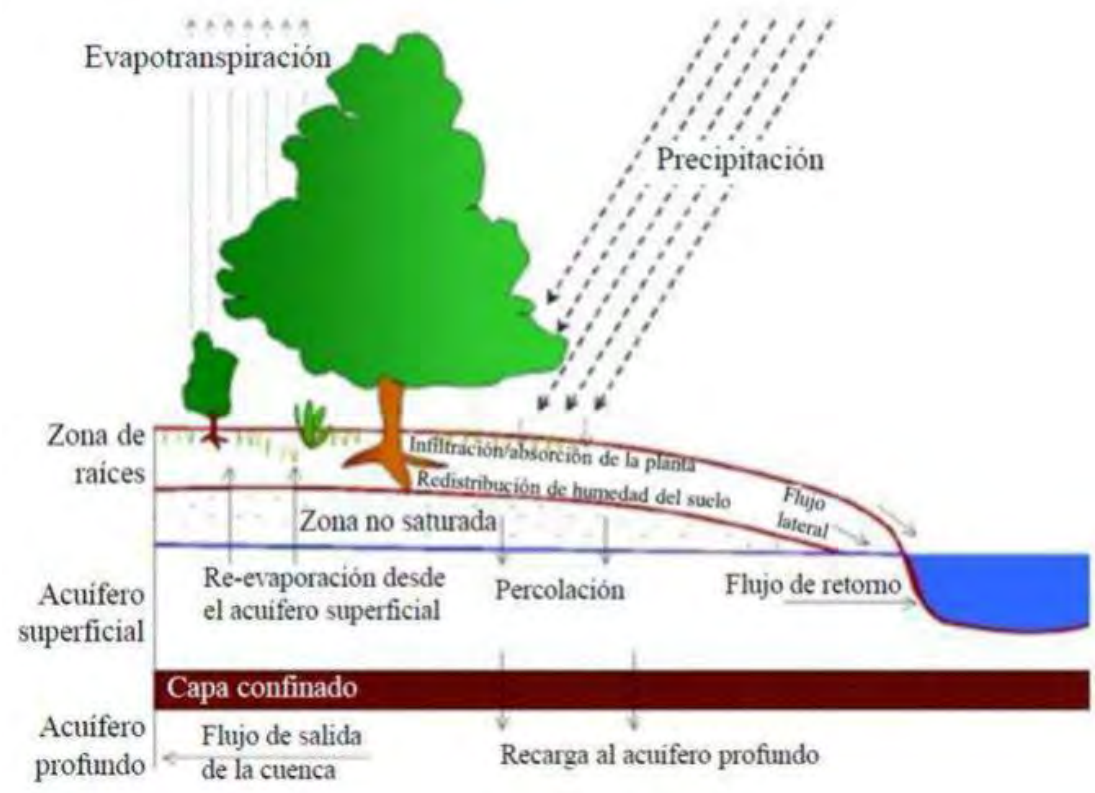
2.2.6.1. Modelo hidrológico SWAT (Soil Water Assessment Tool)

Un instrumento para evaluar el suelo y el agua es el modelo hidrológico SWAT, desarrollado por la Universidad A&M de Texas y el Servicio de Investigación Agrícola. Se utiliza para analizar los efectos de los cambios en la cobertura y uso del suelo, así como diferentes regímenes de caudal. Este modelo semidistribuido permite simular largos periodos y describir procesos como la escorrentía superficial y subsuperficial, erosión, deposición de sedimentos y calidad del agua (Andrade & Ribeiro, 2020).

La capacidad de describir secuencialmente una variedad de procesos. Esta capacidad permite cuantificar los impactos cubierta del suelo sobre la calidad del agua, las cargas contaminantes, la erosión, la deposición de sedimentos y la escorrentía superficial y subsuperficial. Además, es crucial recordar que se requiere una cantidad significativa de datos sobre topografía, vegetación, suelos, clima y factores antropogénicos para obtener resultados correctos sobre el flujo de agua y sedimentos. Algunos autores sostienen que esto constituye una limitación para la aplicabilidad del modelo (Blainski, Porras, Garbossa, & Pinheiro, 2017).

Figura 14

Ciclo Hidrologico - ArcSwat



Nota. (Neitsch et al., 2005)

En este estudio actual, se utilizará el modelo SWAT junto con diversas herramientas adicionales que facilitarán su uso en la práctica y la verificación hidrológica:

- ArcSWAT: En el ámbito laboral, ArcSWAT es una herramienta muy valorada. Se ha creado una interfaz visual con el propósito de incorporar el modelo hidrológico SWAT del entorno de ArcGIS. Con esta herramienta, es posible llevar a cabo la delimitación de cuencas

hidrográficas, crear subcuencas, establecer Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRU) y cargar los datos espaciales y climáticos requeridos para la simulación. ArcSWAT simplifica la creación de datos espaciales y la configuración inicial del modelo SWAT (Winchell et al., 2013).

- SWAT Output Viewer: Instrucciones del usuario: Profesional Una vez completada la primera simulación, se empleará esta utilidad para transferir los datos producidos por el sistema en forma de tabla, los cuales se analizarán en Microsoft Excel. En esta fase se podrá realizar la comparación, representación gráfica y análisis de elementos fundamentales como el flujo simulado, escurrimiento, transpiración de agua y equilibrio hídrico (Yu, 2018).

- SWAT-CUP (Calibration and Uncertainty Programs). Para calibración y manejo de incertidumbres, diseñados para expertos en el campo. Con el objetivo de perfeccionar la exactitud del modelo, se llevará a cabo el ajuste y la confirmación de los resultados a través de SWAT-CUP, en concreto empleando el método SUFI-2 (Ajuste Secuencial de Incertidumbres). Mediante esta herramienta es factible modificar los parámetros clave del modelo basándose en información empírica, como los caudales registrados en el pasado, y determinar la incertidumbre presente en las simulaciones realizadas (Gassman et al., 2007)

2.2.6.2. Componentes principales del modelo SWAT

2.2.6.2.1. Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU)

Constituyen áreas dentro de una cuenca hidrográfica que se agrupan en función de la similitud en características tales como la composición del suelo, el uso del suelo y la pendiente del terreno. Dada la homogeneidad de sus propiedades, cada Unidad Hidrológica de Respuesta (HRU), presenta un comportamiento similar ante fenómenos como la precipitación, la infiltración, la escorrentía y otros procesos relacionados con la hidrología. Los modelos hidrológicos, como SWAT, segmentan la cuenca en Unidades de Respuesta Hidrológica

(HRU) con el propósito de simular de manera más precisa el balance hídrico, la generación de caudales y los procesos de transporte de agua y sedimentos (Arnold et al., 2009).

2.2.6.2.2. Escorrentía superficial - Método del Número de Curva (CN)

El Número de Curva (Curve Number, CN) es un método empírico desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS, hoy NRCS) para estimar la escorrentía superficial (Q) generada por una precipitación total P en una parcela o cuenca. El método relaciona la precipitación efectiva que produce escorrentía con la precipitación total mediante una función no lineal dependiente de la capacidad de retención potencial del suelo (S), la cual a su vez se calcula a partir del CN (Arnold et al., 2009).

2.2.6.2.3. Clasificación de suelos según la FAO

La FAO utiliza la WRB (World Reference Base for Soil Resources) emplea la Base de Referencia Mundial para los Recursos del Suelo (WRB, por sus siglas en inglés) como un sistema internacional para la clasificación de suelos. SWAT utiliza estas unidades para diferenciar propiedades físicas fundamentales, tales como la textura, la profundidad, la densidad y la capacidad hídrica.

Regosoles

Los Regosoles se caracterizan por ser suelos jóvenes y poco desarrollados, presentando una escasa diferenciación de horizontes. Su textura tiende a ser arenosa o de tipo grueso. Presentan una baja capacidad de retención de humedad y se encuentran con frecuencia en laderas o áreas afectadas por la erosión (FAO, s. f.).

Paramosoles

Los Paramosoles, clasificados como Histosoles o Andosoles según el sistema de clasificación WRB, son suelos que se desarrollan en ecosistemas altoandinos. Estos suelos se caracterizan por su elevada concentración de materia orgánica, así como por su notable

capacidad de retención de agua y su impermeabilidad. Son fundamentales para la regulación hídrica en las áreas de páramo y pastizales andinos (FAO, s. f.).

2.2.6.2.4. Cobertura y uso del suelo en la cuenca de estudio

Pajonal andino y matorral ralo

El pajonal andino se caracteriza por la presencia de pastos duros de altura, cuyas raíces profundas contribuyen a la infiltración y almacenamiento de agua. El matorral ralo se caracteriza por una vegetación dispersa que contribuye a la reducción de la escorrentía, aunque presenta una menor densidad foliar en comparación con otros tipos de vegetación (MINAM, 2018).

Agricultura andina

La agricultura andina se caracteriza por la implementación de cultivos tradicionales en laderas y terrazas, tales como el haba, maíz, la papa y la quinua. Este sistema agrícola se complementa con un manejo del agua que se realiza a través de canales y surcos. La hidrología se ve afectada por variaciones en la infiltración, la extracción de agua para riego y la evapotranspiración (MINAM, 2019).

Figura 15

Cobertura de las áreas agrícolas en la cuenca de estudio



Nota. Predomina áreas de cultivo de papa (Solanum tuberosum)

Matorrales arbustivos

Los matorrales arbustivos constituyen comunidades vegetales caracterizadas por una alta densidad de arbustos, los cuales presentan raíces profundas. Estas características contribuyen a la reducción de la erosión del suelo, al incremento de la infiltración de agua y a la regulación de la escorrentía. El ecosistema presenta una vegetación xerofítica caracterizada por asociaciones arbustivas, en las cuales se intercalan cactáceas columnares y un herbazal efímero. La densidad de la vegetación se encuentra en un rango del 30 al 60% (MINAM, 2019).

Suelo desnudo o áreas degradadas

Se trata de superficies desprovistas de cobertura vegetal, las cuales se encuentran asociadas a procesos de erosión, compactación y una reducida capacidad de infiltración. Estas condiciones provocan la generación de elevados volúmenes de escorrentía y la consiguiente pérdida de suelos (MINAM, 2019).

Figura 16

Áreas con cobertura vegetal escasa o ausente en la cuenca de estudio con poca vegetación



Nota. Suelos desprovistos de cobertura

Plantación Forestal

Las plantaciones forestales constituyen áreas que se establecen a través de la siembra o plantación intencionada de árboles, generalmente de una o de un número limitado de especies seleccionadas. Su objetivo principal es la producción planificada de bienes y servicios forestales. Las plantaciones se distinguen por presentar una estructura, densidad y edades relativamente homogéneas, lo que facilita la optimización de procesos tales como el crecimiento, manejo, aprovechamiento y regeneración (MINAM, 2019).

Figura 17

Cobertura vegetal en la zona de estudio



Nota. Predomina la plantación forestal de eucalipto

Cuerpos de agua (Laguna Piuray)

Los cuerpos de agua, como la Laguna Piuray, desempeñan un papel fundamental en la regulación del flujo hídrico. Estos cuerpos almacenan agua proveniente de la escorrentía, la recarga subterránea y la precipitación, lo que influye de manera directa en el caudal y el balance hídrico de la cuenca (MINAM, 2019).

La dinámica de la laguna está condicionada por el balance entre las entradas y salidas de agua, entre las principales entradas esta la precipitación directa sobre el espejo de agua, el escurrimiento superficial y el aporte del flujo subterráneo; y en las salidas corresponden principalmente a la evapotranspiración, la derivación de agua para abastecimiento poblacional y las descargas naturales.

Figura 18

Cuerpo acuático superficial de la laguna Piuray



Nota. Vista del espejo de agua de la laguna Piuray, registrada desde la orilla, representativa de las condiciones hidrológicas del embalse.

2.2.6.3. Oferta hídrica con el modelo Swat

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) simula la dinámica hidrológica de una cuenca a partir de un balance de masas que se resuelve de manera continua en el tiempo. La oferta hídrica constituye el principio fundamental sobre el cual se estiman los procesos de escorrentía, infiltración, almacenamiento y flujo subterráneo. La ecuación general del balance hídrico en mm es:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - ET - Wseep - Q_{gw}) \qquad (15)$$

Donde:

- SW_t: Contenido de agua en el suelo al final de la cuenca
- SW: Contenido de agua inicial en el suelo
- R_{day}: Precipitación diaria
- Q_{supf}: Escorrentía superficial
- ET: Evapotranspiración
- $Wseep$: percolación desde el perfil del suelo hacia la zona vadosa (agua que abandona el perfil del suelo).
- Q_{gw}: Flujo de retorno del acuífero (baseflow) hacia el cauce.

Esta formulación permite representar de manera integrada los flujos superficiales y subterráneos, así como su variación estacional, lo cual es esencial para la simulación hidrológica en cuencas altoandinas. El modelo distribuye estos procesos dentro de cada HRU y posteriormente los integra a escala de subcuenca y cuenca.

2.2.6.4. Calibración y Validación

a. Calibración: en el modelo hidrológico SWAT, la calibración consiste en ajustar los parámetros del modelo hasta que las simulaciones de caudal, precipitación, temperatura u otras variables reproduzcan de forma adecuada los valores de referencia en la cuenca. Este proceso busca minimizar la diferencia entre los datos medidos y simulados mediante indicadores estadísticos como el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), el coeficiente de determinación (R^2) y el error porcentual en el balance hídrico (PBIAS) (WWEE, s. f.).

b. Validación: una vez calibrado, el modelo debe comprobarse en un período diferente de datos de referencia para evaluar su capacidad predictiva. La validación verifica que los parámetros ajustados durante la calibración permiten reproducir de manera aceptable las condiciones hidrológicas de la cuenca en un periodo independiente, asegurando la confiabilidad del modelo antes de aplicar escenarios de cambio climático (WWEE, s. f.).

c. Análisis de sensibilidad de parámetros: El modelo hidrológico de una cuenca está influenciado por diversos parámetros. En SWAT, estos representan procesos reales y deben mantenerse dentro de rangos de incertidumbre realistas. Por ello, la calibración y validación inicia con la identificación de los parámetros más sensibles. (Arnold et al., 2009).

- **SUFI-2:** Al comparar los métodos SUFI-2, GLUE, ParaSol y MCMC en la simulación de caudales, concluyeron que "SUFI-2 mostró un mejor equilibrio entre eficiencia computacional, precisión en la simulación y representación de la incertidumbre, lo que lo convierte en el método más adecuado para la calibración de modelos hidrológicos en SWAT" (Khoi & Thom, 2015).

d. Variables de Calibración: Entre las principales variables empleadas en la calibración de modelos como SWAT (Soil and Water Assessment Tool) se encuentran:

- CN-2 (Número de curva de escorrentía): representa el comportamiento de escorrentía del suelo y cobertura vegetal (USDA, 1972).
- ALPHA_BF (factor de recesión del flujo base): controla la descarga del acuífero hacia el cauce (Neitsch et al., 2011).
- GW_DELAY (tiempo de retardo de recarga del acuífero): determina el retraso entre la infiltración y la respuesta en el acuífero poco profundo.
- GWQMN (nivel mínimo del agua en el acuífero poco profundo para generar flujo base).
- ESCO (factor de compensación de evaporación del suelo).
- SOL_AWC (capacidad de agua disponible en el suelo).

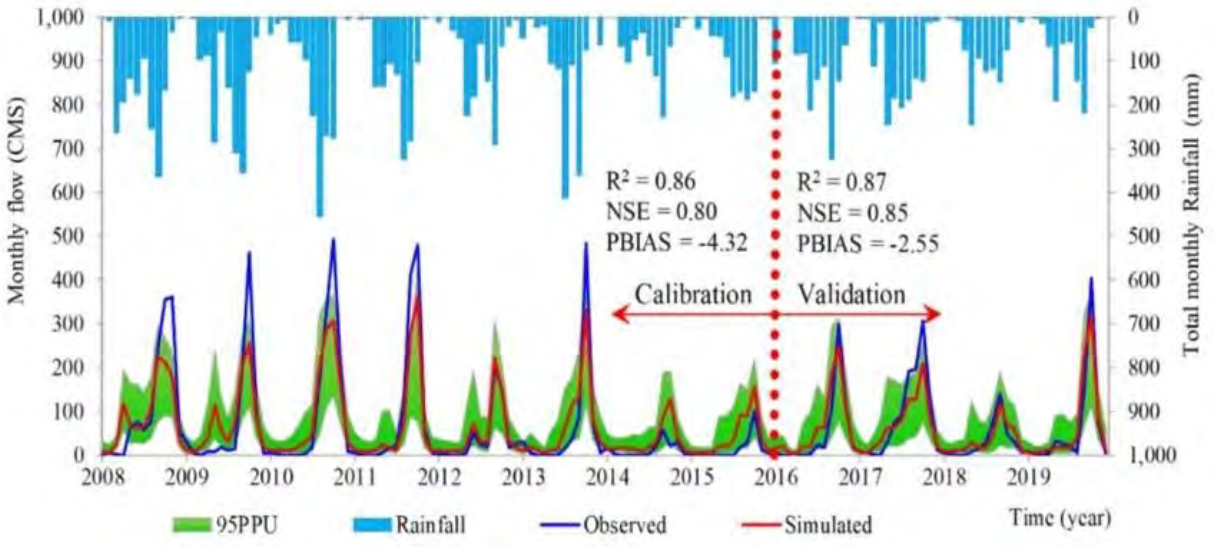
Estas variables se encuentran descritas en los archivos de entrada del modelo, como .mgt, .gw, .hru y .sol (Arnold et al., 2009).

e. Indicadores estadísticos de desempeño: Para evaluar la calidad del ajuste de un modelo hidrológico, se emplean diferentes indicadores estadísticos:

- **Coeficiente de correlación (r):** El coeficiente de correlación de Pearson ® permite medir la intensidad y dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Su valor varía entre −1 y +1, donde el signo indica la dirección y el valor absoluto representa la intensidad de la relación (Pearson, 1896).
- **Coeficiente de determinación (R^2):** Expresa la proporción de la varianza de los datos observados que es explicada por el modelo. Sus valores oscilan entre 0 y 1, siendo un ajuste perfecto aquel cercano a 1 (Krause et al., 2005).
- **Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE):** Propuesto por Nash y Sutcliffe (1970), evalúa la capacidad predictiva del modelo en función de la relación entre valores simulados y observados. Sus valores van desde -∞ hasta 1, donde valores mayores a 0.75 se consideran muy buenos (Nash & Sutcliffe, 1970).
- **Porcentaje de sesgo (PBIAS):** Mide la tendencia media del modelo a sobreestimar o subestimar las observaciones. Valores positivos indican subestimación, mientras que valores negativos indican sobreestimación (Gupta et al., 1999).

Figura 19

Curva de calibración del caudal de salida (FLOW_OUT_8) en SWAT-CUP



Fuente: Adaptado de Prasanchum et al. (2022), Geographia Technica.

Tabla 5

Indicadores estadísticos de desempeño

Criterio estadístico	Rango de valores	Rendimiento del modelo	Referencia
$\boldsymbol{PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^{n}(Q_t^{obs} - Q_t^{sim}) * 100}{\sum_{t=1}^{n} Q_t^{obs}}}$	$PBIAS < \pm 10$ $\pm 10 < PBIAS < \pm 15$ $\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$ $PBIAS \geq \pm 25$	Muy bueno Bueno Satisfactorio Insatisfactorio	Moriasi et al.,2007
$\boldsymbol{R^2 = \frac{[\sum_{t=1}^{n}(Q_t^{obs} - \bar{Q}^{obs})(Q_t^{sim} - \bar{Q}^{sim})]^2}{\sum_{t=1}^{n}(Q_t^{obs} - \bar{Q}^{obs})^2 \sum_{t=1}^{n}(Q_t^{sim} - \bar{Q}^{sim})^2}}$	$R2 \geq 0.5$ $0 \leq R2 < 0.5$	Satisfactorio Malo	Santi et al., 2001
$\boldsymbol{NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(Q_t^{obs} - Q_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^{n}(Q_t^{obs} - \bar{Q}^{obs})^2}}$	$0.75 < NSE < 1.00$ $0.65 < NSE \leq 0.75$ $0.50 < NSE \leq 0.65$ $NSE \leq 0.50$	Muy bueno Bueno Satisfactorio Insatisfactorio	Moriasi et al.,2007

Donde $\boldsymbol{Q_t^{obs}}$ es el caudal de referencia en el mes t, $\boldsymbol{Q_t^{sim}}$ caudal simulado en el mes t, $\boldsymbol{\bar{Q}^{obs}}$ promedio de caudales de referencia, $\boldsymbol{\bar{Q}^{sim}}$ promedio de caudales simulados y n número de datos.

Tabla 6

Indicadores estadísticos para tener la mejor simulación

Rendimiento	Indicadores estadísticos		
	NSE	PBIAS (%)	R2
Muy bueno	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$0.75 < R2 \leq 1.00$
Bueno	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 < PBIAS < \pm 15$	$0.65 < R2 \leq 0.75$
Satisfactorio	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 < PBIAS \leq \pm 25$	$0.50 < R2 \leq 0.65$
Insatisfactorio	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$R2 \leq 0.50$

2.2.6.5. Balance hídrico

El balance hídrico es una expresión del principio de conservación de la masa aplicada al agua, mediante la cual se relacionan las entradas, salidas y variaciones en el almacenamiento de un sistema hídrico durante un determinado período. Su aplicación permite evaluar la disponibilidad y comportamiento del recurso hídrico, considerando los diferentes componentes que intervienen en el ciclo hidrológico.

De forma general, el balance hídrico puede expresarse como:

$$\Delta S = \sum I - \sum O \qquad (16)$$

Donde:

- ΔS: variación del almacenamiento de agua durante el período considerado.
- $\sum I$: suma de las entradas de agua al sistema.
- $\sum O$: suma de las salidas de agua del sistema.

Cuando las entradas superan a las salidas, aumenta el almacenamiento; cuando ocurre lo contrario, este disminuye. De esta manera, el balance hídrico permite identificar períodos de excedencia o déficit y analizar la evolución temporal de la disponibilidad de agua.

En sistemas de almacenamiento superficial, como lagos, lagunas y reservorios, el balance hídrico relaciona los aportes de agua con las pérdidas y extracciones durante un período determinado. Sus principales componentes pueden incluir la precipitación directa, los aportes superficiales y subterráneos, la evaporación y las extracciones o demandas de agua, según las características y finalidad del estudio.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

- **HG:** El grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la Laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024 es significativo.

2.3.2. Hipótesis especificas

- **HE1:** La temperatura y la precipitación del cambio climático en la laguna de Piuray presentan notable variación temporal entre los años 2000-2024.
- **HE2:** El volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray presenta una tendencia de decrecimiento entre los años 2000 y 2024.
- **HE3:** El grado de correlación entre la precipitación, temperatura y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray es significativo entre los años 2000 y 2024.

2.4. Variables

2.4.1. Identificación de variables

a. Variable independiente (X)

X1: Cambio climático:

Según CMNUCC (1992) el cambio climático se refiere a las alteraciones de las condiciones atmosféricas originadas directa o indirectamente por la actividad humana, que modifica la composición de la atmósfera y el clima. La CMNUCC distingue este cambio de la variabilidad climática natural.

- Temperatura(°C)
- Precipitación(mm)

b. Variable dependiente (Y)

Y1: Volumen de almacenamiento:

Representa la cantidad total de agua en un cuerpo de agua en un área determinada, se define como el volumen total de agua que puede contener un lago o embalse. Es un concepto esencial para la administración de recursos hídricos. En resumen, se refiere a la capacidad natural de un cuerpo de agua de retener agua sin necesidad de ninguna estructura construida (USACE, 2018).

- Caudal simulado (m3/s)
- Altura media mensual (m)
- Variación de Nivel (m)

2.4.2. Operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización De Variables

Matriz de Operacionalización						
Título de Investigación: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"						
VARIABLES	**DEFINICIÓN CONCEPTUAL**	**DEFINICIÓN OPERACIONAL**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**	**Und**	**Escala**
X1: CAMBIO CLIMÁTICO	Según CMNUCC (1992) el cambio climático es la modificación persistente de las condiciones climáticas, expresada mediante variaciones en los valores promedio, la variabilidad y las tendencias de variables como la temperatura y la precipitación. En esta investigación, se consideró como el cambio observado y proyectado en dichas variables dentro de la cuenca de la laguna Piuray.	Se midió mediante el análisis de las series históricas de temperatura y precipitación del periodo 2000-2024 y de las proyecciones climáticas CMIP6 bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Se determinaron los valores medios, acumulados, tendencias y variaciones porcentuales o absolutas de ambas variables para los periodos de análisis establecidos.	Parámetros de cambio climático	Temperatura	°C	Intervalo
				Precipitación	mm	Intervalo
Y1: VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO	El volumen de almacenamiento es la cantidad de agua contenida en la laguna en un momento determinado. Su variación depende de los aportes y salidas del sistema, incluidos la precipitación, la escorrentía, la evaporación, la infiltración, los caudales de entrada y salida y las extracciones para consumo humano (U.S. Army Corps of Engineers, 2018).	Se midió mediante los niveles del espejo de agua, la relación nivel, volumen y los caudales de entrada y salida de la laguna Piuray durante el periodo 2000-2024. Se calcularon el volumen almacenado, los valores mínimo, máximo y promedio, la variación del nivel y el cambio porcentual del volumen. Los caudales observados y simulados se utilizaron para analizar la dinámica hidrológica y evaluar el desempeño del modelo.	Caudal	Caudal simulado	m^3/s	
			Volumen de Almacenamiento	Altura media mensual	m	
				Variación de Nivel	m	

Nota. Elaboración propia

2.5. Definición de términos básicos

Evaporación

Proceso que convierte el agua en vapor y la traslada de la superficie de la laguna a la atmósfera. Las altas temperaturas aceleran este proceso (Ordóñez Gálvez, 2012).

- Tasa de evaporación (mm/año): Agua que se evapora de la laguna a lo largo del tiempo, en función de la temperatura y radiación solar.
- Déficit hídrico (m^3): cantidad de agua que se pierde por la evaporación, determinada restando las pérdidas por evaporación de las precipitaciones.

Análisis Multitemporal

Método de identificación de las variaciones de la superficie del agua y del volumen de almacenamiento que consiste en analizar datos de satélite o fotografías tomadas en distintos momentos.

- Variación del volumen de almacenamiento de la laguna a lo largo de diferentes años: la variación temporal del volumen de agua (m^3/año).
- Tendencia de disminución o incremento (%): Variación porcentual del volumen de la laguna a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

Georreferenciación

Convertir un sistema de filas y columnas en sistema de coordenadas convencional y dar coordenadas espaciales a datos o imágenes para que puedan identificarse con precisión dentro de un sistema de referencia geográfico -como un mapa o un sistema de coordenadas globales otro proceso conocido como georreferenciación (por ejemplo, latitud y longitud). Esta técnica facilita el uso de datos, como mapas o fotos de satélite, en sistemas de información geográfica (SIG) y permite evaluar los datos en combinación con otros datos geoespaciales (Sarría, s. f.).

MDE

Un modelo que no sólo ofrece información precisa sobre la altitud en una zona mediante el muestreo de puntos (como el modelo TIN) o celdas (en el caso del modelo ráster), sino que también ofrece datos sobre las relaciones de proximidad y distancia entre los distintos valores de altitud (Sarría, s. f.).

MDT

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) se utiliza para crear un conjunto de capas, o «modelo digital del terreno», que reflejan diferentes elementos de la superficie terrestre. Aunque algunas definiciones permiten incluir en el MDT cualquier variable cuantitativa regionalizada, en este caso limitamos el MDT a las capas que se obtienen directamente del MDE (Sarría, s. f.).

Ráster

En el ámbito de la teledetección, se emplea un tipo de estructura de información geoespacial denominado formato de cuadrícula para ordenar la información en una cuadrícula de celdas o píxeles. En la matriz, cada casilla alberga un dato exclusivo que refleja una propiedad del terreno, como la capacidad de reflejar la luz, la temperatura o la densidad de vegetación. Esta estructura permite almacenar e interpretar los datos espaciales, incluidas las imágenes de satélite, como una cuadrícula. Cada píxel de la trama representa una zona diferente del paisaje, y cada uno tiene el potencial de albergar datos numéricos (Sarría, s. f.).

Variabilidad Climática

Se refiere a las variaciones de las precipitaciones y temperatura que se manifiestan de manera natural en un intervalo de tiempo determinado, excluyendo las alteraciones provocadas por la actividad humana (IPCC, s. f.-a).

Gestión Hídrica

El método de desarrollar, planificar y asignar el agua de forma sostenible con el fin de garantizar que este recurso se utiliza adecuadamente en una zona determinada (Ordóñez Gálvez, 2012).

Evapotranspiración

La transpiración y la evaporación ocurren de manera simultánea, lo que complica diferenciar claramente entre ambos procesos. La evaporación en terrenos cultivados está principalmente influenciada por la gran cantidad de radiación solar que alcanza la superficie del suelo, la cual se reduce a medida que la vegetación crece y genera sombra. Durante las primeras etapas del desarrollo del cultivo, la mayor parte del agua se pierde a traves de evaporación directa, sin embargo, conforme la planta cubre completamente el suelo, la transpiración se emerge como el proceso predominante (NASA, 2025).

Cuenca hidrográfica

En los estudios hidrológicos, la cuenca hidrográfica sirve de unidad fundamental. Una red de arroyos dirige las precipitaciones hacia una única salida. Cada gota de agua de lluvia drenaría hacia el punto de la salida si la cuenca fuera impermeable (Ordóñez Gálvez, 2012).

Escurrimiento Superficial

Este proceso se da cuando el exceso de agua de la lluvia fluye sobre la superficie terrestre, contribuyendo al aumento del volumen de almacenamiento en dichas zonas (Ordóñez Gálvez, 2012).

Infiltración

La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados puesto que la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda (Chereque, 1989).

La capacidad de infiltración depende de muchos factores. Los principales son: el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica, el contenido de humedad, la cobertura vegetal y la época del año (Chereque, 1989).

Cambio de Uso del Suelo

Pueden influir en la capacidad de recarga del cuerpo de agua y cambiar el volumen de escorrentía que llega a cuerpos de agua como es la Laguna Piuray.

Anomalías Climáticas

Se trata de variaciones respecto al comportamiento medio de las variables climáticas, como la temperatura y las precipitaciones. Al alterar los ciclos de evaporación, precipitación y recarga de las masas de agua, estas anomalías pueden afectar al balance hídrico (Ordóñez Gálvez, 2012).

- La desviación de la precipitación (%) es una métrica útil para identificar sequías o periodos de precipitaciones muy elevadas. Diferencia porcentual entre la precipitación actual y la media histórica.
- Desviación de la temperatura (%): es la variación de la temperatura con respecto a la media histórica que puede provocar una mayor evaporación.

Modelación Hidrológica

Se trata de una herramienta matemática que simula y prevé cómo se comportará el ciclo del agua de una cuenca teniendo en cuenta la escorrentía, la evaporación y las precipitaciones (Ordóñez Gálvez, 2012).

Balance Hídrico

Para comprender el volumen de almacenamiento es necesario calcular el volumen de agua, como una laguna, teniendo en cuenta las entradas, como las precipitaciones, y las salidas, como la evaporación y la infiltración (Ordóñez Gálvez, 2012).

Indicadores Ambientales

Estos elementos, como la contaminación y las variaciones de temperatura, se consideran al analizar la situación ambiental. Es posible monitorear el estado ambiental de una cuenca utilizando estos indicadores (Ordóñez Gálvez, 2012).

Factores Climáticos

El comportamiento de variables como la evapotranspiración, la evaporación y la escorrentía que afectan al balance hídrico y a los procesos hidrológicos se refleja en el clima de una cuenca (Ordóñez Gálvez, 2012).

Intensidad de Lluvia

Es el volumen de agua que entra a las masas de agua se incrementa con la fuerza de las precipitaciones. No obstante, debido al impacto pospuesto del proceso de acumulación de agua, el aumento en la cantidad de agua no necesariamente se atribuye al exceso de las precipitaciones (Ordóñez Gálvez, 2012).

Balance Hidrológico

El agua constituye un recurso imprescindible para satisfacer las demandas de la población como para anticipar las variaciones del recurso en el futuro. Habilidad para suministrar agua a los habitantes pueden ser evaluadas mediante el balance hidrológico (Ordóñez Gálvez, 2012).

Calibración del modelo:

Proceso en la cual los parámetros del modelo SWAT son ajustados sistemáticamente para reproducir con precisión los datos observados. Este paso es esencial para mejorar la capacidad predictiva del modelo (Gasirabo et al., 2023).

Validación del modelo:

Etapa posterior a la calibración donde se evalúa el rendimiento del modelo utilizando datos distintos a los usados para calibrarlo, con el objetivo de verificar su confiabilidad ante distintos escenarios hidrológicos (SWAT, 2010).

Verificación de datos:

Corresponde a la revisión preliminar de la calidad, consistencia y completitud de los datos climáticos e hidrológicos antes de usarlos en el modelo, asegurando que los insumos sean confiables.

Uso de suelo:

En este estudio, uso de suelo se entiende como el conjunto de arreglos, actividades e insumos que las personas realizan sobre una determinada cobertura terrestre para producirla, modificarla o mantenerla, definición que establece una limitación directa entre la cobertura del suelo (lo que se observa físicamente en la superficie) y la acción humana (FAO, s. f.).

para la obtener la información cartográfica se utilizará GlobeLand30, producto global de 30 m de resolución.

Tipos de suelo:

En este estudio, tipos de suelo se entiende como las unidades taxonómicas que distinguen suelos en función de horizontes diagnósticos, propiedades, materiales y procesos de formación, conforme al World Reference Base for Soil Resources (WRB), estándar internacional de clasificación de suelos promovido por (FAO, s. f.).

Caudal:

El caudal es la cantidad de agua que circula por una sección transversal de un río, canal o corriente en un intervalo de tiempo determinado. Se expresa comúnmente en metros cúbicos por segundo (m^3/s) y constituye una de las variables hidrológicas más relevantes para la gestión del recurso hídrico, pues refleja la dinámica entre precipitación, escorrentía, infiltración y almacenamiento subterráneo (Chow, 1994).

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Alcance de la investigación

Según las características de esta investigación, se clasifica en el nivel **descriptivo correlacional.** Hernández y Mendoza (2018), afirman que el nivel descriptivo tiene como objetivo detallar las propiedades y características fundamentales de un fenómeno, variable o hecho dentro de un contexto específico, o cualquier otro que sea objeto de estudio. Esto conlleva a la cuantificación o recolección de datos, además de la presentación de información vinculada a una variedad de conceptos, variables, aspectos o problemas a estudiar.

Es descriptivo, porque busca describir cómo ha variado el volumen de almacenamiento de la laguna de la cuenca Piuray en el tiempo (2000-2024) por los efectos del cambio climático y la actividad e intervención humana. Se le dice correlacional porque busca asociar variables climáticas (temperatura y precipitación) con las fluctuaciones en el volumen de la laguna. El propósito es establecer cuánto se relacionan estas variables mediante modelos estadísticos.

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación se refiere a una estructura o plan diseñado para recoger la información necesaria para tratar apropiadamente con el problema de investigación. Los diseños no experimentales no manipulaciones deliberas las variables; por el contrario, se examinan los fenómenos en su contexto natural y se analizan tal como se desarrollan, sin intervenir directamente sobre ellos (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Este estudio se caracteriza por ser de tipo **longitudinal y no experimental**, dado que las variables objeto de estudio no serán objeto de manipulación. En cambio, se examinaron los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima, así como datos climáticos con proyecciones futuras bajo diferentes escenarios a lo largo del tiempo con el objetivo de ver cómo afectan al volumen de la laguna.

3.3. Población

La población estuvo constituida por el conjunto de registros climáticos, hidrometeorológicos, niveles del espejo de agua e información batimétrica disponibles para la cuenca y Laguna Piuray.

3.4. Muestra

La muestra estuvo constituida por los registros que cumplieron con los criterios de disponibilidad, continuidad y pertinencia para el período de análisis comprendido entre 2000 y 2024.

3.4.1. Tipo de muestreo

El presente estudio empleó un muestreo no probabilístico intencional, debido a que los datos climáticos utilizados no fueron seleccionados de forma aleatoria, sino a partir de un universo definido, según su calidad y disponibilidad. La selección se realizó con base en criterios de representatividad temporal y espacial, continuidad y pertinencia técnica para el período de análisis. Este enfoque permitió seleccionar los registros más adecuados para caracterizar el comportamiento climático e hidrológico de la cuenca y desarrollar el análisis multitemporal.

3.4.2. Criterios de selección de muestra

Los datos incluidos en la muestra fueron seleccionados en función de su relevancia técnica, disponibilidad, completitud y cobertura temporal. Se priorizaron aquellos registros que presentaron continuidad razonable y permitieron representar las condiciones climáticas e hidrológicas de la cuenca durante el período de estudio.

Cuando se identificaron vacíos o inconsistencias en las series, se aplicaron procedimientos de control de calidad, reprocesamiento y estimación de datos, según las características y disponibilidad de la información.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnica

Se aplicó la técnica de recopilación documental para obtener registros hidrometeorológicos históricos (precipitación, temperatura) y niveles históricos de espejo de agua de la laguna de Piuray a partir de fuentes oficiales como SENAMHI, ANA y SEDACUSCO, además se usará la data grillada de PISCO.

Además, se analizaron los registros in situ del nivel diario del nivel de agua de la laguna de Piuray, complementado con información batimétrica existente, lo que permitirá estimar con mayor precisión las variaciones de volumen de almacenamiento en el tiempo.

3.5.2. Instrumento

Los instrumentos utilizados fueron:

- Bases de datos oficiales (SENAMHI, ANA y SEDACUSCO): para obtener registros climáticos e hidrológicos.
- Registros de nivel de espejo de agua: provenientes de mediciones continúas realizadas por SEDACUSCO.
- Estudio batimétrico de la laguna: realizada por ANA.
- Herramientas SIG y modelos hidrológicos para el análisis espacial y simulación hidrológica.

3.5.2.1. Softwares utilizados

Los programas más relevantes que se utilizaron en la investigación son:

- ArcGIS con la extensión ArcSWAT: para el procesamiento de datos espaciales, la creación de mapas temáticos y la delimitación de cuencas.
- SWAT (Soil and Water Assessment Tool): para la modelación de la conducta hidrológica en la cuenca Piuray.

- SWAT-CUP: con el objetivo de calibrar y validar el modelo SWAT, se utilizan algoritmos como SUFI-2.
- Microsoft Excel y SWAT Output Viewer: para la tabulación, evaluacion y extracción de los resultados hidrológicos simulados.
- CMhyd (Climate Model data for hydrologic modeling): es una herramienta diseñada para facilitar la corrección de sesgo y el downscaling estadístico de datos climáticos provenientes de modelos globales o regionales de circulación general (GCMs/RCMs).
- Statgraphics: es un software especializado en análisis estadístico que permite realizar procedimientos de estadística descriptiva, análisis de correlación, regresión, pruebas de hipótesis y evaluación de tendencias. En la presente investigación se utilizó para analizar la relación entre las variables climáticas (precipitación y temperatura) y la variación del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray, así como para determinar los coeficientes de correlación y regresión empleados en la interpretación de resultados.
- El HEC-4: es un software desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, utilizado principalmente para la generación y completación de series hidrometeorológicas. Su aplicación más frecuente está en el llenado de vacíos de precipitación y caudales mediante métodos estadísticos que aprovechan la información de estaciones cercanas y la correlación entre variables. De esta forma, permite contar con series continuas y consistentes, indispensables para la modelación hidrológica y la planificación de recursos hídricos.

3.5.3. Recolección, control de calidad y reprocesamiento de datos meteorológicos

Para poder garantizar la confiabilidad de los resultados, se emplearon procedimientos de análisis de consistencia, corrección y verificación estadística de los datos climáticos e hidrológicos empleados.

Los datos utilizados en la simulación hidrológica (precipitación, temperatura, entre otros) provienen de fuentes oficiales como SENAMHI, SEDACUSCO y UNSAAC, y fueron comparados con registros históricos y estudios previos para evaluar su consistencia y los datos faltantes.

3.5.3.1. Información meteorológica

Los datos de precipitación y temperatura utilizados en este estudio fueron solicitados al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), recopilados de siete estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca de estudio. No obstante, varias de estas estaciones presentaban registros diarios incompletos. Por esta razón, para el período 1981 - 2016 se empleó la base de datos PISCO, mientras que para el período 2017 - 2024 se utilizó la información de datos históricos del SENAMHI.

La serie de datos de PISCO fue posteriormente ajustada mediante la comparación y corrección con los registros de datos históricos de las estaciones meteorológicas del SENAMHI, debido a que en algunos años presentaba valores atípicos o sobreestimados respecto a las observaciones locales.

En caso de vacíos o registros incompletos, se aplicaron técnicas de interpolación y software para la validación y completación de datos hidrometeorológicos, para alimentar el modelo SWAT con información climática e hidrometeorológica procesada y consistente.

Tabla 8

Ubicación de las Estaciones Meteorológicas

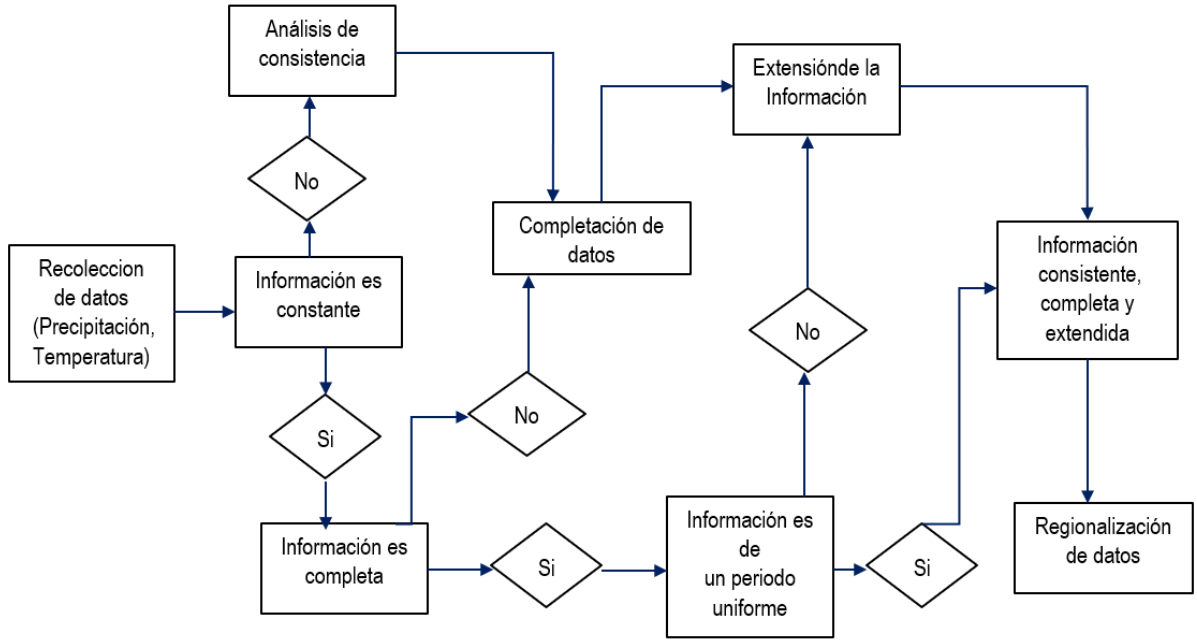
ESTACIÓN	DPTO.	PROV.	DISTRITO	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
GRANJA KAYRA	CUSCO	CUSCO	SAN JERONIMO	3219	-13.556861	-71.874944
PERAYOC	CUSCO	CUSCO	CUSCO	3365	-13.516944	-71.950278
PISAC	CUSCO	CALCA	PISAC	2950	-13.415833	-71.849444
URUBAMBA	CUSCO	URUBAMBA	URUBAMBA	2863	-13.323111	-72.129117
ANCACHURO	CUSCO	ANTA	ZURITE	3340	-13.415000	-71.974722
CALCA	CUSCO	CALCA	CALCA	2926	-13.333333	-71.950000
CHITAPAMPA	CUSCO	URUBAMBA	CHINCHERO	3298	-13.468056	-72.215556

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionada por SENAMHI

3.5.3.2. Análisis de datos hidrometeorológicos

Figura 20

Flujograma para el tratamiento de datos hidrometeorológicos



3.5.3.2.1. Análisis de Consistencia de datos

El análisis de consistencia es un paso crucial en la hidrología estadística que tiene como objetivo valorar la calidad de los datos meteorológicos e hidrológicos, detectando posibles fallos o irregularidades en las series de tiempo. De acuerdo con Villón Béjar (2006), es crucial

realizar un adecuado análisis de consistencia para asegurar que los datos empleados en los modelos sean fiables y representen la realidad hidrológica del área de investigación. Esto conlleva el reconocimiento de valores inusuales, la comprobación de tendencias y la valoración de la uniformidad de los datos. Dentro del marco de estaciones meteorológicas, este estudio contribuye a garantizar que las series de datos sean valiosas para la modelización hidrológica futura.

La importancia de establecer procedimientos sistemáticos para identificar y corregir los errores en las series de datos es subrayada por Villón Béjar (2006), quien señala que la falta de consistencia en los datos puede influir negativamente en la simulación de eventos hidrológicos y en la proyección de flujos.

De acuerdo a Villón Béjar (2006) el análisis de consistencia de la información meteorológica, se realiza por los siguientes procedimientos:

- análisis visual grafico
- análisis de doble masa
- Análisis estadístico

3.5.3.2.2. Análisis Visual Gráfico

El análisis visual gráfico es uno de los procedimientos más eficaces y sencillos para realizar un estudio inicial de la coherencia de los datos. En este procedimiento, se ilustran las secuencias temporales de los datos derivados de las estaciones meteorológicas y se analiza visualmente su comportamiento.

a. Gráfico de Secuencias Temporales:

Este tipo de diagrama ilustra la progresión de los datos meteorológicos (precipitación, temperatura, humedad, etc.) a través del tiempo (mensual, diario, etc.). Cualquier pico o bajo valor imprevisto en la serie sugiere que hay un fallo en los datos.

De acuerdo con Villón Béjar (2006), las series de tiempo permiten reconocer tendencias estacionales y patrones a largo plazo, lo cual puede simplificar la detección de fallos claros.

b. Gráfico de Dispersión:

El diagrama de dispersión resulta práctico para analizar la correlación entre dos variables. Por ejemplo, es posible representar en gráfico la precipitación de dos estaciones próximas para comprobar si mantienen un patrón parecido. Si las estaciones están sincronizadas y muestran una relación prevista, esto indica que los datos son coherentes. Sin embargo, es posible que se pueda detectar valores atípicos.

3.5.3.2.3. Análisis de Doble Masa

El estudio de consistencia doble masa es un método visual y estadístico frecuentemente empleado para valorar la coherencia de los datos de lluvias y otros factores acumulados. En este estudio, se contrastan las series acumuladas de las estaciones de interés con el fin de determinar si ambas mantienen una conducta lógica.

Un diagrama de masa doble contrasta las lluvias acumuladas de dos estaciones a través del tiempo. Si las estaciones están correctamente ajustadas y sus datos son coherentes, las curvas de doble masa deberían mantener una línea recta o una inclinación constante. Si la curva presenta desvíos significativos, esto podría sugerir que los datos de una o ambas estaciones están equivocados.

Procedimiento para Desarrollar un Diagrama de Doble Masa:

El método implica determinar la acumulación de precipitación para cada estación (en el eje Y) y el tiempo en el eje X. Después se elabora la curva de doble masa para contrastar las acumulaciones de ambos grupos de datos. Si los datos son coherentes, el gráfico obtenido debe presentar una relación casi lineal.

En un escenario realista, se contrasta la acumulación de lluvia de la Estación A con la Estación B, y se determina si las inclinaciones de ambas curvas son parecidas.

Aplicación para determinar la Precipitación acumulada:

$$P_{acumulada} = \sum P_{mensual} \quad (17)$$

$P_{acumulada}$ es la precipitación acululada hasta ese mes o año

$P_{mensual}$ es la precipitación mensual para cada estación

Villón Béjar (2006) detalla que este diagrama facilita la identificación de inconsistencias y es esencial para confirmar la uniformidad de los datos y para corroborar la calidad de los datos climáticos antes de su uso en modelos de hidrología.

3.5.3.2.4. Análisis Estadístico

En el campo de la hidrología estadística, el estudio estadístico es crucial para asegurar la calidad y confiabilidad de la información de datos climáticos, como las precipitaciones y la temperatura. De acuerdo con Villón Béjar (2006), el estudio de datos climáticos tiene como objetivo detectar errores, inconsistencias y valores atípicos (outliers) en las secuencias temporales. Para ello, se utilizan varias herramientas estadísticas como el análisis de tendencias, las pruebas de hipótesis y los modelos de regresión. Este estudio es crucial para la modelización de sistemas hidrológicos, ya que influye directamente en la calidad de las proyecciones que se efectúen utilizando estos datos.

Análisis de Saltos:

Villón Béjar (2006) explica que los saltos o discontinuidades en una serie de datos climáticos señalan irregularidades que requieren corrección. Estos incrementos pueden originarse por fallos en las mediciones o por alteraciones bruscas en las condiciones meteorológicas.

Consistencia de la Media:

El promedio es uno de los indicadores fundamentales para medir la coherencia de los datos. Villón Béjar (2006) aconseja examinar los incrementos en la media para detectar alteraciones bruscas en las series de tiempo. El test estadístico T de Student examina si los

valores medios $\overline{x_1}$ y $\overline{x_2}$ son estadísticamente iguales o diferentes de la siguiente manera:

b.1. Cálculo de la media y de la desviación estándar para cada período**,** según:

Media para la primera submuestra:

$$\overline{x_1} = \frac{1}{n_1}\sum_{i=1}^{n_1} x_i \qquad (18)$$

Desviación estándar para la primera submuestra:

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1}\sum_{i=1}^{n_1}(x_i - \overline{x_1})^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (19)$$

Media para la segunda submuestra:

$$\overline{x_2} = \frac{1}{n_2}\sum_{j=1}^{n_2} x_j \qquad (20)$$

Desviación estándar para la segunda submuestra:

$$S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1}\sum_{j=1}^{n_2}\left(x_j - \overline{x_2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (21)$$

Donde:

- $x_i = \ valores\ de\ la\ serie\ del\ periodo\ 1$
- $x_j = \ valores\ de\ la\ serie\ del\ periodo\ 2$
- $\overline{x_1}\ , \overline{x_2} = media\ de\ los\ periodos\ 1\ y\ 2$
- $S_1(x) = desviación\ estandar\ del\ primer\ periodo$
- $S_2(x) = desviación\ estandar\ del\ segundo\ periodo$
- $n = tamaño\ de\ la\ muestra$
- $n_1 = tamaño\ de\ la\ muetra\ del\ primer\ periodo$
- $n_2 = \ tamaño\ de\ la\ muetra\ del\ segundo\ periodo$
- $n = n_1 + n_2$

b.2. Cálculo del t estadístico calculado (t_c)

b.2.1. establecimiento de la hipótesis propuesta y la opción posible, además del nivel de significación "α"

$\mu_1 = \mu_2$ (por hipotesis)

$\mu_1 \neq \mu_2$

$\boldsymbol{\alpha} = 0.05$ (5%)

b.2.2. calcular la desviación estándar de las diferencias de los promedios

$$S_{\bar{d}} = S_P \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

$$S_P = \left[\frac{(n_1 - 1){S_1}^2 + (n_2 - 1){S_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Donde:

$S_P = Desviación\ ponderada$

$S_{\bar{d}} = Desviación\ de\ la\ diferencia\ de\ promedios$

b.2.3. Calcular el valor Tc según:

$$t_c = \frac{(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - (u_1 - u_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (24)$$

Donde:

$u_1 = u_2$ (por hipótesis)

t_c es el valor del T calculado

b.2.4. Determinar el t tabular t_t en las tablas

La tabla de Student proporciona el valor tabular " t_t", con una probabilidad de 95%, o con un nivel de significación del (0.05)5% lo que es α/2=0.025 y con los grados de libertad $v = n_1 + n_2 - 2$

b.2.5. comparando de t_c con el t_t

Si $t_c \leq t_t$ No necesita o no se debe corregir los datos o información

Si $t_c > t_t$ Se necesita corregir información

Consistencia de la Desviación Estándar

El estudio estadístico es esencial para valorar la coherencia temporal de las series de información climática. De acuerdo con Villón Béjar (2006), uno de los procedimientos más utilizados para valorar esta consistencia es la prueba F de Fisher. Esto se aplica para contrastar las desviaciones estándar de dos submuestras y establecer si son estadísticamente equivalentes o si, en cambio, hay diferencias significativas. Este análisis se realiza con un 95% de confianza, lo que implica que se otorga un margen del 5% de nivel de significancia al afirmar que las desviaciones estándar son diferentes.

Esta clase de evaluación es esencial para establecer si los cambios en los datos se sostienen a lo largo del tiempo o si ocurren modificaciones abruptas, las cuales podrían indicar errores o incoherencias en las mediciones (Villón, 2006).

Para realizar esta prueba, se siguen los siguientes pasos que se indican:

Establecimiento de las variaciones de los dos periodos: El primer paso es determinar las varianzas de las dos submuestras, pues la varianza es igual al cuadrado de la desviación estándar.

La varianza proporciona una señal de la dispersión de la información, lo que permite entender si las submuestras muestran una dispersión similar o diferente en sus valores.

c.1. determinación de las varianzas en ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1}\sum_{i=1}^{n_1}(x_i - \overline{x_1})^2\right] \qquad (25)$$

$$S_2^2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1}\sum_{j=1}^{n_2}\left(x_j - \overline{x_2}\right)^2\right] \qquad (26)$$

c.1.1. Cálculo del Estadístico F:

Tras el cálculo de las varianzas de las dos submuestras, se determina el estadístico F empleando la fórmula siguiente:

c.1.1.1. se establece la hipótesis planteada y alternante, y el nivel de significancia:

H_P: $\mu_1 = \mu_2$ (varianza poblacional)

H_o: $\mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha = 0.05$ (5%)

c.1.1.2. se calcula el Fc

$$F_C = \left[\frac{S_1(x)}{S_2(x)}\right]^2, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \qquad (27)$$

$$F_C = \left[\frac{S_1(x)}{S_2(x)}\right]^2, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \qquad (28)$$

c.1.1.3. determinación del valor "Ft" en las tablas correspondientes

El valor tabular conocido como "Ft", se deriva de la tabla de "F", con una probabilidad del 95%, o con un nivel de significancia del 5% es decir con α=0.05 y grados de libertad:

$$G.L.N = n_1 - 1 \quad \text{, si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \qquad (29)$$

$$G.L.D = n_2 - 1 \quad \text{, si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \qquad (30)$$

Donde:

G.L.N: Grados de libertad del numerador.

G.L.D: Grados de libertad del denominador.

c.1.1.4. Comparar el "Fc" con el "Ft"

Si $F_C \leq F_t$ la información no debe ser modificada

Si $F_C \geq F_t$ Se requiere la correccion de la información

Corrección de Datos:

No se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre las submuestras bajo el nivel de confianza adoptado, dado que se alinea a un nivel de confianza del 95%. Esto ocurre porque se considera que los datos son considerablemente confiables, incluso si se

detectan mínimas irregularidades en el gráfico de doble masa. No obstante, si las desviaciones estándar de las submuestras manifiestan diferencias de relevancia estadística, se realiza la corrección de los valores empleando las ecuaciones pertinentes (Villón, 2006).

Si lo datos a corregir son de la submuestra de tamaño n_1 , se aplica la siguiente ecuación:

$$x'_{(t)} = \frac{x_t - \overline{x_1}}{S_1^2(x)} S_2^2(x) + \overline{x_2} \qquad (31)$$

Si lo datos a corregir son de la submuestra de tamaño n_2 , se aplicará la siguiente formula:

$$x'_{(t)} = \frac{x_t - \overline{x_2}}{S_2^2(x)} S_1^2(x) + \overline{x_1} \qquad (32)$$

Donde:

$x'_{(t)} = Valor\ corregido\ de\ saltos$

$x_t = Valor\ a\ ser\ corregido$

Bondad de la Información Corregida

Para confirmar si los datos correctos respetan los límites de aceptación fijados, se lleva a cabo un estudio estadístico de la media y la desviación estándar, empleando el método mencionado anteriormente. A pesar de que los datos corregidos pueden ajustarse con un 95% de probabilidad a los parámetros de calidad previstos, no se ven como totalmente ideales ni naturalizados, dado que conservan un grado de incertidumbre en relación con los valores individuales, como la cantidad de años húmedos o secos. En resumen, la corrección no suprime totalmente la variabilidad intrínseca a los datos climáticos.

3.5.3.3. Completación y Extensión de Datos

La finalización de series de datos es un reto habitual en las investigaciones vinculadas a la valoración de recursos acuáticos. En numerosas situaciones, las estaciones meteorológicas o hidrológicas muestran vacíos de información a causa de varios elementos como errores en el equipo, condiciones meteorológicas extremas o dificultades logísticas. De acuerdo con Villón

Béjar (2006), una de las tácticas más habituales para cubrir estos vacíos es emplear los datos de estaciones próximas que muestren un sistema de funcionamiento similar, es decir, estaciones situadas en zonas geográficamente próximas y que posean características meteorológicas o hidrológicas similares. Este procedimiento contribuye a asegurar que los datos corregidos reflejen lo más fielmente posible las condiciones verdaderas de la región de estudio.

Villón Béjar (2006) también trata el tema de la extensión de información, entendido como un proceso de transferencia de datos desde una estación de registro largo hacia otra de registro corto. Por otro lado, la completación de datos hace referencia al procedimiento a través del cual se cubren las lagunas en una serie de datos ya existente. Villón Béjar (2006) señala que la completación es un ejemplo específico de extensión, puesto que ambos procedimientos requieren la incorporación de datos extra para optimizar la consistencia de las series de tiempo.

3.5.3.3.1. Completación con Modelo hec-4

En este escenario, se completó la información de los datos hidrometeorológicos de las estaciones de precipitación de esta investigación empleando el software HEC-4, que se utiliza extensamente para modelar y administrar recursos de agua. HEC-4 fue seleccionado por su habilidad para replicar el funcionamiento de sistemas hidrográficos y manejar eficazmente datos hidrológicos, particularmente en circunstancias donde se requieren completar series de tiempo incompletas.

HEC-4 emplea un método de regresión lineal para completar la información ausente, fundamentándose en la correlación estadística entre los datos de estaciones próximas y las estaciones con datos ausentes. Con este procedimiento, HEC-4 calcula los valores ausentes utilizando un modelo que toma en cuenta las relaciones de tiempo y espacio entre las estaciones. El software hace posible la modificación de estos datos utilizando técnicas estadísticas robustas, garantizando que los valores finales sean lo más realistas que se pueda en el contexto del sistema hidrológico.

La metodología utilizada en HEC-4 es muy adecuada para este tipo de investigación, ya que disminuye los errores y mejora la consistencia de la información a lo largo de la serie temporal. HEC-4 también permite hacer una validación cruzada de los datos ingresados, donde se comparan los resultados hallados con los datos históricos disponibles y se comprueba que coincidan con las tendencias observadas en estaciones cercanas.

3.5.4. Regionalización de datos históricos para la cuenca Piuray

En la cuenca Piuray, el método de U.S. National Weather Service distancia inversa ha sido aplicado para estimar la precipitación; esta técnica de interpolación espacial permite estimar la distribución de la precipitación en regiones desprovistas de estaciones meteorológicas. La sencillez y eficacia de este método para representar los cambios espaciales en la precipitación hacen que sea utilizado con frecuencia en meteorología.

3.5.4.1. Regionalización de la Precipitación

La precipitación media representativa de la cuenca Piuray se estimó mediante el método del U.S. National Weather Service (NWS) o método de ponderación por distancia inversa, el cual permite obtener un valor medio de precipitación para una cuenca utilizando los registros de estaciones meteorológicas cercanas.

Este método asigna un mayor peso a las estaciones próximas al área de estudio y un menor peso a las estaciones más alejadas, bajo el supuesto de que la similitud espacial de la precipitación disminuye con la distancia.

Para este estudio se emplearon los registros históricos de siete estaciones meteorológicas ubicadas dentro y alrededor de la cuenca Piuray. A partir de la distancia existente entre cada estación y el centroide de la cuenca se calcularon los factores de ponderación, obteniéndose la precipitación media mensual representativa utilizada posteriormente en la modelación hidrológica mediante ArcSWAT.

La precipitación media de la cuenca se estimó mediante la siguiente expresión:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^2}} \quad (33)$$

Donde:

- P: precipitación media de la cuenca (mm)
- Pi: precipitación registrada en la estación i (mm)
- di: distancia entre la estación i y el centroide de la cuenca (km)
- n: número de estaciones utilizadas

3.5.4.2. Regionalización de la Temperatura

Con seis estaciones cercanas, la temperatura se regionalizó mediante el esquema de ponderación por distancia (método NWS), produciendo para cada mes de 1981-2024 las series areales de temperatura promedio mensual de la cuenca. A partir de esas series se construyeron las climatologías mensuales y los resúmenes anuales, evidenciando el ciclo térmico anual y la variabilidad interanual.

Tabla 9

Ubicación de las Estaciones Meteorológicas de Temperatura

ESTACIÓN	DPTO.	PROV.	DISTRITO	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
GRANJA KAYRA	CUSCO	CUSCO	SAN JERONIMO	3219	-13.556861	-71.874944
PERAYOC	CUSCO	CUSCO	CUSCO	3365	-13.516944	-71.950278
PISAC	CUSCO	CALCA	PISAC	2950	-13.415833	-71.849444
URUBAMBA	CUSCO	URUBAMBA	URUBAMBA	2863	-13.323111	-72.129117
ANCACHURO	CUSCO	ANTA	ZURITE	3340	-13.415000	-71.974722
CALCA	CUSCO	CALCA	CALCA	2926	-13.333333	-71.950000

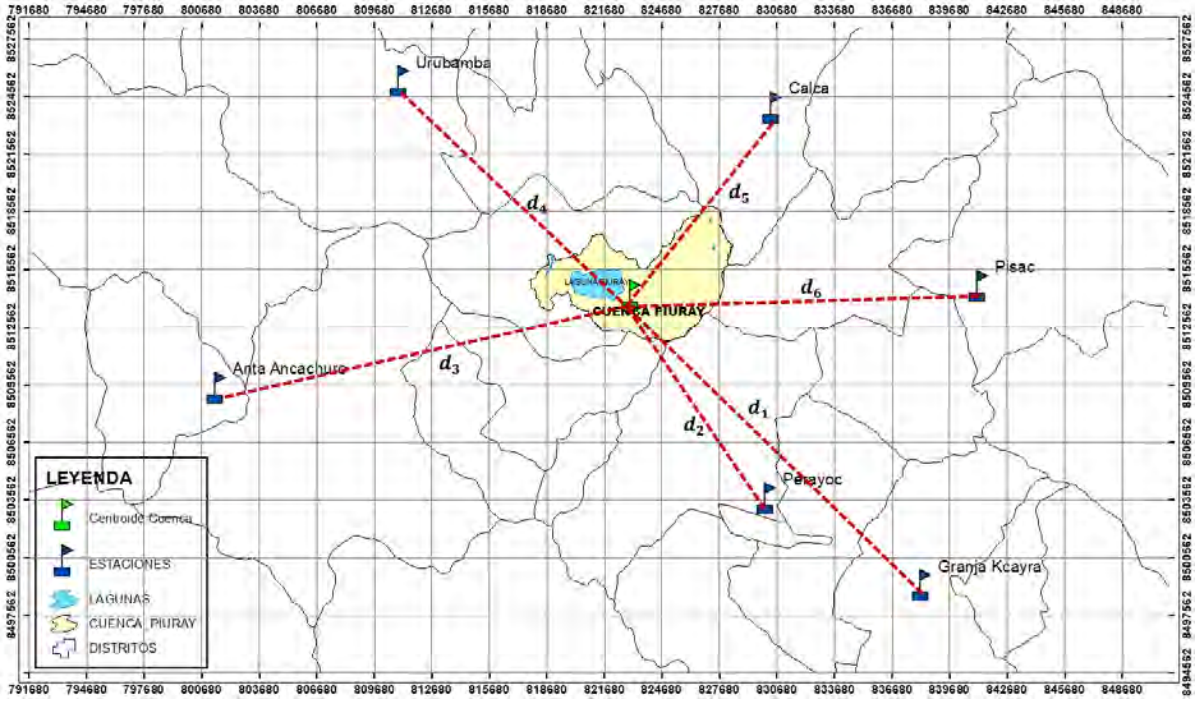
Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y UNSAAC

La metodología de la NWS, también llamada el método de la inversa de la distancia, se ha utilizado para investigar la variabilidad térmica en la cuenca Piuray. Esta técnica de interpolación espacial hace posible calcular las temperaturas en zonas no monitoreadas utilizando datos obtenidos de estaciones meteorológicas próximas. Cuando se tiene un número

reducido de estaciones y se quiere proyectar las lecturas de temperatura a una zona más extensa, como sucede en la cuenca, es particularmente útil.

Figura 21

Diagrama de distancias desde la cuenca Piuray



Nota. Elaboración propia, distancia de (estación cuenca) a las 6 estaciones meteorológicas cercanas para la regionalización de temperatura utilizando el método de la National Weather Service.

3.5.4.2.1. Método U.S. National Weather Service

El método NWS utiliza un procedimiento de promedio ponderado que se basa en las estaciones meteorológicas más cercanas, llamadas estaciones índice. El peso de estas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia con respecto a la estación que se está evaluando, conocida como estación X. Para determinar el valor estimado de la temperatura en dicha estación (X), se utilizan los datos obtenidos por las estaciones más próximas y se le otorga mayor peso a aquellas que están más cerca. La fórmula matemática utilizada es la siguiente:

$$T_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{T_i}{{d_i}^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{{d_i}^2}} \qquad (34)$$

Donde:

T_x es la temperatura estimada en la estación estudio X.

T_i representa las temperaturas registradas en las estaciones índice.

d_i es la distancia entre la estación X y la estación índice i

Cuando las estaciones están distribuidas de forma relativamente uniforme, este método es apropiado, pues permite conseguir estimaciones fiables de la temperatura en áreas que no están bajo monitoreo.

Consideraciones sobre el Método

Se considera apropiado el método de la NWS para esta investigación, dada la cercanía relativa de las estaciones meteorológicas en la cuenca Piuray y su simplicidad, así como la disponibilidad de datos.

Tabla 10

Coordenadas de un punto tomada como estación de la cuenca de estudio

Estación	Norte(Y)	Este(X)	Altitud	Latitud	Longitud
Cuenca Piuray	8514202.3163	823100.7464	3926.14	-13.4223604	-72.0165866

Tabla 11

Coordenadas UTM y geográficas de las estaciones cercanas a la cuenca

Estación	**Norte(Y)**	**Este(X)**	**Altitud**	**Latitud**	**Longitud**	**Distancia(km)**
GRANJA KAYRA	8499117.7997	838264.1740	3219	-13.5568610	-71.8749440	21.41
PERAYOC	8503641.0566	830157.9580	3365	-13.5169440	-71.9502780	12.73
PISAC	8514699.8238	841227.3275	2950	-13.4158330	-71.8494440	18.09
URUBAMBA	8525335.4139	811031.9203	2863	-13.3231110	-72.1291170	16.43
ANCACHURO	8509395.6425	801479.5561	3340	-13.4680560	-72.2155560	22.11
CALCA	8523972.0705	830439.6019	2926	-13.3333330	-71.9500000	12.24

3.5.5. Corrección de sesgo de datos de precipitación y temperatura

En este estudio se llevará a cabo un proceso de corrección de sesgo de las variables climáticas de precipitación y temperatura, a fin de garantizar la consistencia entre los datos

observados, las series interpoladas nacionales y las proyecciones de los modelos de circulación general (GCM).

El procedimiento contempla lo siguiente:

a) Comparación de fuentes de información climática:

- Datos observados: registros diarios de estaciones meteorológicas en la cuenca Piuray.
- Producto PISCO (Peruvian Interpolated Data of SENAMHI's Climatological Observations): utilizado como base regional, debido a su resolución espacial mejorada (0.1°)
- y su cobertura homogénea en el territorio nacional.
- Modelos de Circulación General (GCM-CMIP6), bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

b) Aplicación de técnicas de corrección de sesgo y downscaling:

- Se emplearon el software CMHyd, herramienta desarrollada para la reducción de escala y corrección de sesgos en datos climáticos.
- El procedimiento permitió ajustar las salidas de los GCM a la escala de PISCO, de manera que se redujeron las discrepancias estadísticas (medias, varianzas, cuantiles) respecto a los datos observados.
- De esta forma, los datos corregidos mantuvieron la coherencia climática histórica y podrán ser empleados en la simulación hidrológica.

c) Integración de resultados:

- Los datos finales corregidos y reescalados constituyeron la base de entrada para la modelación hidrológica de la cuenca de Piuray.

- Se garantizó que las series climáticas ajustadas representen adecuadamente la variabilidad histórica (2000-2024) y sean consistentes con las proyecciones futuras bajo los escenarios de cambio climático seleccionados.

3.5.5.1. Validación y ajuste de los datos meteorológicos PISCO

En la cuenca Piuray, la validación de la información meteorológica proveniente del producto grillado PISCO se convierte en un paso muy importante para garantizar la coherencia entre los datos regionales y la realidad local. Este proceso se realiza mediante la comparación de las series de precipitación y temperatura (máxima y mínima) registradas por las estaciones meteorológicas de la cuenca con los valores interpolados de PISCO en sus mismas coordenadas, utilizando herramientas gráficas y estadísticas que permiten evaluar tanto la correlación como la dinámica temporal de las variables.

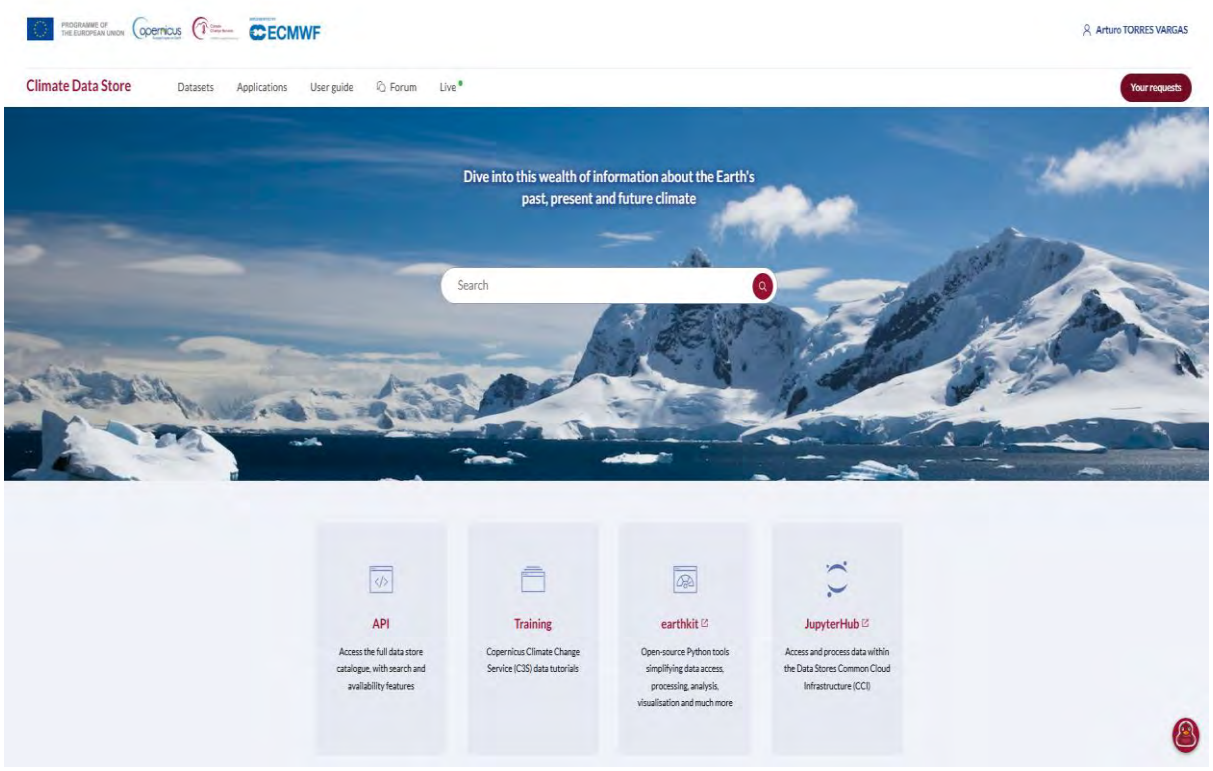
La finalidad de este ejercicio no es únicamente verificar la fidelidad del producto climático, sino preparar el terreno para la corrección de sesgo y el downscaling con R studio, técnicas que ajustan y refinan los datos grillados hasta traducirlos al lenguaje climático propio de Piuray. De esta manera, la cuenca se consolida como un laboratorio natural donde la escala global se adecua a lo local, asegurando información confiable para el análisis de escenarios de cambio climático y la gestión sostenible del recurso hídrico.

3.5.6. Información climática y escenarios SSP

Para la evaluación del impacto del cambio climático en la laguna de Piuray, se utilizaron proyecciones climáticas derivadas de Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés), obtenidas de la plataforma Copernicus Climate Data Store (CDS). Los modelos seleccionados corresponden al marco del Proyecto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), el cual proporciona proyecciones bajo distintos Shared Socioeconomic Pathways (SSP), que describen posibles trayectorias futuras de emisiones y desarrollo socioeconómico.

Figura 22

Interfaz de la plataforma de Copernicus



Nota. Elaboración propia a partir de datos de (*Copernicus Climate Data Store*, 2025).

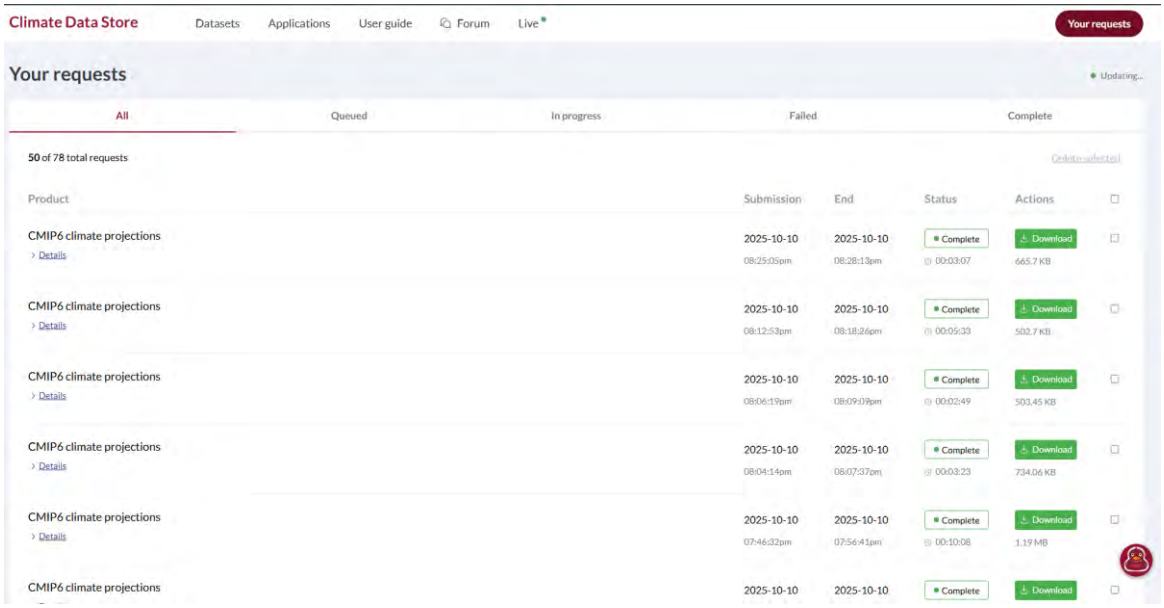
En el presentes estudio se consideraron dos escenarios representativos:

- SSP2-4.5: Escenario intermedio que asume una estabilización moderada de las emisiones de gases de efecto invernadero hacia mediados del siglo XXI.
- SSP5-8.5: Escenario de altas emisiones, caracterizado por un crecimiento económico intensivo en el uso de combustibles fósiles y sin medidas significativas de mitigación.

Los datos descargados contienen un total de diez (10) modelos climáticos globales, que ofrecen proyecciones de tres variables climáticas fundamentales para la modelación hidrológica de este estudio: precipitación (P), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin).

Figura 23

Interfaz de la plataforma de descarga de COPERNICUS



Nota. Elaboración propia a partir de datos de Copernicus Climate Data Store (2025).

Estas series de datos abarcan el periodo de años 2015 - 2100 para ambos escenarios futuros y fueron descargadas en formato NetCDF (.nc) con resolución espacial global, correspondiente a la rejilla nativa de cada modelo.

Con la finalidad de garantizar la consistencia y representatividad local de las proyecciones, se aplicó un proceso de corrección de sesgo (bias correction) utilizando el software CMhyd, empleando como referencia las observaciones históricas de la cuenca de Piuray para el periodo 1981-2024. Este procedimiento permitió ajustar las distribuciones estadísticas de las series simuladas a las observadas, garantizando coherencia espacio-temporal y mejorando la capacidad predictiva de los modelos para usarlos en el modelamiento hidrológico con ArcSWAT.

Tabla 12

Modelos climáticos globales (GCM) seleccionados del CMIP6 - Fuente: Copernicus Climate Data Store (CDS)

N.º	Modelo Climático (GCM)	País de Origen	Institución	Resolución Aproximada	Variables Utilizadas	Escenarios Analizados
1	ACCESS-CM2	Australia	CSIRO / Bureau o Meteorology	~1.2°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
2	BCC-CSM2-MR	China	Beijing Climate Center	~1.1°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
3	CMCC-ESM2	Italia	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici	~1.25°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
4	CNRM-ESM2-1	Francia	Météo-France / CERFACS	~1.4°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
5	EC-Earth3-Veg-LR	Europa	EC-Earth Consortium	~1.0°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
6	INM-CM4-8	Rusia	Institute for Numerical Mathematics	~2.0°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
7	MIROC6	Japón	University of Tokyo / JAMSTEC	~1.4°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
8	MPI-ESM1-2-LR	Alemania	Max Planck Institute for Meteorology	~1.9°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
9	MRI-ESM2-0	Japón	Meteorological Research Institute	~1.1°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5
10	NorESM2-LM	Noruega	Norwegian Climate Centre	~2.5°	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5

Nota. Elaboración propia a partir de datos de Copernicus Climate Data Store (2025).

3.5.7. Evaluación y selección de modelos climáticos por escenario

La evaluación y selección de Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés) constituye un paso fundamental para garantizar la representatividad, fiabilidad y coherencia espacial y temporal de las proyecciones climáticas empleadas en la cuenca de Piuray, en la región andina sur del Perú. Los GCM presentan diferencias notables en cuanto a su resolución espacial, su capacidad de representar la variabilidad climática local, y en la magnitud de los sesgos respecto a las observaciones meteorológicas. Por tanto, una evaluación rigurosa permite identificar aquellos modelos con mejor desempeño para simular los patrones hidrometeorológicos regionales.

Metodología general de evaluación

El proceso de evaluación se estructuró en tres etapas principales:

1. Revisión y selección de bases de datos

Se utilizaron proyecciones climáticas provenientes de la plataforma Copernicus Climate Data Store (CDS), las cuales corresponden al conjunto de datos CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6). Se seleccionaron diez modelos climáticos globales con información disponible para los escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5, abarcando el periodo 2015-2100.

Las variables analizadas incluyen precipitación (P), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin), las cuales son esenciales para la modelación hidrológica y la evaluación del impacto climático en el balance hídrico de la laguna de Piuray.

2. Criterios de evaluación de desempeño

La evaluación de los GCM se basó en un análisis estadístico comparativo entre las simulaciones y las observaciones locales (1981-2024), considerando los siguientes indicadores:

- Coeficiente de determinación (R^2): mide la fuerza de la relación entre los datos observados y simulados.
- Raíz del error cuadrático medio (RMSE): cuantifica la magnitud del error medio en las proyecciones.
- Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE): evalúa la capacidad del modelo para reproducir la variabilidad temporal de los datos observados.
- Sesgo (Bias): mide la sobreestimación o subestimación promedio del modelo respecto a los datos observados.

Las métricas fueron calculadas antes y después de la corrección de sesgo (bias correction), realizada mediante el software CMhyd, utilizando como referencia las series observadas de temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas ubicadas dentro y alrededor de la cuenca de Piuray.

3. Selección final de modelos climáticos

Se priorizaron aquellos modelos que mostraron:

- Alta correlación ($R^2 > 0.8$) con los registros observados.
- NSE superior a 0.6, indicando buen desempeño en la simulación de la variabilidad interanual.
- Sesgo absoluto menor al 10 % en las series corregidas.
- Coherencia espacial y temporal con las tendencias climáticas observadas en la región sur andina del Perú.

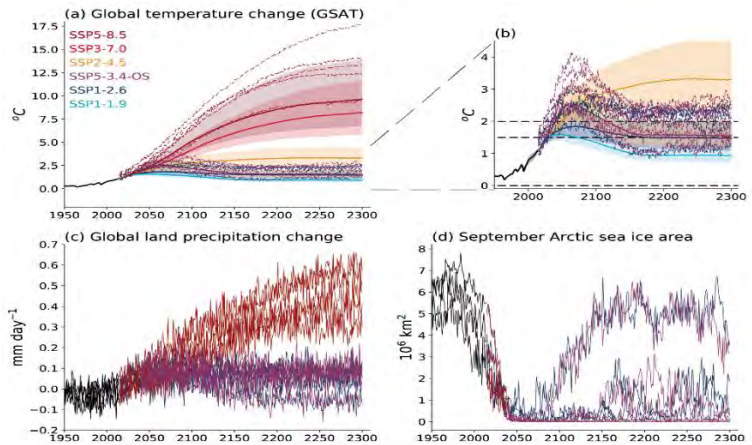
Los modelos que cumplieron estos criterios fueron considerados los más robustos para representar las condiciones climáticas actuales y proyectar escenarios futuros en la cuenca de estudio.

Escenarios de cambio climático considerados

En la presente investigación se emplearon los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, seleccionados por representar una trayectoria intermedia y otra de altas emisiones de gases de efecto invernadero, respectivamente. Ambos escenarios fueron utilizados para proyectar las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima hasta el año 2100.

Figura 24

Cambios proyectados en temperatura y precipitación globales



Nota. figura del IPCC AR6 que muestra cambios proyectados en temperatura y precipitación globales bajo distintos escenarios (IPCC, 2023)

Selección de modelos climáticos (CMIP6)

Para el análisis de los efectos del cambio climático en la cuenca de Piuray, se seleccionó un conjunto de Modelos Climáticos Globales (GCMs) pertenecientes al proyecto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), disponibles en formato NetCDF (.nc) desde la plataforma Copernicus Climate Data Store (CDS).

Estos modelos se priorizaron por su buen desempeño en la región andina y por su capacidad para representar adecuadamente los patrones espaciales y temporales de precipitación y temperatura en zonas de alta montaña.

Los modelos seleccionados fueron:

- ACCESS-CM2 (Australia)
- BCC-CSM2-MR (China)
- CNRM-ESM2-1 (Francia)
- CMCC-ESM2 (Italia)
- EC-Earth3-Veg-LR (Europa)
- INM-CM4-8 (Rusia)
- MIROC6 (Japón)
- MPI-ESM1-2-LR (Alemania)
- MRI-ESM2-0 (Japón)
- NorESM2-LM (Noruega)

Cada modelo incluye simulaciones para las tres variables climáticas de interés: precipitación (P), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin). Los escenarios analizados corresponden a los Shared Socioeconomic Pathways SSP2-4.5 (SSP245) y SSP5-8.5 (SSP585), abarcando el periodo de 2015 a 2100.

Escalamiento y corrección de sesgo

Los Modelos de Circulación General (GCMs) constituyen la base para proyectar el clima futuro a escala global. Sin embargo, su baja resolución espacial (≈100-250 km) y los sesgos sistemáticos que presentan en la representación de la precipitación y la temperatura limitan su aplicabilidad directa en estudios hidrológicos de cuencas pequeñas.

Para superar estas limitaciones, se aplicaron dos procesos complementarios:

1. Escalamiento espacial (Downscaling)

El downscaling permite trasladar la información climática global a una escala más fina y representativa de la cuenca en estudio. Este proceso se clasifica en dos enfoques principales:

- Downscaling dinámico: emplea Modelos Climáticos Regionales (RCMs) acoplados a los GCMs, permitiendo una mejor descripción física de la atmósfera, pero con alta demanda computacional.
- Downscaling estadístico: se basa en la relación empírica entre variables observadas y simuladas, ajustando las proyecciones globales para reflejar las condiciones locales.

En este estudio, las proyecciones se obtuvieron ya regionalizadas por la plataforma Copernicus. Este enfoque combina reducción de sesgo con ajustes estadísticos multivariados, generando proyecciones de alta resolución (≈0.1° o 10 km), adecuadas para modelación hidrológica con ArcSWAT.

2. Corrección de sesgo (Bias Correction)

La corrección de sesgo (bias correction) tiene como objetivo ajustar las series simuladas por los modelos climáticos para que reproduzcan estadísticamente las condiciones históricas observadas, eliminando desviaciones sistemáticas de media, varianza, distribución o estacionalidad.

Para este estudio, se utilizó el software CMhyd (Climate Model Data Processing Tool), que permite aplicar diversos métodos de corrección de sesgo sobre variables climáticas en formato NetCDF.

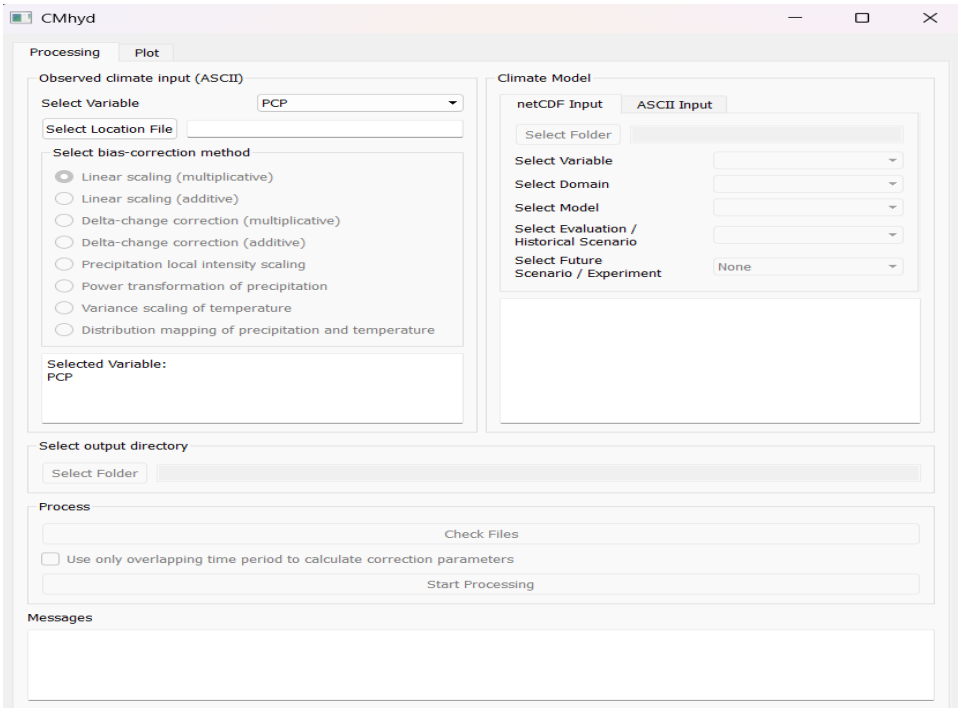
El proceso de corrección se realizó utilizando las series observadas de precipitación y temperatura de la cuenca de Piuray correspondientes al periodo 1981-2024, como referencia para la calibración estadística.

En este caso, se aplicó el método de Distribution Mapping (DM), una variante avanzada del Quantile Mapping (QM), que ajusta la distribución de probabilidad completa de los datos simulados a la de los datos observados. Este método garantiza que la estructura estadística (media, varianza y asimetría) de las series corregidas mantenga coherencia física y temporal.

Las correcciones se efectuaron de forma independiente para las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, y posteriormente se validaron mediante análisis comparativos de tendencia y coherencia mensual e interanual.

Figura 25

Interfaz del software CMhyd



Nota. Elaboración propia en base al software CMhyd

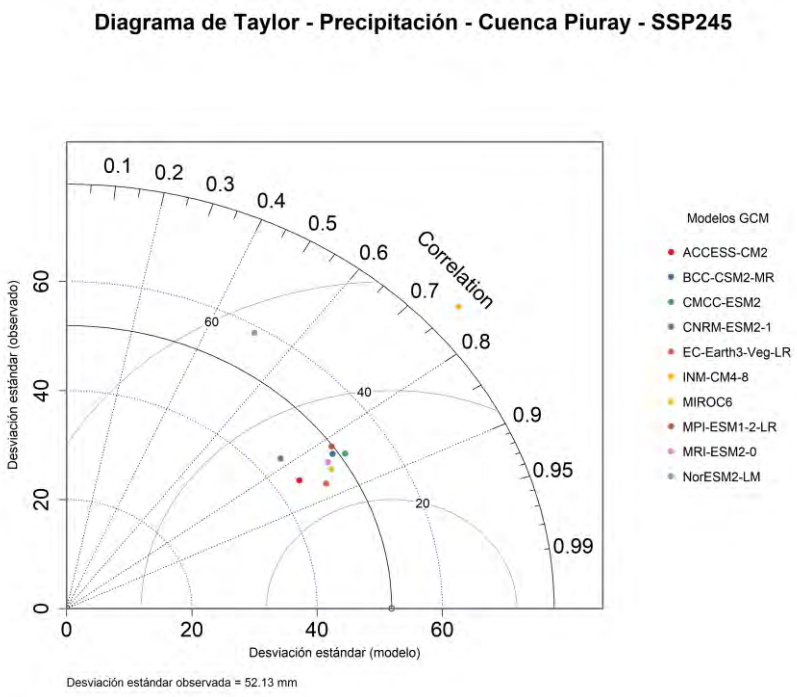
3.5.7.1. Diagrama de Taylor

Las Figuras 26 a 31 presentan los diagramas de Taylor obtenidos para la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En general, los modelos seleccionados se ubican más próximos al punto de referencia correspondiente a las observaciones, evidenciando un mejor desempeño en términos de correlación, desviación estándar y error cuadrático medio respecto a los modelos descartados.

Diagramas de Taylor - Escenario SSP2-4.5

Figura 26

Diagrama de Taylor de precipitación mensual (escenario SSP2-4.5).



Los diagramas de Taylor presentados a continuación muestran el desempeño estadístico de los modelos climáticos evaluados para el escenario SSP2-4.5, considerando las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. Estos gráficos permiten comparar simultáneamente el coeficiente de correlación, la desviación estándar y el error cuadrático medio centrado de cada modelo respecto a los datos observados, facilitando la identificación

de aquellos con mejor capacidad para representar las condiciones climáticas de la cuenca Piuray.

Figura 27

Diagrama de Taylor de temperatura máxima mensual (escenario SSP2-4.5).

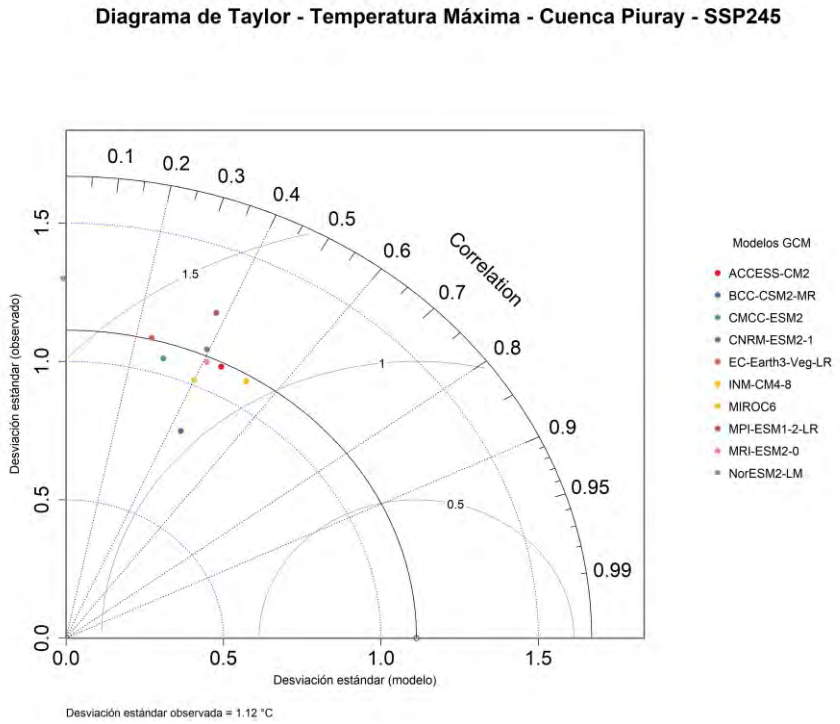
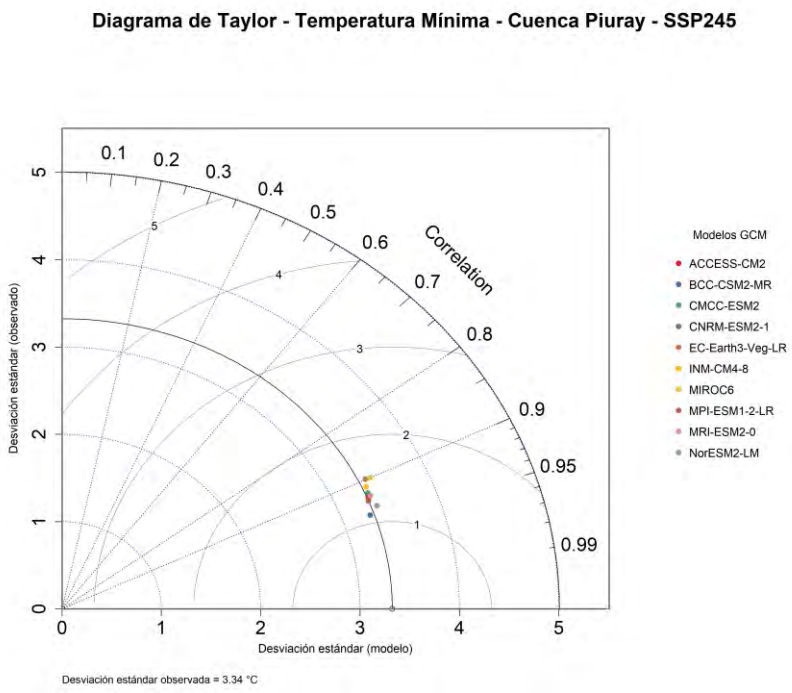


Figura 28

Diagrama de Taylor de temperatura mínima mensual (escenario SSP2-4.5).



Diagramas de Taylor - Escenario SSP5-8.5

Figura 29

Diagrama de Taylor de precipitación mensual (escenario SSP5-8.5).

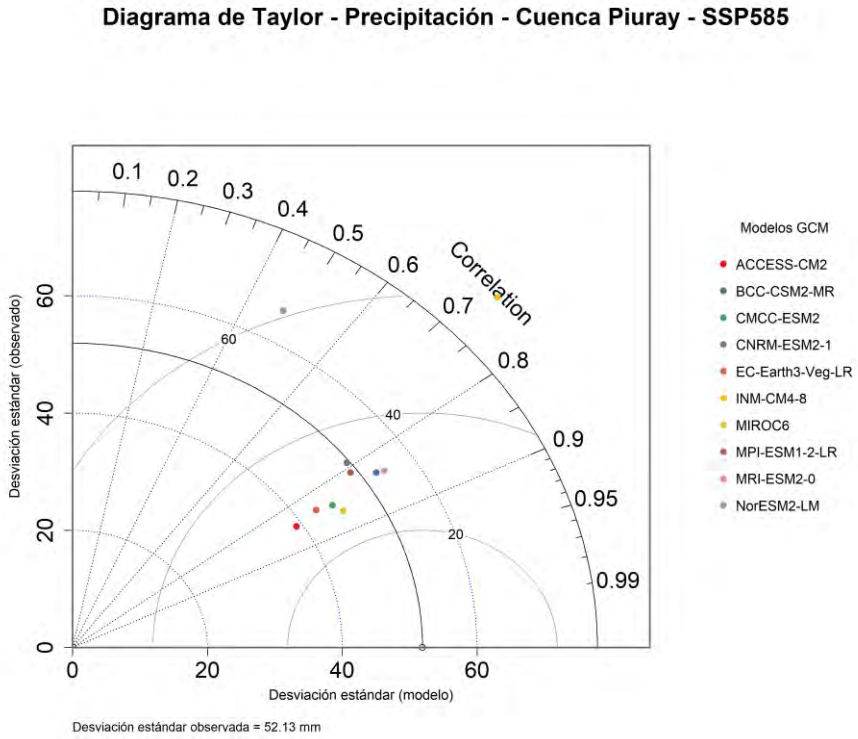


Figura 30

Diagrama de Taylor de temperatura máxima mensual (escenario SSP5-8.5).

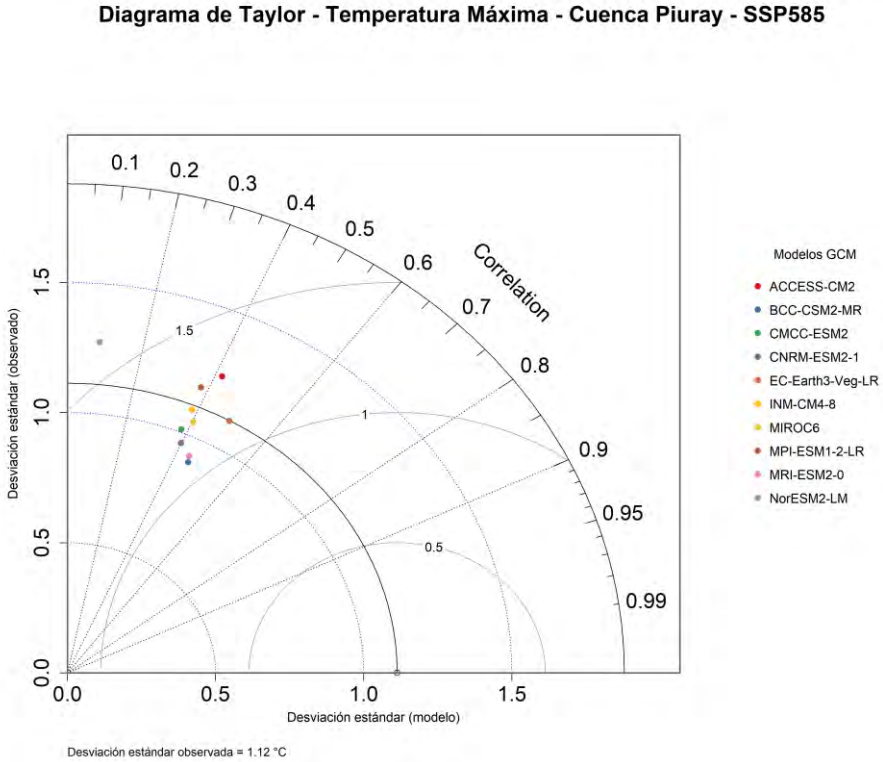
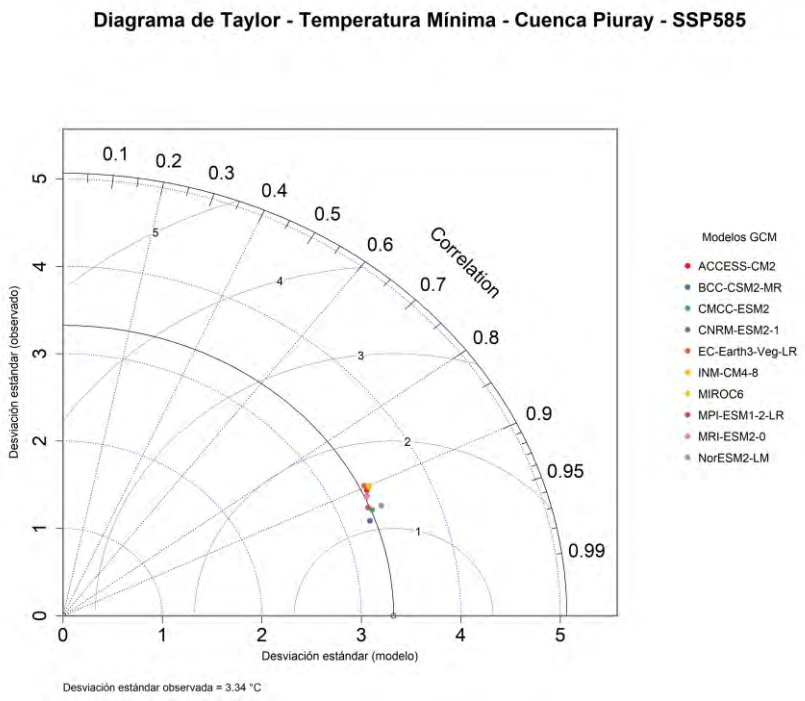


Figura 31

Diagrama de Taylor de temperatura mínima mensual (escenario SSP5-8.5).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

(Gráfico circular que muestra, en un solo plano, la desviación estándar, la correlación y el RMSE de cada modelo respecto a las observaciones. Los modelos más próximos al punto de referencia (observado) representan mejor ajuste).

3.5.7.1.1. Indicadores estadísticos del periodo de validación

Los indicadores obtenidos para la validación muestran un desempeño sólido del modelo. Los valores alcanzados fueron:

Tabla 13

Desempeño final del modelo en la fase de validación

Indicador	***Valor***
R2	0.80
NSE	0.76
PBIAS	-0.10

Estos resultados colocan a la validación dentro de la categoría de "**muy buen desempeño**" para R^2, NSE y PBIAS.

3.5.8. Información hidrometeorológica

Los datos hidrometeorológicos utilizados en la presente investigación corresponden a los caudales de entrada y salida de la laguna de Piuray, así como a los niveles históricos del espejo de agua. Esta información es proporcionada por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Cusco (SEDACUSCO S.A.), institución encargada de la gestión y operación de la infraestructura de abastecimiento hídrico de la ciudad de Cusco.

El registro disponible de datos de niveles de espejo de agua comprende el periodo 2000 - 2024. Estos datos son muy fundamentales para la construcción de balances hídricos, la calibración del modelo hidrológico y la validación de las proyecciones climáticas aplicadas a la cuenca de estudio.

3.5.9. Información cartográfica y satelital

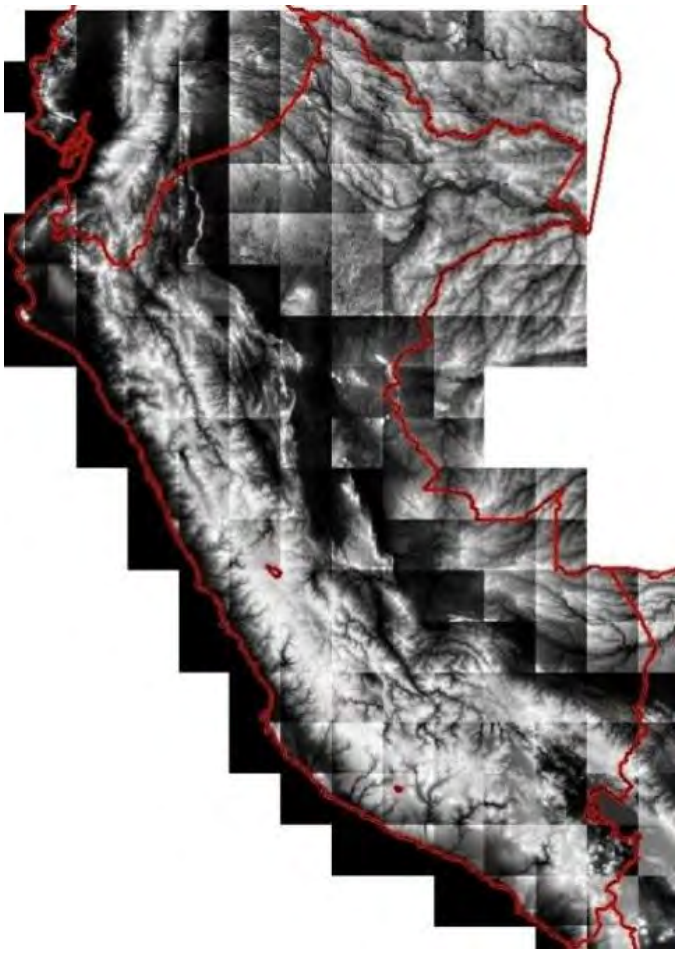
3.5.9.1. Modelos Digitales de Elevación (MDE)

En el presente estudio se utilizaron diferentes Modelos Digitales de Elevación (MDE) con el propósito de seleccionar el más adecuado para representar las condiciones topográficas de la cuenca de la laguna de Piuray. Los MDE empleados fueron: SRTM, ASTER GDEM, ALOS PALSAR (12.5 m reescalado a 30 m), COPERNICUS GLO-30 y el DEM del Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Perú, todos con resolución de 30 m para fines comparativos.

Estos modelos fueron obtenidos de plataformas oficiales: SRTM y ASTER desde EARTHDATA/USGS, ALOS PALSAR desde ASF, COPERNICUS desde OpenTopography (ESA/DLR/Airbus) y el DEM del IGN desde su portal oficial.

Figura 32

Modelo digital de elevación del Perú



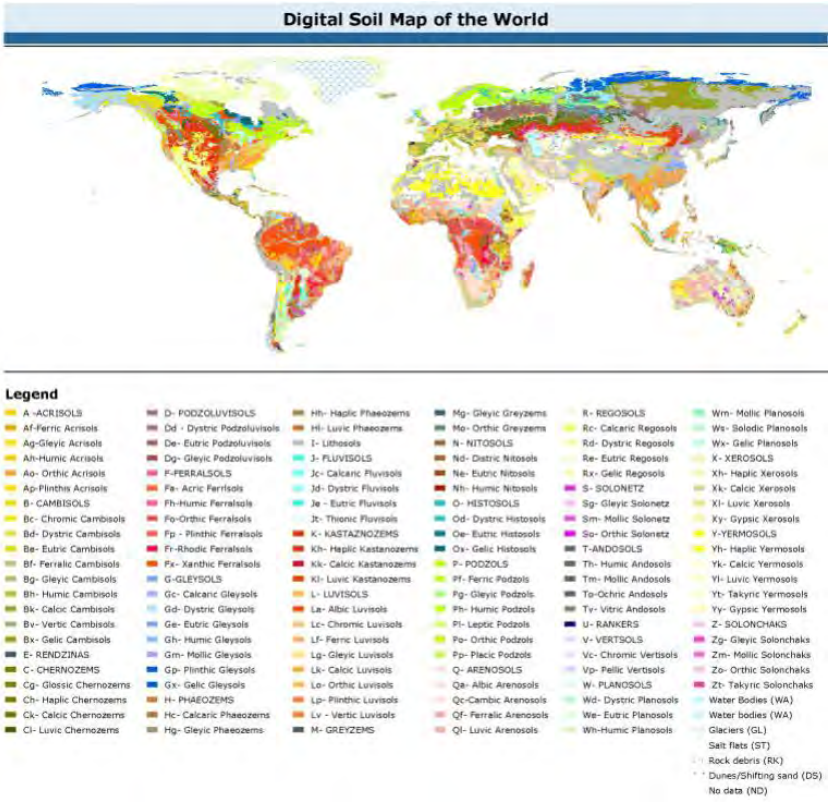
Nota. Elaboración propia en ArcGis a partir de data MDE

3.5.9.2. Tipo de suelo

El tipo de suelo se obtuvo a partir del Mapa Digital de Suelos del Mundo FAO/UNESCO (1995), a escala 1:5 000 000, en formato vectorial (.shp) y la información proporcionada por la zonificación ecológica económica (ZEE) del ministerio del ambiente (MINAM), disponible para el departamento del cusco. Este producto corresponde a una cartografía elaborada por el instituto de medio ambiente (IMA-Cusco, 2005) a escala 1:1 500 000.

Figura 33

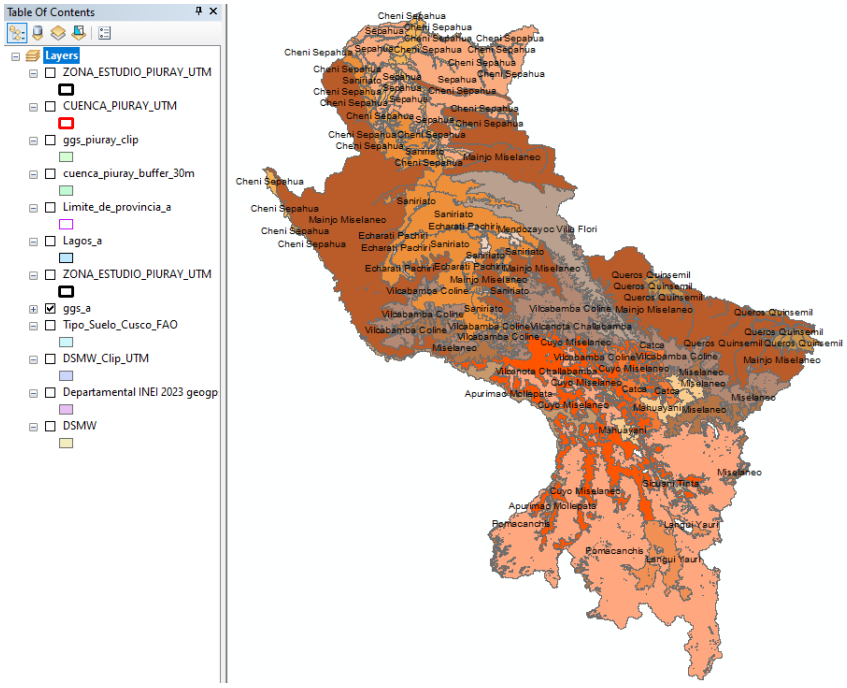
Mapa digital de suelos del mundo



Nota. Descargada de la página oficial (FAO - UNESCO, s.f.)

Figura 34

Mapa digital de suelos de cusco - ZEE



Nota. Descargada de la página del MINAM

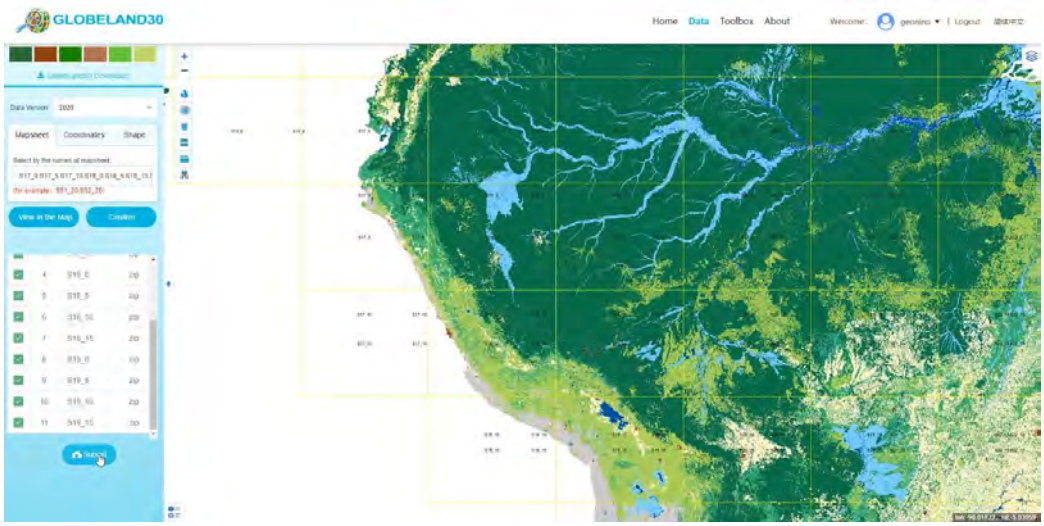
3.5.9.3. Uso de suelo o cobertura vegetal

Para esta investigación, la información de uso de suelo fue obtenida a partir del producto GlobeLand30, elaborado por el National Geomatics Center of China, el cual constituye el primer conjunto global de cobertura terrestre a una resolución espacial de 30 metros, puesto a disposición de la comunidad científica a través de la ONU.

El mapa de uso de suelo fue procesado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de clasificar y caracterizar las principales categorías presentes en la cuenca de la laguna Piuray, estableciendo su distribución espacial y superficie relativa. Esta información permitió determinar el grado de intervención antrópica y su influencia en los procesos de escorrentía, infiltración y evapotranspiración, elementos clave en el balance hídrico de la cuenca.

Figura 35

Descarga de uso de cobertura vegetal GlobeLand30



Nota. Interfaz de la plataforma oficial de descarga GlobeLand - China

3.5.9.4. Curva Número

La información del mapa de Número de Curva (CN) utilizada en el presente estudio fue extraída del mapa de CN del Perú, elaborado por el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) - Autoridad Nacional del Agua (ANA). Donde emplearon como insumos el mapa de cobertura y uso del suelo, el mapa de suelos y el Modelo Digital de

Elevación (MDE), los cuales permitieron identificar las unidades de cobertura y los grupos hidrológicos de suelo requeridos para la asignación del valor de CN.

Figura 36

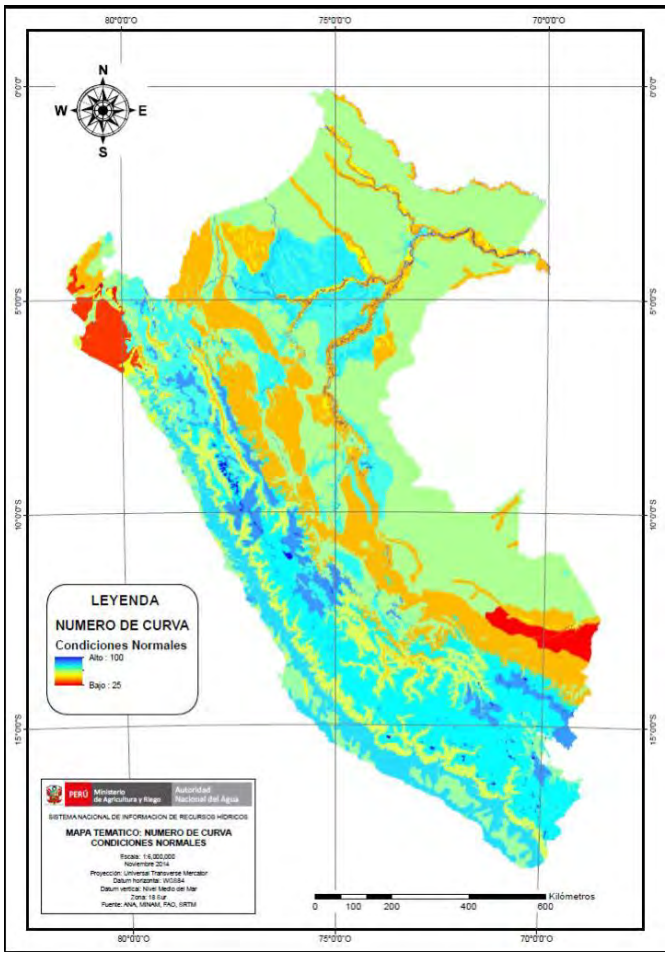
Modelo conceptual de generación de valores de curva número



Nota. Manual de generación de mapa temático de curva número (ANA, SNIRH)

Figura 37

Mapa de curva número para condiciones normales



Nota. Manual de generación de mapa temático de curva número (ANA, SNIRH)

3.5.10. Información batimétrica y niveles de espejo de agua

La información de la batimetría utilizada en esta investigación fue tomada del estudio realizado por la ANA en octubre del año 2020 en la laguna de Piuray, que permitió obtener una representación detallada de la morfometría del cuerpo de agua mediante registros de profundidad y extensión superficial. Esta información fue complementada con registros históricos de niveles de agua, suministrados por SEDACUSCO S.A., correspondientes al periodo de los años 2000 - 2024.

3.5.10.1. Batimetría ANA - 2020

El análisis batimétrico es una etapa muy esencial para la estimación precisa de la capacidad de almacenamiento y la dinámica del cuerpo de agua. En este estudio se emplea el estudio batimétrico realizada en el año 2020 realizado por la ANA, complementada con registros históricos de niveles de la laguna Piuray correspondientes al periodo 2000-2024.

El procedimiento incluye la digitalización y depuración de las curvas de profundidad obtenidas en campo, así como su interpolación y su posterior integración en un modelo tridimensional del espejo de agua. A partir de este modelo se elaboran curvas cota-volumen y cota-área, que son importantes para evaluar las variaciones en el almacenamiento de la laguna bajo diferentes condiciones hidrológicas y climáticas.

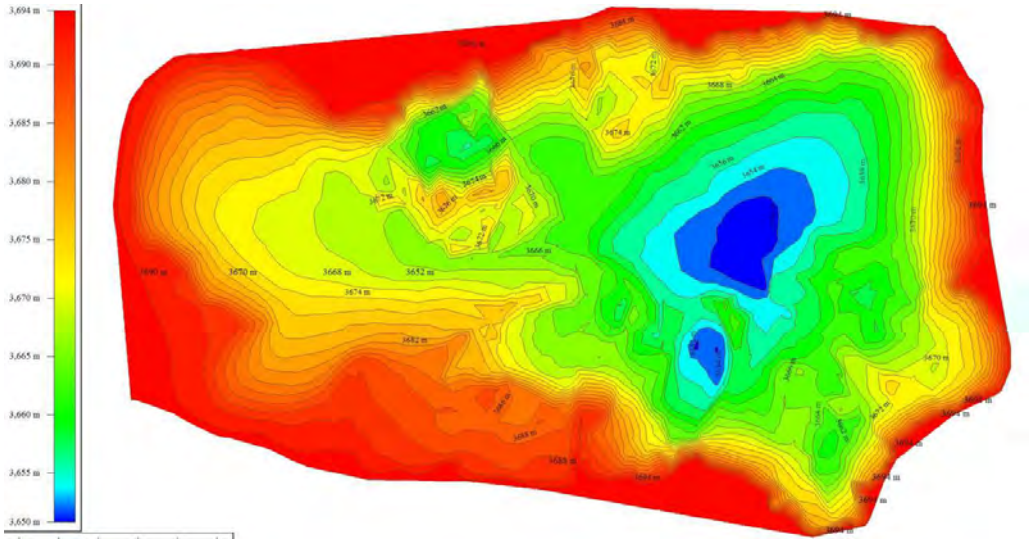
Asimismo, los niveles históricos de agua proporcionados por SEDACUSCO son procesados y homogeneizados para construir una serie continua y confiable, que nos permite analizar las tendencias, fluctuaciones estacionales y sus posibles cambios en la capacidad efectiva de almacenamiento. Estos resultados constituyen la base para la calibración de la simulación hidrológica en SWAT asi como para el balance hídrico general del sistema.

La combinación de la batimetría reciente con las series históricas de niveles permite la elaboración de curvas cota-área-volumen, esenciales para la determinación del almacenamiento útil y total de la laguna. Asimismo, estos datos son necesarios para realizar la

calibración del modelo hidrológico y para la elaboración de los escenarios de variación de almacenamiento en función a las condiciones climáticas futuras.

Figura 38

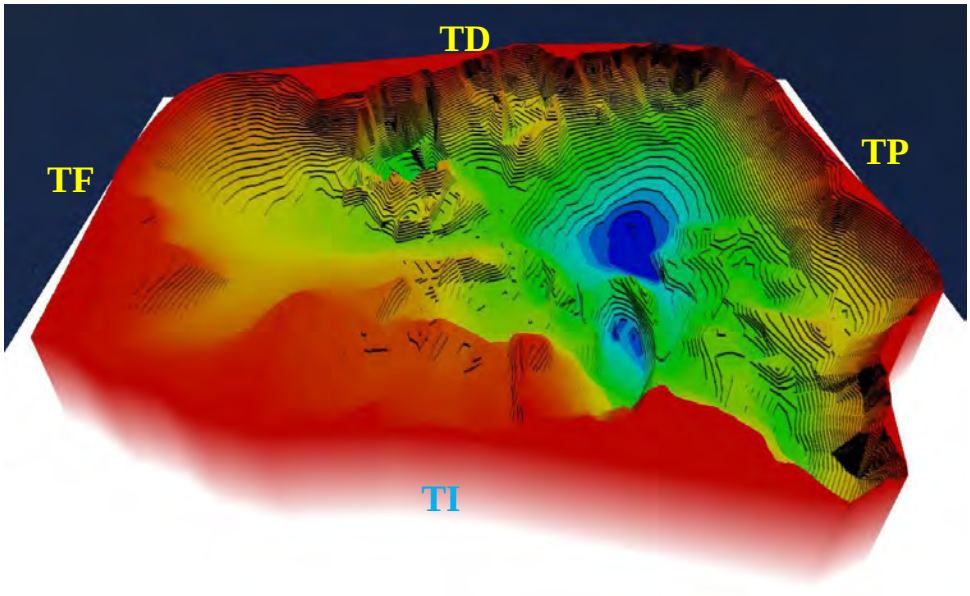
Morfología de la laguna Piuray



Nota. Tomado de ANA (Autoridad Nacional del Agua, s.f.)

Figura 39

Relieve y Morfología de la laguna Piuray



Nota. Tomado de ANA (Autoridad Nacional del Agua, s.f.)

Como se aprecia en la figura superior, el relieve de la laguna Piuray es irregular, encontrándose su profundidad máxima de 43,85 metros, en la parte posterior derecha.

- Talud Derecho (TD): En esta parte de la laguna, se ha hallado una pendiente de hasta 15°. Se observa una gran cantidad de material, lo cual nos hace suponer que ha ocurrido un derrumbe.
- Talud Izquierda (TI): Se ha hallado una inclinación de hasta 23° en esta parte de la laguna. También se puede ver en este lado que pequeñas olas se han formado hacia el mar.
- Talud Frontal (TF): Se ha detectado en este lado de la laguna una inclinación de hasta 3°. En este lado se ubica el canal de desagüe natural y la tubería que ha instalado SEDACUSCO S.A. para llevar agua desde la laguna de Piuray hasta la planta de tratamiento.
- Talud Posterior (TP): Contiguo a áreas de terrenos de cultivo de pendiente suave

Características físicas de la laguna de Piuray

Tabla 14

Características físicas de la laguna Piuray

Forma	Irregular	
Este	821287	m
Norte	8514872	m
Cota del espejo de agua	3694.14	m s. n. m.
Zona	18	L
Área del espejo de agua al día 18/10/2020	3560244	m^2
Perímetro de la laguna	8972	m
Volumen de almacenamiento al día 18/10/2020	75410940	m^3
Profundidad máxima	43.85	m
Largo máximo	2877	m
Ancho máximo	1643	m
Coeficiente de circularidad	0.56	
Ancho medio	1237	m
Profundidad media	21.18	m
Desarrollo de volumen	1.45	
Cociente entre profundidad media y máxima	0.48	
Índice de profundidad relativa	0.002	
Relación entre la longitud máxima y el ancho medio	2.32	
Relación ancho - profundidad	37.47	

Nota. Batimetría de la laguna Piuray por ANA (2020)

Resultados de la batimetría de la laguna de Piuray

Tabla 15

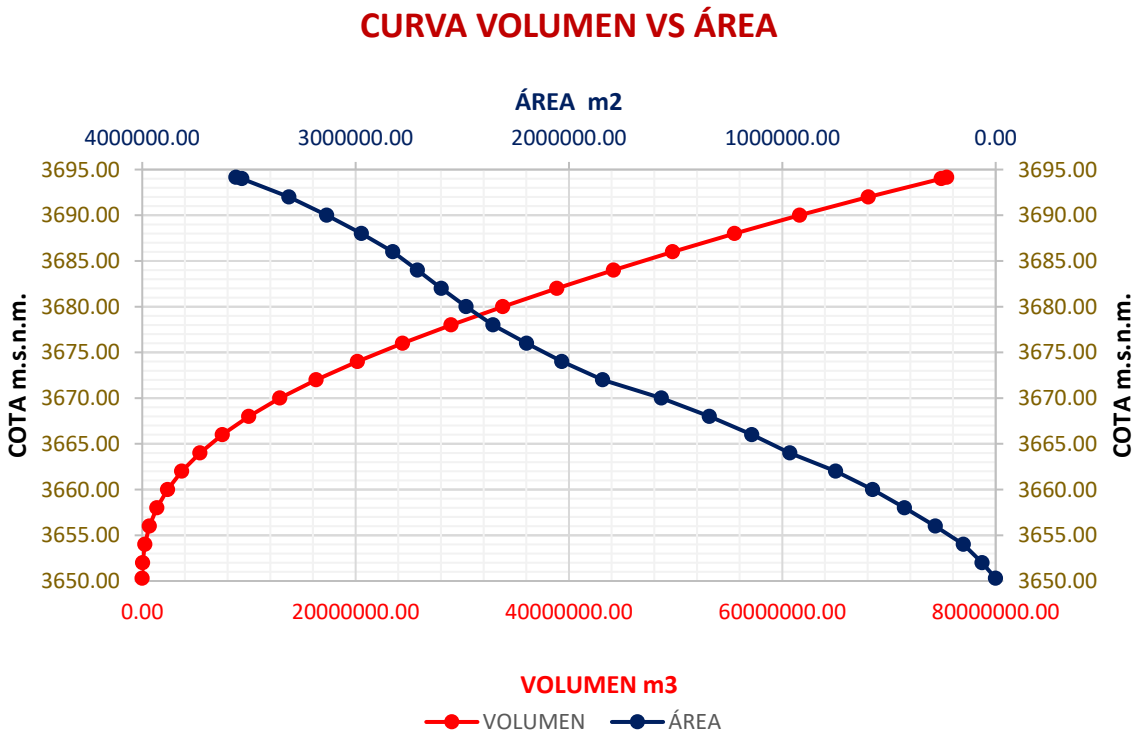
Resultados de la Batimetría de la Laguna Piuray

Cota (msnm)	Prof. (m)	Área		Volumen		Descripción
		Área (m2)	Área (Km2)	Vol. Parcial (m3)	Vol. Acumulado (m3)	
3694.14	0.00	**3560244.18**	3.56	496522.58	**75410940.08**	Cota encontrada al día 18/10/2020
3694.00	-0.14	3532953.07	3.53	6844255.99	74914417.50	
3692.00	-2.14	3312486.62	3.31	6447000.37	68070161.51	
3690.00	-4.14	3135325.18	3.14	6107029.46	61623161.14	
3688.00	-6.14	2972428.49	2.97	5796907.50	55516131.69	
3686.00	-8.14	2825103.07	2.83	5534982.79	49719224.19	
3684.00	-10.14	2710276.75	2.71	5308051.22	44184241.40	
3682.00	-12.14	2598169.11	2.60	5079270.65	38876190.18	
3680.00	-14.14	2481547.83	2.48	4837076.15	33796919.54	
3678.00	-16.14	2356070.84	2.36	4553609.21	28959843.39	
3676.00	-18.14	2198447.82	2.20	4230439.45	24406234.18	
3674.00	-20.14	2033069.28	2.03	3873237.14	20175794.73	
3672.00	-22.14	1841743.33	1.84	3404568.25	16302557.59	
3670.00	-24.14	1566534.69	1.57	2905118.05	12897989.35	
3668.00	-26.14	1341490.32	1.34	2481333.84	9992871.29	
3666.00	-28.14	1142504.50	1.14	2104329.47	7511537.45	
3664.00	-30.14	964340.53	0.96	1709572.48	5407207.98	
3662.00	-32.14	749728.12	0.75	1322437.09	3697635.50	
3660.00	-34.14	576496.45	0.58	999673.30	2375198.41	
3658.00	-36.14	426914.19	0.43	704359.38	1375525.11	
3656.00	-38.14	282404.06	0.28	426636.64	671165.73	
3654.00	-40.14	151029.13	0.15	208267.97	244529.09	
3652.00	-42.14	63467.53	0.06	36261.12	36261.12	
3650.29	-43.85	0.00	0.00	0.00	0.00	Cota de la profundidad máxima
				75410940.08		

- Área de la laguna = 3 560 244 m2
- Volumen de almacenamiento = 75 410 940 m3
- Profundidad máxima = 43,85 m
- Largo Máximo = 2 877 m
- Ancho Máximo = 1 643 m

Figura 40

Curva de área vs volumen de la laguna Piuray



Nota. Adaptado de (Autoridad Nacional del Agua, s.f.)

La laguna Piuray cuenta con una profundidad máxima de 43,85 m. Se encuentra en la parte trasera de su cubeta y tiene una inclinación máxima de 3° hacia atrás y 1° hacia adelante. Los costados tienen un ángulo de inclinación de 4° por la derecha y de 3° por la izquierda. La cubeta es típica de las lagunas glaciares, pues presenta las profundidades más bajas en la zona delantera y las más altas en la parte posterior. Su corte transversal muestra una forma U, lo que indica que fue modelada por un glaciar de valle.

3.5.10.2. Niveles de espejo de agua de la laguna Piuray

El nivel del espejo de agua de la laguna Piuray constituye un parámetro hidrológico fundamental para el análisis del comportamiento del embalse y su capacidad de regulación hídrica a lo largo del tiempo. En el presente estudio, los niveles de la laguna fueron proporcionados por la EPS SEDACUSCO`1 y fueron determinados a partir de las mediciones

realizadas en la bocatoma de captación, la cual se encuentra ubicada a una altitud de 3690.743 m s.n.m., considerada como cota de referencia para el análisis.

Las variaciones del nivel del espejo de agua se expresan como incrementos o descensos relativos respecto a la altitud de la bocatoma, adoptándose una convención de signo positivo (+) cuando el nivel del agua se encuentra por encima de la cota de referencia, y negativo (−) cuando el nivel se sitúa por debajo de dicha altitud. Este criterio permite evaluar de manera uniforme las fluctuaciones temporales del nivel del embalse y facilita su interpretación hidrológica.

Es importante señalar que, de acuerdo con información técnica proporcionada por la EPS SEDACUSCO, la laguna Piuray funciona como un reservorio regulado mediante una compuerta de control, lo que limita significativamente las pérdidas de agua por derivación aguas abajo. En consecuencia, las variaciones observadas en los niveles del espejo de agua reflejan principalmente los efectos combinados de los aportes hídricos, la evaporación y las extracciones directas para consumo humano.

Finalmente, los registros de nivel del espejo de agua fueron utilizados como una variable observada independiente para contrastar y validar la variación temporal del volumen de almacenamiento estimada mediante el balance hídrico mensual del vaso de la laguna, permitiendo un análisis integrado del comportamiento hidrológico del sistema durante el periodo 2000-2024. Estos registros permiten analizar la evolución temporal del nivel del embalse, identificar patrones estacionales y evaluar la respuesta de la laguna frente a las condiciones climáticas y operativas.

Tabla 16

Registros históricos mensuales del nivel del espejo de agua de la laguna Piuray (m)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2000	-2.52	-1.95	-1.45	-1.49	-1.60	-1.72	-1.89	-2.06	-2.22	-2.32	-2.51	-2.59
2001	-1.85	-1.44	-0.68	-0.51	-0.51	-0.61	-0.70	-0.85	-0.96	-1.03	-1.03	-1.10
2002	-0.89	-0.11	0.51	0.96	1.01	0.99	0.99	0.88	0.76	0.76	0.77	1.77
2003	1.44	1.88	2.52	2.82	2.80	2.72	2.62	2.51	2.35	2.14	1.98	1.98
2004	2.33	2.62	2.74	2.74	2.56	2.41	2.28	2.06	1.93	1.75	1.63	1.57
2005	1.56	1.70	1.79	1.74	1.56	1.38	1.22	1.03	0.82	0.69	0.61	0.50
2006	0.77	0.98	1.27	1.45	1.33	1.21	1.05	0.87	0.66	0.52	0.51	0.72
2007	0.83	0.92	1.31	1.40	1.32	1.20	1.05	0.87	0.69	0.57	0.50	0.50
2008	0.60	0.71	0.86	0.77	0.62	0.46	0.26	0.07	-0.13	-0.25	-0.36	-0.36
2009	-0.19	0.04	0.18	0.12	-0.05	-0.19	-0.39	-0.50	-0.77	-0.97	-0.83	-0.65
2010	0.61	1.70	2.43	2.73	2.75	2.72	2.65	2.53	2.39	2.33	2.24	2.54
2011	2.66	3.37	4.19	4.51	4.47	4.39	4.34	4.23	4.18	4.07	3.99	4.10
2012	4.16	4.58	4.71	4.78	4.62	4.48	4.31	4.11	3.98	3.82	3.83	4.34
2013	4.78	5.25	5.23	5.20	5.02	4.77	4.55	4.35	4.21	4.04	4.08	4.39
2014	4.74	4.89	4.76	4.69	4.55	4.34	4.21	3.91	3.71	3.59	3.42	3.42
2015	3.56	3.75	3.89	4.04	3.95	3.81	3.65	3.42	3.25	3.09	2.96	3.00
2016	2.98	3.67	3.80	3.75	3.57	3.40	3.25	3.08	2.87	2.69	2.49	2.45
2017	2.52	2.98	2.90	2.97	2.90	2.49	2.38	2.27	2.08	1.92	1.79	1.80
2018	1.92	2.23	2.66	2.70	2.66	2.56	2.40	2.24	2.07	1.92	1.87	1.68
2019	1.84	2.07	2.49	2.69	2.66	2.54	2.44	2.25	2.06	1.92	1.98	2.11
2020	2.95	3.75	4.31	4.43	4.39	4.30	4.11	3.90	3.71	3.52	3.35	3.47
2021	3.63	3.88	4.02	4.19	4.10	3.97	3.80	3.60	3.43	3.29	3.26	3.22
2022	3.36	3.65	3.95	3.98	3.82	3.67	3.52	3.31	3.09	3.29	2.64	2.52
2023	2.47	2.50	2.43	2.35	2.27	2.08	1.90	1.73	1.59	1.42	1.35	1.49
2024	1.49	1.59	1.63	1.62	1.50	1.34	1.15	0.98	0.84	0.73	0.80	0.97

Nota. Elaboración propia en base a datos proporcionados por SEDACUSCO S.A.

Tabla 17

Cotas mensuales del nivel del espejo de agua de la laguna Piuray (m.s.n.m.)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2000	3688.22	3688.79	3689.29	3689.25	3689.14	3689.02	3688.85	3688.68	3688.52	3688.42	3688.23	3688.15
2001	3688.89	3689.30	3690.06	3690.23	3690.23	3690.13	3690.04	3689.89	3689.78	3689.71	3689.71	3689.64
2002	3689.85	3690.63	3691.25	3691.70	3691.75	3691.73	3691.73	3691.62	3691.50	3691.50	3691.51	3692.51
2003	3692.18	3692.62	3693.26	3693.56	3693.54	3693.46	3693.36	3693.25	3693.09	3692.88	3692.72	3692.72
2004	3693.07	3693.36	3693.48	3693.48	3693.30	3693.15	3693.02	3692.80	3692.67	3692.49	3692.37	3692.31
2005	3692.30	3692.44	3692.53	3692.48	3692.30	3692.12	3691.96	3691.77	3691.56	3691.43	3691.35	3691.24
2006	3691.51	3691.72	3692.01	3692.19	3692.07	3691.95	3691.79	3691.61	3691.40	3691.26	3691.25	3691.46
2007	3691.57	3691.66	3692.05	3692.14	3692.06	3691.94	3691.79	3691.61	3691.43	3691.31	3691.24	3691.24
2008	3691.34	3691.45	3691.60	3691.51	3691.36	3691.20	3691.00	3690.81	3690.61	3690.49	3690.38	3690.38
2009	3690.55	3690.78	3690.92	3690.86	3690.69	3690.55	3690.35	3690.24	3689.97	3689.77	3689.91	3690.09
2010	3691.35	3692.44	3693.17	3693.47	3693.49	3693.46	3693.39	3693.27	3693.13	3693.07	3692.98	3693.28
2011	3693.40	3694.11	3694.93	3695.25	3695.21	3695.13	3695.08	3694.97	3694.92	3694.81	3694.73	3694.84
2012	3694.90	3695.32	3695.45	3695.52	3695.36	3695.22	3695.05	3694.85	3694.72	3694.56	3694.57	3695.08
2013	3695.52	3695.99	3695.97	3695.94	3695.76	3695.51	3695.29	3695.09	3694.95	3694.78	3694.82	3695.13
2014	3695.48	3695.63	3695.50	3695.43	3695.29	3695.08	3694.95	3694.65	3694.45	3694.33	3694.16	3694.16
2015	3694.30	3694.49	3694.63	3694.78	3694.69	3694.55	3694.39	3694.16	3693.99	3693.83	3693.70	3693.74
2016	3693.72	3694.41	3694.54	3694.49	3694.31	3694.14	3693.99	3693.82	3693.61	3693.43	3693.23	3693.19
2017	3693.26	3693.72	3693.64	3693.71	3693.64	3693.23	3693.12	3693.01	3692.82	3692.66	3692.53	3692.54
2018	3692.66	3692.97	3693.40	3693.44	3693.40	3693.30	3693.14	3692.98	3692.81	3692.66	3692.61	3692.42
2019	3692.58	3692.81	3693.23	3693.43	3693.40	3693.28	3693.18	3692.99	3692.80	3692.66	3692.72	3692.85
2020	3693.69	3694.49	3695.05	3695.17	3695.13	3695.04	3694.85	3694.64	3694.45	3694.26	3694.09	3694.21
2021	3694.37	3694.62	3694.76	3694.93	3694.84	3694.71	3694.54	3694.34	3694.17	3694.03	3694.00	3693.96
2022	3694.10	3694.39	3694.69	3694.72	3694.56	3694.41	3694.26	3694.05	3693.83	3694.03	3693.38	3693.26
2023	3693.21	3693.24	3693.17	3693.09	3693.01	3692.82	3692.64	3692.47	3692.33	3692.16	3692.09	3692.23
2024	3692.23	3692.33	3692.37	3692.36	3692.24	3692.08	3691.89	3691.72	3691.58	3691.47	3691.54	3691.71

Nota. Elaboración propia en base a datos proporcionados por SEDACUSCO S.A.

3.5.11. Caracterización geológica de la cuenca Piuray

La caracterización geológica de la cuenca Piuray se realizó con la finalidad de identificar las unidades litológicas predominantes y su distribución espacial dentro del área de estudio. Esta caracterización constituye información complementaria para la descripción física de la cuenca y para proporcionar un contexto geológico general de las condiciones naturales presentes en el área de estudio.

Para ello se empleó información cartográfica oficial del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), correspondiente al Cuadrángulo de Urubamba (27-r2) y Calca (27-s3), complementada con la información geológica reportada por Lloclla y Ugarte (2018) en el estudio "Oferta hídrica de la cuenca Piuray teniendo en cuenta los efectos del cambio climático".

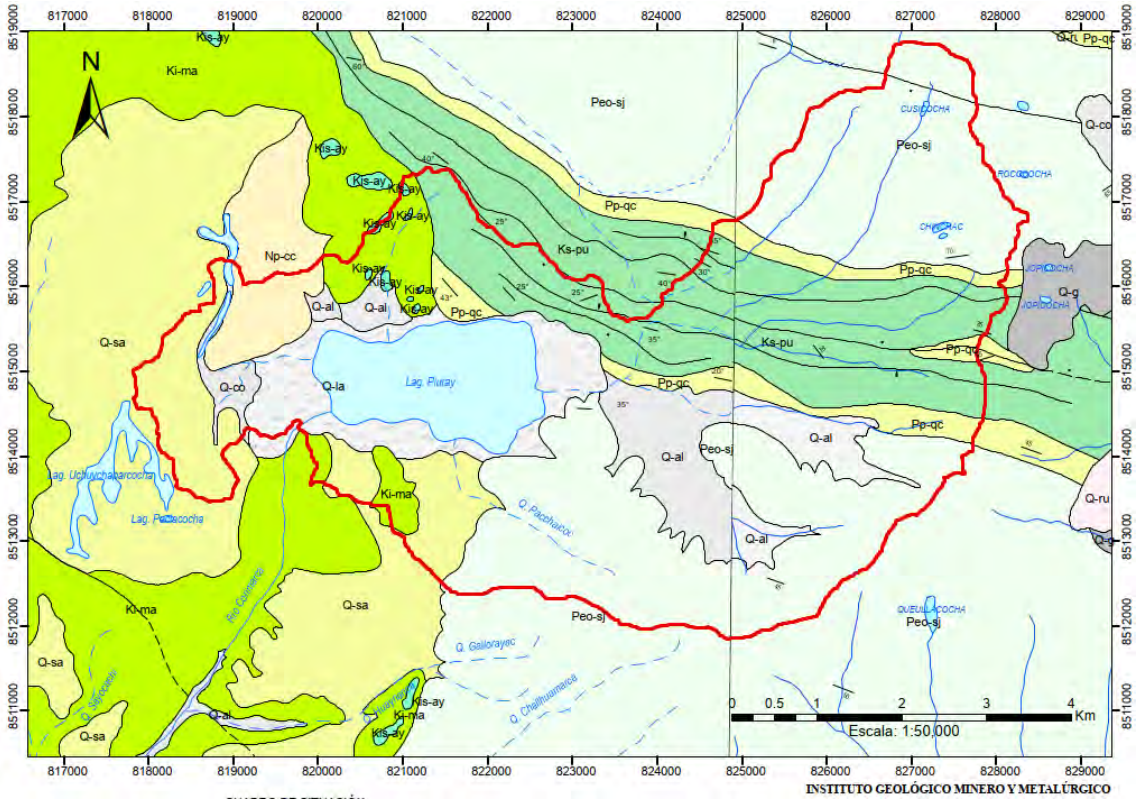
A partir de dicha información se elaboró el mapa geológico de la cuenca Piuray mediante ArcGIS, realizando el recorte de las unidades litológicas al límite de la cuenca delimitado previamente. Asimismo, se elaboró la columna estratigráfica correspondiente, identificando las principales unidades geológicas presentes en el área de estudio.

Unidades geológicas consideradas

En la cuenca Piuray predominan depósitos cuaternarios y secuencias sedimentarias de edad mesozoica y cenozoica. Entre las unidades geológicas más representativas se encuentran los depósitos aluviales, coluviales y lacustres, así como la Formación San Sebastián, la Formación Chincheros, el Grupo San Jerónimo y las formaciones Quilque-Chilca, Puquín, Ayabacas y Maras, las cuales constituyen el marco geológico general de la cuenca Piuray.

Figura 41

Mapa geológico simplificado de la cuenca Piuray



Nota. *El plano geológico completo elaborado para la investigación se presenta en el Anexo de planos 12.*

Estas unidades presentan diferentes características litológicas que permiten reconocer la diversidad geológica existente en la cuenca y constituyen una base de referencia para una caracterización general de sus condiciones hidrogeológicas.

Asimismo, la distribución de las unidades geológicas dentro de la cuenca permitió identificar sectores con condiciones diferenciadas respecto a la circulación y almacenamiento del agua. Estas variaciones litológicas pueden influir en la infiltración, el escurrimiento superficial y la disponibilidad de agua en el subsuelo, por lo que su reconocimiento resultó importante para comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca Piuray y complementar el análisis de sus recursos hídricos.

Tabla 18

Columna estratigráfica de la cuenca Piuray

Eratema	Sistema	Serie	Unidad	Código	Características principales
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOGENO	Depósito aluvial	Q-al	Gravas, arenas y bloques poco consolidados
			Depósito lacustre	Q-la	Arcillas, diatomitas y niveles de turba
			Depósito coluvial	Q-co	Gravas, limos y arenas de ladera
			Formacion San Sebastian	Q-sa	Arcillas y arenas fluvio-lacustres con turba y diatomitas
	NEÓGENO	PLIOCENO	Formación Chincheros	Np-cc	Brechas torrenciales con clastos calcáreos
	PALEÓGENO	OLIGOCENO EOCENO	Grupo San Jeronimo	Peo-sj	Areniscas feldespáticas con lutitas rojas y conglomerados
		PALEOCENO	Formación Quilque - Chilca	Pp-qc	Areniscas, lutitas y microconglomerados
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Formación Maras	Ki-ma	Lutitas rojas, yesos y calizas
			Formación Puquín	Ks-pu	Lutitas, areniscas y niveles de yeso
		INFERIOR	Formación Ayabacas	Kis-ay	Calizas grises masivas y bioclásticas

Nota. *Elaboración propia a partir de cartografía geológica del INGEMMET y de la caracterización geológica reportada por Lloclla y Ugarte (2018).*

La información geológica no fue incorporada como una variable de entrada ni como parámetro de calibración dentro del modelo ArcSWAT. Su incorporación permitió ampliar la descripción física y ambiental de la cuenca Piuray mediante la identificación y representación espacial de las principales unidades geológicas presentes en el área de estudio.

3.5.12. Caracterización hidrogeología de la cuenca

La caracterización hidrogeológica de la cuenca Piuray se realizó como información complementaria para describir las condiciones generales de permeabilidad y comportamiento hidráulico asociadas a las principales unidades geológicas presentes en el área de estudio. Esta caracterización permitió clasificar de manera conceptual las unidades litológicas según su

comportamiento hidrogeológico general, diferenciando unidades con mayor potencial de almacenamiento y circulación de agua subterránea de aquellas con menor permeabilidad.

Con base en la cartografía geológica del INGEMMET y en los estudios hidrogeológicos desarrollados por Peña (2012) y Lloclla y Ugarte (2018), las unidades litológicas fueron clasificadas de acuerdo con su comportamiento hidrogeológico general, diferenciando aquellas que presentan condiciones favorables para la infiltración y almacenamiento del agua subterránea de aquellas que presentan menor permeabilidad y limitan su circulación.

La clasificación hidrogeológica permitió complementar la caracterización física de la cuenca, proporcionando una representación conceptual de la distribución de unidades con diferentes condiciones de permeabilidad y potencial de almacenamiento subterráneo.

Tabla 19

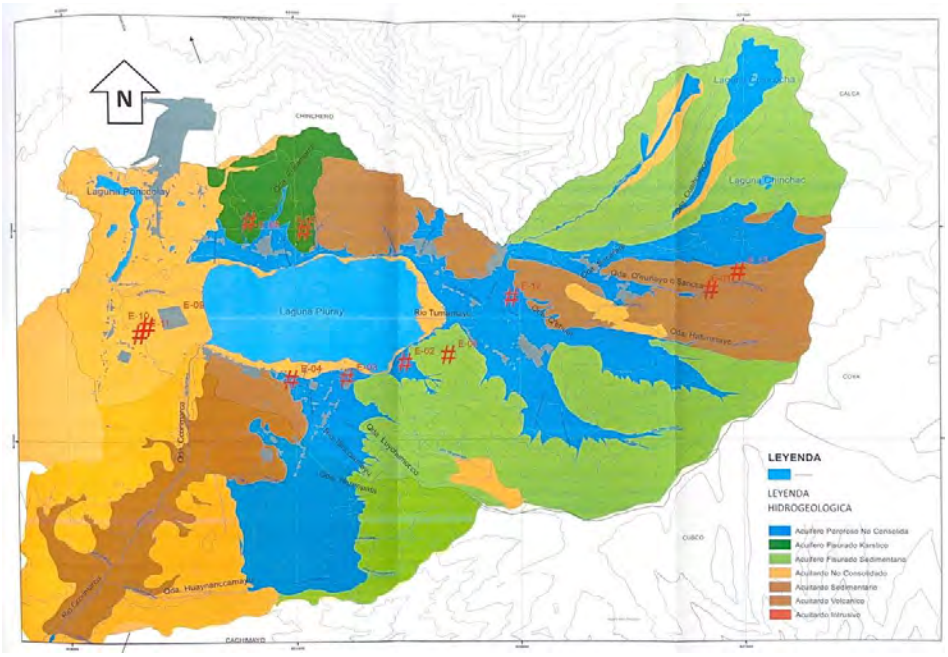
Clasificación hidrogeológica de las principales unidades geológicas de la cuenca Piuray

Unidad geológica	Código	Litología predominante	Clasificación hidrogeológica	Comportamiento hidráulico
Depósito aluvial	Q-al	Gravas, arenas y bloques	Acuífero poroso	Alta infiltración y almacenamiento temporal
Depósito lacustre	Q-la	Arcillas, diatomitas y turbas	Acuitardo	Muy baja permeabilidad
Depósito coluvial	Q-co	Gravas, limos y arenas	Acuitardo	Permeabilidad baja a media
Formación San Sebastián	Q-sa	Arcillas y arenas fluvio-lacustres	Acuitardo parcial	Baja a media permeabilidad
Formación Chincheros	Np-cc	Brechas con matriz limo-arcillosa	Acuitardo	Baja permeabilidad
Grupo San Jerónimo	Peo-sj	Areniscas feldespáticas con lutitas	Acuífero fisurado sedimentario	Permeabilidad media-alta por fracturas
Formación Quilque-Chilca	Pp-qc	Areniscas y lutitas	Acuífero local	Permeabilidad moderada
Formación Puquín	Ks-pu	Lutitas y areniscas con yesos	Acuitardo	Baja permeabilidad
Formación Maras	Ki-ma	Lutitas, yesos y evaporitas	Acuitardo	Muy baja permeabilidad
Formación Ayabacas	Kis-ay	Calizas fracturadas	Acuífero fisurado kárstico	Alta permeabilidad secundaria

Nota. Elaboración propia con base en cartografía geológica del INGEMMET y la interpretación hidrogeológica propuesta por Peña (2012) y Lloclla y Ugarte (2018).

Figura 42

Mapa hidrogeológico simplificado de la cuenca Piuray.



Nota. Cartografía geológica del INGEMMET y la interpretación hidrogeológica propuesta por Lloclla y Ugarte (2018).

De acuerdo con la clasificación hidrogeológica adoptada, las principales unidades presentes en la cuenca presentan las siguientes características generales:

Los depósitos aluviales presentan una elevada permeabilidad debido al predominio de gravas y arenas, permitiendo una rápida infiltración y constituyendo los principales acuíferos porosos de la cuenca.

El Grupo San Jerónimo corresponde a un acuífero fisurado sedimentario, donde la presencia de fracturas favorece la circulación y almacenamiento del agua subterránea.

La Formación Ayabacas presenta comportamiento de acuífero fisurado kárstico, asociado a la presencia de calizas fracturadas.

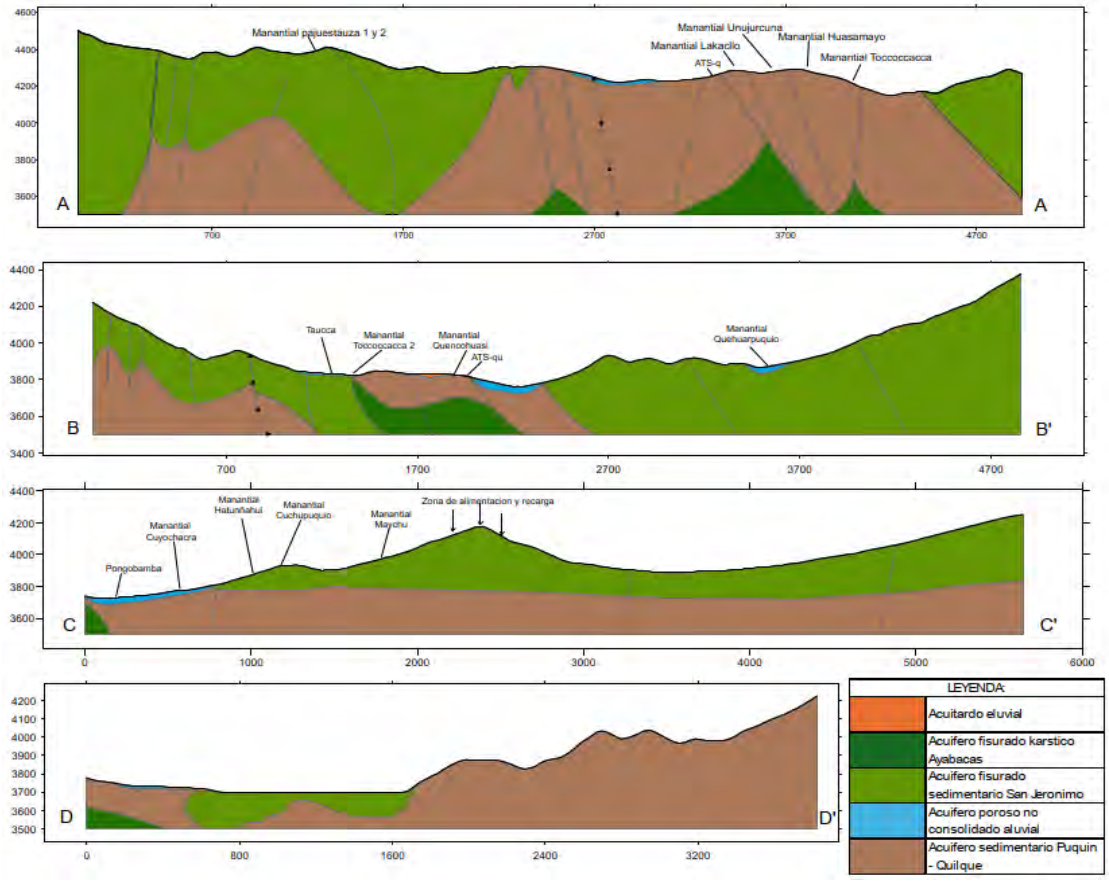
Por otro lado, las formaciones Puquín y Chincheros, junto con los depósitos coluviales y lacustres, presentan baja permeabilidad debido al predominio de lutitas, arcillas y yesos, comportándose como acuitardos que limitan la infiltración profunda y favorecen el almacenamiento superficial.

Con la finalidad de complementar la caracterización geológica e hidrogeológica de la cuenca, se elaboraron perfiles geológico-hidrogeológicos a partir del Modelo Digital de Elevación Copernicus de 12.5 m, la cartografía geológica oficial del INGEMMET y la clasificación hidrogeológica de las unidades litológicas presentes en el área de estudio. Los perfiles permitieron representar de manera conceptual la distribución espacial de materiales con diferentes características de permeabilidad dentro de la cuenca.

Las condiciones hidrogeológicas identificadas constituyen información complementaria para la caracterización física de la cuenca Piuray y permiten reconocer la presencia de unidades con diferentes condiciones de permeabilidad y potencial de almacenamiento subterráneo.

Figura 43

Perfiles geológico-hidrogeológicos interpretativos



Nota. *Elaboración propia con base en cartografía geológica del INGEMMET y la interpretación hidrogeológica propuesta por Peña (2012) y Lloclla y Ugarte (2018).*

3.5.13. Procesamiento y selección de MDE

3.5.13.1. Delimitación de la zona de estudio

Previo a la descarga de los Modelos Digitales de Elevación (MDE), se procedió a delimitar la zona de estudio junto con sus áreas aledañas. Para ello, se generó un archivo vectorial tipo polígono (.shp) en el software ArcGIS, el cual permitió representar espacialmente los límites del área de interés. Esta delimitación tuvo como propósito principal facilitar la ubicación precisa de la zona en las distintas plataformas de descarga de información geoespacial, así como asegurar la obtención de los MDE más adecuados y correspondientes al área delimitada. La utilización de este shapefile optimizó el proceso de selección y recorte de los datos, garantizando mayor eficiencia y precisión en el tratamiento posterior de la información.

Figura 44

Delimitación de la zona de estudio



Nota. Elaboración propia con ArcGis, utilizando la herramienta “Add Basemap” para referencia espacial

Figura 45

Descarga de modelos digitales de elevación (MDE)



Nota. Capturas propias de los portales oficiales de descarga de MDE mencionados (USGS, Earthdata, ASF, Copernicus/ESA, IGN Perú y OpenTopography)

SRTM v3 (SRTM Plus):

Esta versión corregida está disponible en resoluciones de 90 m y 30 m, y fue desarrollada por la NASA para mejorar la cobertura y continuidad del modelo original

Los modelos digitales de elevación que se han descargado son:

- ✓ S14W072.hgt
- ✓ S14W073.hgt

ASTER GDEM v3:

Los modelos digitales de elevación (MDE) de la tercera versión del ASTER GDEM disponible en una resolucion de 30m, fue descargada como:

- ✓ ASTGTMV003_S14W072_dem.tif
- ✓ ASTGTMV003_S14W073_dem.tif

Copernicus DEM (30m o GLO-30):

El modelo digital de elevación de la data Copernicus DEM GLO-30, la cual ofrece una data continua y uniforme a nivel global fue descargado para la zona de estudio como:

- ✓ output_hh.tif

ALOS PALSAR RTC (Radiometric Terrain Correction):

ALOS PALSAR en su versión corregida con una resolucion de 12.5 m, la cual no presenta vacios como tal; fue descargada como:

- ✓ AP_27278_FBS_F6910_RT1.dem.tif

3.5.13.2. Procesamiento de datos MDE

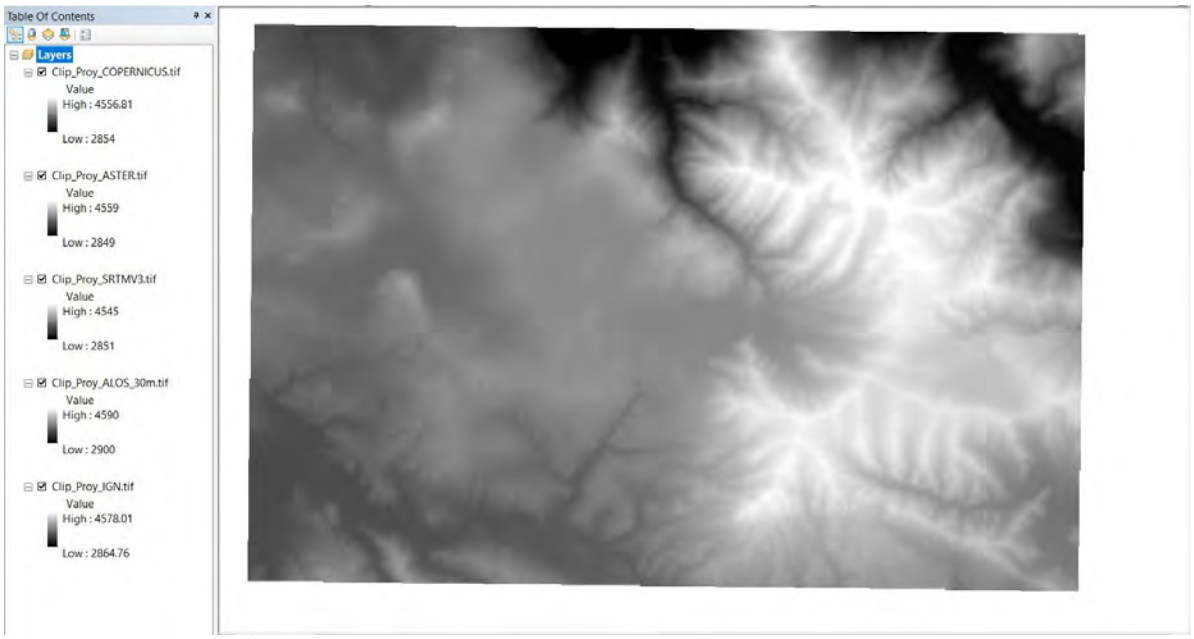
Se llevó a cabo un recorte espacial para limitar solamente al área de interés, puesto que los modelos digitales de elevación (MDE) descargados cubren una superficie más amplia que la zona de estudio. Este proceso posibilita que el análisis se optimice y que se garantice que los resultados conseguidos sean únicamente del área geográfica pertinente.

a. Descompresión de archivos en formato .zip o .rar según el origen del DEM.
b. Inspección y validación del sistema de referencia geográfica, asegurando que las capas estén en WGS 84.
c. Mosaico (Mosaic to New Raster): Se juntaron los archivos raster individuales para crear una única superficie continua de elevación que abarque la microcuenca en su totalidad.
d. Proyección (Project Raster): el mosaico se reproyectó al sistema WGS 84 / UTM Zona 18S, que es apropiado para realizar análisis de la región sur del Perú. En el caso de ALOS PALSAR, este contaba ya con la proyección WGS 84 UTM Zona 18S.
e. Se guardó el último formato de cada DEM procesado.

Este procesamiento asegura la uniformidad espacial de los datos y la exactitud cartográfica que se necesita para llevar a cabo un analisis comparativo.

Figura 46

Mosaicos generados a partir de modelos digitales de elevación (MDE)



Nota. Elaboración propia de ArcGis, utilizando MDE descargados de fuentes como USGS, EARTHDATA, ASF, OpenTopography y el IGN Perú

3.5.13.3. Comparación y validación de MDE

Con el propósito de seleccionar el modelo digital de elevación más adecuado para la delimitación de la microcuenca y el modelamiento hidrológico en SWAT, se realizó una comparación entre los MDE descargados (SRTM v3, ASTER GDEM, ALOS PALSAR, IGN Perú y Copernicus GLO-30). La evaluación se efectuó mediante la comparación de la elevación del espejo de agua representada por cada modelo respecto al nivel obtenido en el estudio batimétrico de la laguna Piuray realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el año 2020.

Validación con el nivel batimétrico

La comparación entre las altitudes estimadas por cada MDE y el nivel de espejo de agua de referencia (3694.14 m.s.n.m.) del estudio batimétrico realizado por la autoridad nacional del agua (ANA) en el año 2020, reveló lo siguiente:

Tabla 20

Comparación del nivel de espejo de agua de los MDE con el resultado del estudio batimétrico

MDE	Altura estimada del espejo (m.s.n.m.)	Diferencias respecto a 3694.14 (m)	Comentario
ALOS PALSAR	3734	+39.86	Sobreestima fuertemente
ASTER	3692	-2.14	Subestima levemente
SRTM V3	3689	-5.14	Subestima moderadamente
ING Perú	3700	+5.86	Sobreestima moderadamente
COPERNICUS	3693	-1.14	Subestima ligeramente (más cercano)

Nota. Elaboración propia en base al nivel de espejo de agua de cada MDE en ArcGis y el estudio batimétrico

De los resultados obtenidos se interpreta:

- ✓ ALOS presenta una gran sobreestimación (+40 m), probablemente por errores sistemáticos relacionados con vegetación o retrodispersión en radar (L-band).
- ✓ ASTER y SRTM subestiman el nivel real, lo que es característico de estos modelos cuando tienen resolución limitada o presentan huecos o errores de interpolación en zonas montañosas.
- ✓ IGN es un modelo más local, pero también sobreestima en casi +6 m.
- ✓ COPERNICUS (EU-DEM v1.1 a 30 m) presenta la menor diferencia con el nivel batimétrico real: solo -1.14 m. Esto sugiere que tiene una muy buena aproximación a la realidad, al menos en el caso del espejo de agua de Piuray.

Selección final del modelo digital de elevación (MDE)

Considerando los resultados de la validación realizada con el nivel del espejo de agua obtenido mediante el estudio batimétrico de la laguna Piuray, se seleccionó el modelo Copernicus GLO-30 para el desarrollo del modelamiento hidrológico de la microcuenca. Este modelo presentó la menor diferencia respecto al valor de referencia, por lo que se consideró el más adecuado para representar las condiciones topográficas de la zona de estudio.

Posteriormente, el modelo fue reprocesado y reescalado a una resolución espacial de 12.5 m con la finalidad de mejorar la representación del terreno y optimizar los análisis hidrológicos desarrollados en ArcSWAT.

3.5.14. Procesamiento de datos pisco en R

Para alimentar el modelo hidrológico ArcSWAT con series climáticas diarias consistentes, fue necesario preparar previamente los datos del producto grillado PISCO, desarrollado por el SENAMHI para el periodo 1981-2016. Este producto presenta una resolución espacial de 0.1° (~10 km) y combina información geoestadística e imágenes satelitales de CHIRP, TRMM, PERSIANN y GPM, integrando estaciones convencionales del territorio nacional.

El procesamiento se realizó siguiendo cuatro etapas principales:

a) Descarga y recorte de datos PISCO

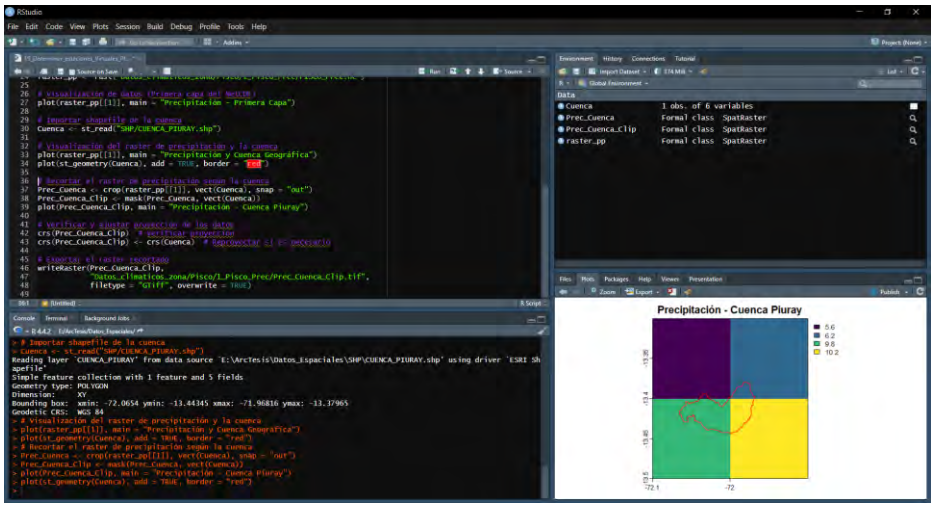
Se descargaron los datasets PISCO-Precipitación y PISCO-Temperatura del SENAMHI para el periodo 1981-2016.

Mediante un script programado en R, se recortaron los archivos NetCDF a la extensión espacial de la cuenca Piuray, generándose 4 pixeles cada uno características individuales; esto debido a que la resolución de la data pisco es de 10km/pixel. Estos archivos raster generados en formato .tif fueron necesarios para ser empleados en SIG.

A continuación, se muestra los procesos realizados para recorte de datos pisco enfocada en la zona de estudio:

Figura 47

Recorte de datos Pisco en el área de área de estudio



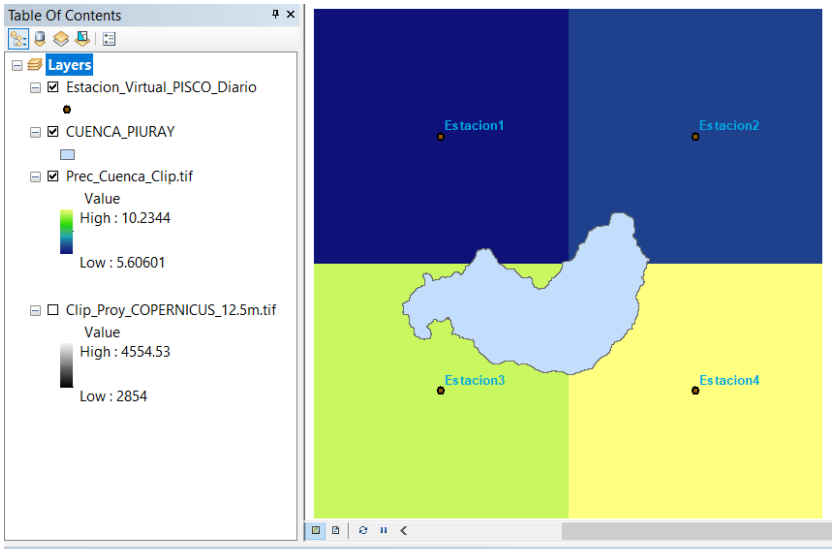
Nota. Elaboración propia en el software R.

b) Generación de estaciones virtuales

Los procedimientos de recorte de raster y exportación a ArcGIS, empleando la herramienta Raster to Point, donde se generaron cuatro estaciones virtuales, distribuidas en los centroides de cada pixel se presentan en la imagen N°48.

Figura 48

Recorte de datos Pisco en el área de área de estudio



Table

Estacion_Virtual_PISCO_Diario

FID	Shape	ID	NAME	LAT	LONG	ELEVATION
0	Point	1	Estacion1	-13.35	-72.050002	3294.063965
1	Point	2	Estacion2	-13.35	-71.950002	3063.131348
2	Point	3	Estacion3	-13.45	-72.050002	3681.851318
3	Point	4	Estacion4	-13.45	-71.950002	3975.198486

Nota. Elaboración propia

Estas estaciones representan nodos de extracción climática que permiten aproximar espacialmente la variabilidad interna de la cuenca Piuray.

Las coordenadas y elevaciones se obtuvieron automáticamente y posteriormente se integraron nuevamente en R para el cruce con los valores diarios de PISCO

c) Extracción de series temporales de precipitación y temperatura

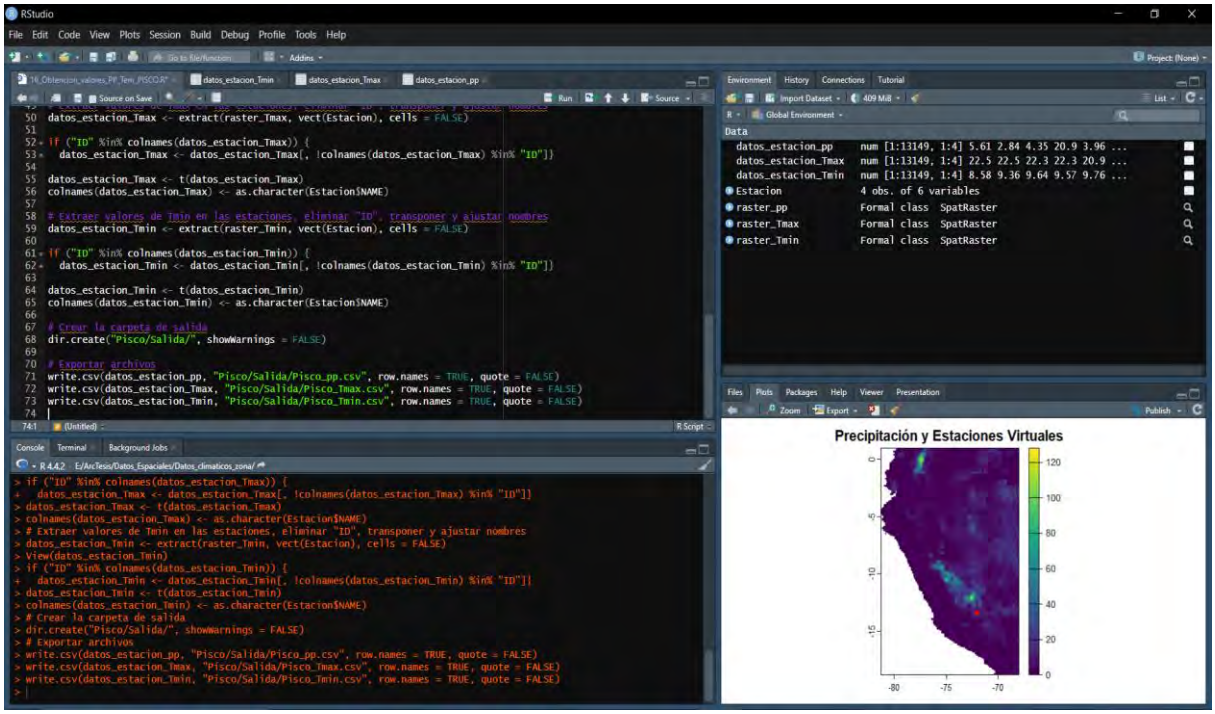
Utilizando un script programado en R, se cruzaron las estaciones virtuales con los valores diarios de los productos PISCO.

En la figura 49 se presentan los procedimientos realizados donde se generaron series completas para:

- Precipitación diaria (mm/día),
- Temperatura máxima diaria (°C),
- Temperatura mínima diaria (°C).

Figura 49

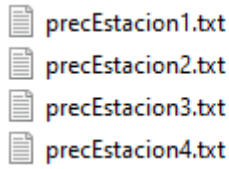
Extracción de datos pisco para las estaciones virtuales



Nota. Elaboración propia en el software R

Figura 50

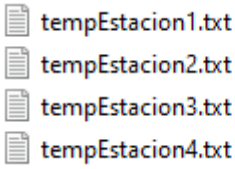
Datos de precipitación-PISCO exportados



Nota. Elaboración propia

Figura 51

Datos de temperatura PISCO exportados



Nota. Elaboración propia

3.5.15. Inventario y caracterización de manantiales de la cuenca Piuray

Como parte de la caracterización hidrogeológica de la cuenca Piuray, se recopiló y revisó el inventario de manantiales elaborado por Huamán Poma de Ayala (2013), el cual registra la ubicación, altitud, caudal y uso de las principales surgencias presentes en la microcuenca. Esta información fue incorporada como referencia para identificar las zonas de descarga natural del acuífero y complementar la interpretación de los procesos de flujo subterráneo representados por el modelo hidrológico.

Tabla 21

Parte 01- Inventario de manantiales existentes en uso

N°	Tipo	X	Y	Z	Nombre	Lugar	Caudal (l/s)	Uso
1	Manantial	176870	8515177	4064	Huasamayo	Huasamayo	5.84	Riego
2	Manantial	176459	8515306	4041	Unujurcuna	Unujurcuna Avilayoc	4.63	Riego
3	Manantial captado	177151	8517674	4237	Pataestanza 1	Pataestanza-Taucca	0.19	Consumo humano
4	Manantial captado	177146	8517611	4238	Pataestanza 2	Pataestanza	0.8	Consumo humano
5	Manantial captado	176495	8516528	4080	Cusicharan	Taucca	3	Consumo humano
6	Manantial captado	176193	8515225	3964	Toccoccacca 1	Ccorccor	3.5	Consumo humano
7	Manantial captado	175992	8515289	3950	Toccoccacca 2	Ccorccor	5.5	Consumo humano

Nota. Adaptado de Huaman Poma de Ayala (2013).

Tabla 22

Parte 02- Inventario de manantiales existentes en uso

N°	Tipo	X	Y	Z	Nombre	Lugar	Caudal (l/s)	Uso
8	Manantial captado	176428	8515556	4038	Jakacllo	Taucca	0.55	Consumo humano
9	Manantial captado	175884	8514466	3871	Quehuarpuquio	Ichucancha	0.92	Consumo humano
10	Manantial captado	176079	8514414	3896	Mancayoc Huayro	Ichucancha	4.94	Consumo humano
11	Manantial captado	821652	8517033	3961	Juquipuquio	Pucamarca	0.48	Consumo humano
12	Manantial captado	821155	8516875	3873	Jatuncharan 1	Pucamarca	0.55	Consumo humano
13	Manantial captado	821143	8516875	3871	Jatuncharan 2	Pucamarca	0.33	Consumo humano
14	Manantial captado	820897	8516639	3826	Jarahuaraca	Pucamarca	1.05	Consumo humano
15	Manantial captado	820827	8515867	3754	Huecospuquio	Pucamarca	0.5	Agropecuario
16	Manantial captado	820278	8515720	3737	Chilcapuquio	Pucamarca	5	Riego
17	Manantial captado	824118	8515113	3774	Quencohuasi 1	Taucca-Ocutuán	0.45	Consumo humano
18	Manantial captado	824235	8515083	3777	Quencohuasi 2	Taucca-Ocutuán	0.66	Consumo humano
19	Manantial captado	824203	8515082	3772	Quencohuasi 3	Taucca-Ocutuán	0.12	Consumo humano
20	Manantial captado	824178	8515036	3759	Quencohuasi 4	Taucca-Ocutuán	0.29	Consumo humano
21	Manantial captado	823491	8515069	3732	Chillapuquio	Ocutuán	1.72	Consumo humano
22	Manantial captado	822836	8514593	3714	Maychu	Ocutuán	78.5	Sin uso actual
23	Manantial captado	821651	8512785	3804	Hatunñahui	Hatunñahui	4.5	Consumo humano
24	Manantial captado	821655	8513437	3740	Cuyochacra	Cuyochacra	2.5	Riego
25	Manantial captado	821984	8513960	3719	Cuchupupuio	Cuchupupuio	5.84	Ninguno
26	Manantial captado	821373	8510262	3679	Quicllo-sacrachuayoc	Quicllo-sacrachuayoc	1.4	Consumo humano
27	Manantial captado	820042	8510731	3583	Corianipatuyoc	Corianipatuyoc	2	Riego
28	Manantial captado	820436	8516853	3784	Jacaclluhuaycco	Jacaclluhuaycco	1.5	Riego
29	Manantial captado	820099	8516568	3799	Ccototupuio	Ccototupuio	1.58	Consumo humano
30	Manantial captado	820906	8511352	3571	Pillcopuquio 1	Pillcopuquio	0.51	Consumo humano
31	Manantial captado	820884	8511339	3750	Pillcopuquio 2	Pillcopuquio	0.72	Riego
32	Manantial captado	821623	8512636	3829	Unucñahui	Unucñahui / San Cristóbal	6	Riego
33	Manantial captado	822646	8510940	3959	Huaynakorkor	Huaynaccor-kor	30	Consumo humano
34	Manantial	819571	8515519	3679	Tancarpujio	Ayllopongo	3.5	Riego
35	Manantial	819580	8516061	3765	Chitapujio	Huitapujio	0.54	Consumo humano

Nota. Adaptado de Huaman Poma de Ayala (2013).

Aunque estos manantiales no fueron utilizados como datos de entrada ni para la calibración del modelo ArcSWAT, su distribución espacial constituye evidencia de la presencia de procesos de recarga y descarga del agua subterránea dentro de la microcuenca, contribuyendo a la interpretación del comportamiento hidrológico simulado.

3.5.16. Serie histórica de caudales de referencia

En la cuenca de aporte a la laguna Piuray no existe una estación hidrométrica que registre de manera continua y sistemática los caudales generados en la cuenca; en consecuencia, no se dispone de series históricas de caudal observadas que permitan realizar la calibración directa del modelo hidrológico SWAT.

Debido a la ausencia de estaciones hidrométricas con registros continuos en la cuenca Piuray, fue necesario emplear una serie histórica de caudales de referencia para la calibración del modelo hidrológico, la cual obtenida en el "Estudio Hidrológico de la Laguna Piuray", desarrollado por EPS SEDACUSCO S.A. en enero de 2024. Dicho estudio comprende una evaluación integral de la cuenca, incluyendo el análisis de variables climatológicas e hidrológicas, la recopilación y procesamiento de información hidrometeorológica histórica, la completación de registros faltantes, la caracterización geomorfológica y la modelación hidrológica mediante el software WEAP (Water Evaluation and Planning System), herramienta ampliamente utilizada para la simulación de recursos hídricos.

La serie de caudales obtenida del estudio de EPS SEDACUSCO fue considerada como referencia para el proceso de calibración y validación del modelo SWAT, al representar las condiciones hidrológicas de la cuenca bajo una metodología previamente evaluada. Su utilización permitió comparar los caudales simulados con una serie hidrológica consistente, optimizando el ajuste de los parámetros del modelo y mejorando la confiabilidad de las simulaciones desarrolladas en la presente investigación.

Tabla 23

Caudales de referencia

CAUDAL DE REFERENCIA DE LA CUENCA (m3/s)												
AÑO	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
1990	0.58	0.61	0.36	0.28	0.13	0.23	0.09	0.08	0.11	0.35	0.53	0.61
1991	0.52	1.22	0.73	0.28	0.15	0.13	0.08	0.06	0.08	0.17	0.47	0.53
1992	0.72	0.67	0.43	0.21	0.09	0.16	0.07	0.13	0.06	0.13	0.42	0.34
1993	1.16	0.94	0.44	0.3	0.13	0.09	0.07	0.13	0.1	0.24	0.47	1.26
1994	1.49	1.42	1.36	0.63	0.27	0.15	0.1	0.08	0.1	0.2	0.23	0.97
1995	0.69	0.68	0.84	0.23	0.12	0.08	0.06	0.05	0.06	0.09	0.27	0.69
1996	0.99	0.75	0.37	0.22	0.12	0.07	0.05	0.06	0.07	0.14	0.25	0.58
1997	0.7	1.07	1.05	0.28	0.12	0.09	0.06	0.09	0.08	0.1	0.63	0.94
1998	0.88	1.45	0.5	0.23	0.16	0.1	0.07	0.06	0.05	0.2	0.24	0.29
1999	0.87	1.18	0.75	0.32	0.12	0.11	0.07	0.05	0.18	0.1	0.16	0.64
2000	1.24	0.89	0.87	0.26	0.12	0.13	0.1	0.07	0.06	0.26	0.28	0.63
2001	1.56	1.42	0.78	0.64	0.19	0.13	0.1	0.1	0.08	0.23	0.47	0.35
2002	0.75	0.37	0.66	0.59	0.17	0.1	0.12	0.08	0.09	0.22	0.27	0.34
2003	0.75	0.69	0.84	0.2	0.12	0.09	0.07	0.1	0.06	0.11	0.41	0.36
2004	1.03	0.68	0.76	0.4	0.14	0.12	0.1	0.09	0.19	0.32	0.29	0.63
2005	0.56	0.68	0.59	0.19	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06	0.13	1.21	0.87
2006	1.15	1.24	0.6	0.33	0.21	0.14	0.12	0.08	0.1	0.13	0.42	0.51
2007	0.7	0.93	0.61	0.29	0.13	0.09	0.06	0.08	0.06	0.09	0.61	1.05
2008	0.61	0.51	0.3	0.17	0.1	0.1	0.06	0.06	0.18	0.19	0.23	0.56
2009	1.25	1.6	0.75	0.36	0.16	0.11	0.1	0.07	0.07	0.18	0.43	0.62
2010	1.41	0.86	0.71	0.31	0.15	0.13	0.11	0.08	0.07	0.2	0.46	0.76
2011	1.64	1.15	1.29	0.36	0.17	0.14	0.09	0.09	0.09	0.17	0.3	0.36
2012	0.56	0.89	0.57	0.31	0.14	0.09	0.07	0.07	0.05	0.15	0.26	0.28
2013	1.14	1.24	0.9	0.24	0.13	0.1	0.1	0.06	0.07	0.12	0.39	0.79
2014	0.57	0.8	0.67	0.27	0.12	0.09	0.14	0.16	0.14	0.12	0.23	0.32
2015	0.85	1.07	0.54	0.53	0.2	0.25	0.15	0.1	0.1	0.16	0.29	0.54
2016	0.43	0.83	0.79	0.3	0.13	0.09	0.08	0.06	0.06	0.09	0.17	0.3
2017	0.7	0.96	0.48	0.22	0.14	0.1	0.07	0.06	0.08	0.1	0.23	0.8
2018	0.92	1.18	0.68	0.25	0.12	0.09	0.07	0.1	0.07	0.14	0.19	0.53
2019	0.52	1.12	0.69	0.21	0.11	0.1	0.07	0.1	0.1	0.18	0.7	0.86
2020	0.97	0.65	1.01	0.45	0.16	0.2	0.11	0.08	0.09	0.26	0.25	0.52
2021	0.93	0.87	0.98	0.3	0.14	0.1	0.16	0.12	0.24	0.19	0.53	0.87
2022	0.91	1	1.02	0.32	0.15	0.15	0.1	0.07	0.08	0.35	0.4	0.33

Nota. Adaptado del Estudio Hidrológico de la Laguna Piuray, elaborado por EPS SEDACUSCO S.A. (2024).

La serie de caudales generada en dicho estudio fue adoptada como información de referencia para el proceso de calibración del modelo SWAT, debido a que corresponde al estudio hidrológico más reciente y específico desarrollado para la cuenca de la laguna Piuray.

Esta aproximación permitió evaluar la capacidad del modelo para reproducir el comportamiento hidrológico previamente estimado mediante una metodología independiente, garantizando coherencia física entre ambas representaciones del sistema hidrológico.

3.5.17. Simulación hidrológica en ArcSWAT

La simulación hidrológica de la cuenca Piuray se desarrolló mediante el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) implementado en el entorno ArcSWAT 2012, el cual permite representar de manera distribuida los principales procesos del ciclo hidrológico a partir de la integración de información climática, topográfica, edafológica y de cobertura vegetal.

En la presente investigación, el modelo fue utilizado para estimar los caudales generados en la cuenca mediante la resolución del balance hídrico interno de cada Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU). Durante cada paso de tiempo, SWAT simula procesos como la interceptación de la precipitación, la escorrentía superficial, la infiltración, la percolación, el flujo lateral, el flujo base y la evapotranspiración, integrando posteriormente todos estos componentes para obtener el caudal total en el punto de salida de la cuenca.

Debido a que la cuenca Piuray no dispone de registros hidrométricos continuos, los caudales simulados fueron contrastados con la serie histórica de referencia obtenida del Estudio Hidrológico de la Laguna Piuray desarrollado por EPS SEDACUSCO S.A. (2024). Esta información permitió realizar la calibración y validación del modelo.

3.5.17.1. Datos de entrada para el modelo hidrológico SWAT

El modelo SWAT requiere un conjunto integrado de datos climáticos y espaciales capaces de representar con fidelidad los procesos hidrológicos de la cuenca. Para su implementación en la cuenca Piuray se emplearon capas temáticas que describen la fisiografía del territorio (topografía, pendientes, uso del suelo y tipos de suelo), junto con series temporales diarias de variables meteorológicas.

Información topográfica: derivada del modelo digital de elevación (MDE), utilizada para delimitar la cuenca y generar la red de drenaje.

Cobertura vegetal o uso de suelo: obtenidos de productos satelitales como GlobeLand30, que permiten caracterizar la superficie terrestre y su interacción con los procesos hidrológicos.

Tipo de suelo: información sobre tipos de suelo y características físicas que influyen en la infiltración y escorrentía.

Datos hidrometeorológicos: series históricas diarias de precipitación, temperatura máxima y mínima (SENAMHI_PISCO), así como datos climáticos proyectados de modelos globales (CMIP6) bajo escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La información que se recopiló en la construcción del modelo SWAT se encuentra detallada, a continuación:

Tabla 24

Información de entrada del modelo SWAT para la cuenca Piuray

Categoría	Variable	Detalle	Fuente sugerida	Tipo / Formato
Información topográfica	Elevación	Modelo digital de elevación con resolución 12.5 m para delimitar cuencas	COPERNICUS	Raster (GeoTIFF)
	Pendiente	Capa derivada del MDE, empleada en cálculo de escorrentía y erosión	Procesamiento propio	Raster
Características edáficas	Textura del suelo	Porcentaje de arena, limo y arcilla por horizonte	FAO - DSMW	Vector .shp Texto(csv)
Cobertura y uso del territorio	Uso del suelo	Clasificación a nivel regional (urbano, agrícola, bosque, pastizal)	GlobelLand30	Raster (TIFF)
	Índice de vegetación	Serie NDVI para análisis de dinámica estacional	Landsat 9(B4 y B5)	Raster GeoTIFF
Variables meteorológicas	Precipitación	Registros diarios interpolados y data grillada 1981-2024	SENAMHI-PISCO	Texto (csv) NetCDF
	Temperatura	Series de Tmax y Tmin diarias	PISCO	NetCDF
	Evapotranspiración potencial	Serie ETP (mm/mes) derivada de data grillada.	PISCO	NetCDF

3.5.17.1.1. Datos climáticos

Para la simulación hidrológica en ArcSWAT se emplearon como forzantes climáticos las variables de precipitación diaria y temperaturas máxima y mínima. Estos datos se obtuvieron tanto de estaciones meteorológicas del SENAMHI como del producto grillado PISCO, así como datos de modelos climáticos globales corregidos por sesgo para los escenarios futuros abarcando periodos que permiten la calibración y validación del modelo en la cuenca de la laguna Piuray.

Tabla 25

Información climática de entrada del modelo SWAT

Variable climática	Periodo	Fuente principal	Formato / tipo de dato	Observación
Precipitación(mm)	1981-2024	SENAMHI-PISCO	Serie diaria, texto	Datos corregidos por sesgo
Temp. máxima y mínima(°C)	1981-2024	SENAMHI-PISCO	Serie diaria, texto	Incluye downscaling a escala local
Precipitación(mm)	2015-2100	CMIP6 (GCM)	Serie diaria, NetCDF	Escenarios SSP2-4.5, SSP5-8.5
Temp. máxima y mínima(°C)	2015-2100	CMIP6 (GCM)	Serie diaria, NetCDF	Escenarios SSP2-4.5, SSP5-8.5

3.5.17.1.2. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Para la representación topográfica de la cuenca Piuray se empleó un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual constituye la base geométrica fundamental para la ejecución del modelo hidrológico SWAT.

El MDE permitió derivar automáticamente elementos clave para la simulación, tales como:

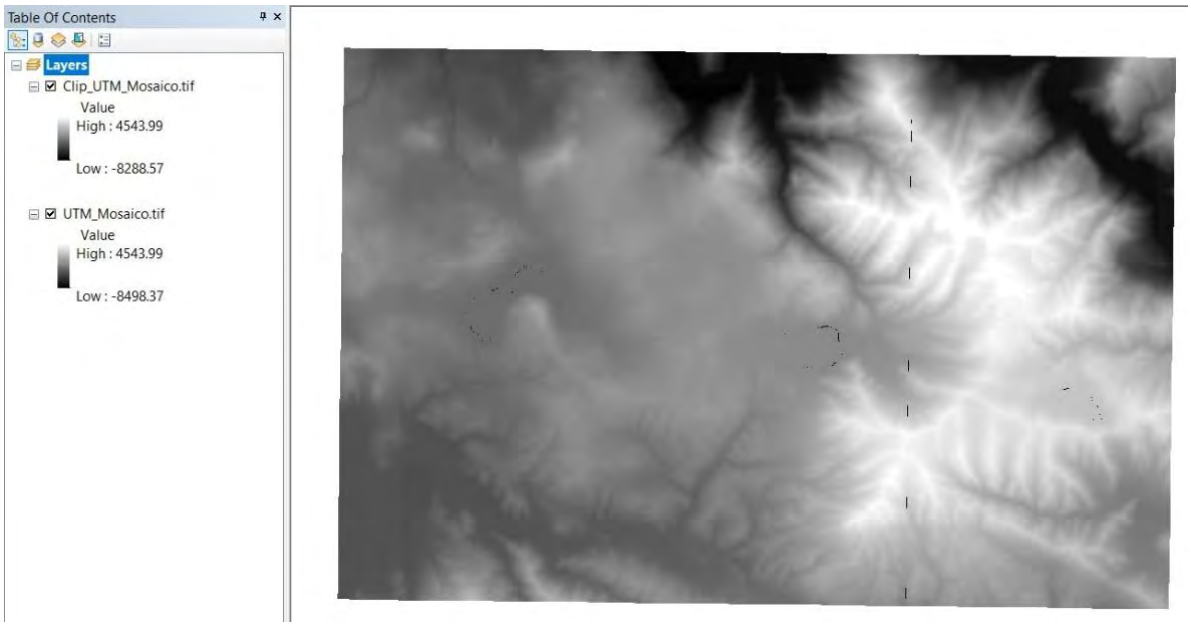
- Límites de la cuenca hidrográfica
- Red de drenaje y direcciones de flujo
- Pendientes y su distribución espacial

- Identificación de elevaciones relativas y gradientes del terreno

En este estudio se utilizó un MDE re-escalado con resolución espacial de 12.5 m, proveniente del sensor COPERNICUS, el cual ofrece mayor detalle topográfico respecto a otros productos globales. Su resolución fue suficiente para caracterizar adecuadamente las variaciones del relieve en la cuenca, que presenta pendientes medias y fuertes en sus zonas altas, y sectores más suaves en áreas de aporte directo a la laguna.

Figura 52

Modelo digital de elevación Copernicus



Nota. Elaboración propia utilizando ArcGis con MDE Copernicus

3.5.17.1.3. Uso de cobertura vegetal

Para la caracterización de la superficie terrestre dentro del modelo ArcSWAT se utilizó el producto GlobeLand30, correspondiente al año 2020, con resolución espacial de 30 m (la cual se re-escala automáticamente a la resolución del MDE).

Este insumo permitió identificar las clases de cobertura presentes en la cuenca Piuray, tales como:

- Pajonal andino y matorral ralo
- Agricultura andina

- Matorrales arbustivos
- Suelo desnudo o áreas degradadas (sin vegetación)
- Cuerpos de agua (laguna Piuray)

Tabla 26

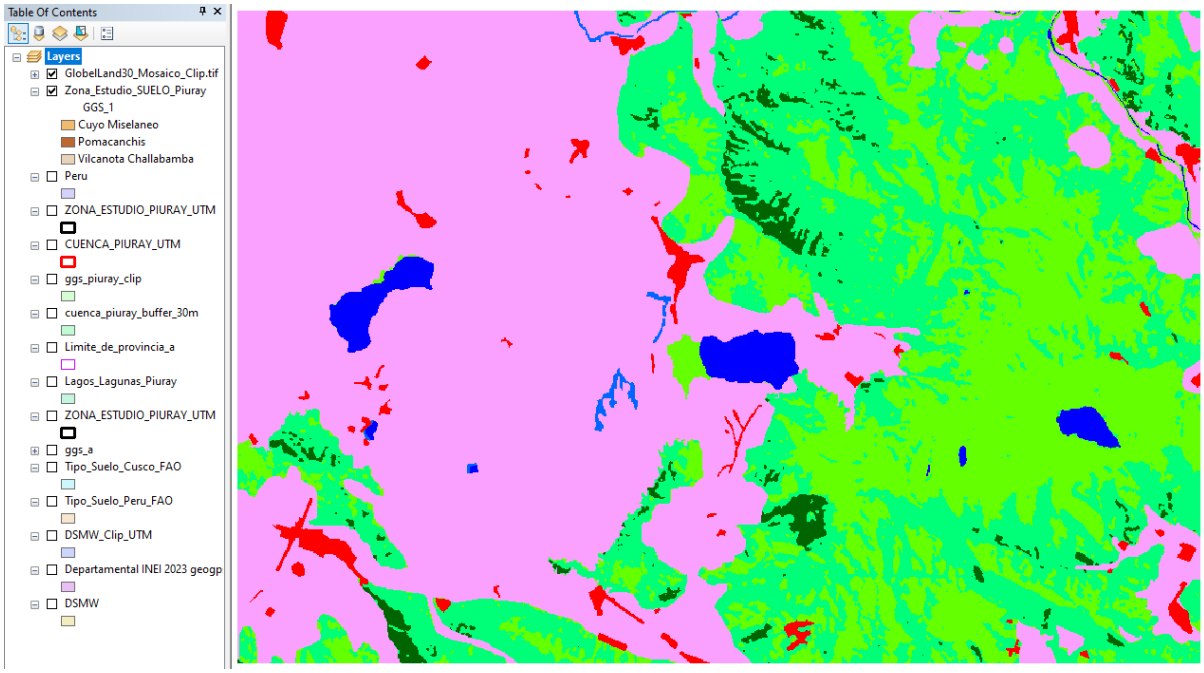
Tabla de equivalencias de cobertura vegetal

Valor	LandUseSwat	Descripción
10	AGRL	Agricultura andina
20	FRST	Matorral arbustivo
30	PAST	Pajonal andino
50	WATR	Lagos, lagunas y cochas
80	URML	Zona urbana

Nota. Elaboración propia en base a la tabla de equivalencias según GlobeLand30

Figura 53

Cobertura vegetal clasificada en la zona de estudio



Nota. Elaboración propia usando ArcGis en base al mapa de GlobeLand30

3.5.17.1.4. Tipo de suelo

Para identificar los tipos de suelo presentes en la cuenca, se utilizó la información de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) elaborada por el Ministerio del Ambiente (MINAM) para el departamento del Cusco. Este mapa fue desarrollado por el Instituto del Medio Ambiente (IMA Cusco) en el año 2005 a una escala de 1:1 500 000, y es uno de los documentos

oficiales disponibles para trabajos ambientales cuando no se cuenta con estudios de suelos más detallados en el área de estudio.

El modelo SWAT, utilizado en esta investigación, requiere que los tipos de suelo estén asociados a los códigos del Mapa Mundial de Suelos de la FAO. Por esta razón, se realizó una equivalencia entre la clasificación de la ZEE y los códigos FAO, manteniendo siempre la denominación local del MINAM, que es la que mejor representa las características reales del territorio. Los códigos FAO se usaron únicamente para que SWAT pueda reconocer cada tipo de suelo dentro de su base de datos.

En la cuenca se identificaron tres unidades: la laguna Piuray y dos tipos de suelo principales, que corresponden a las categorías Cuyo Misceláneo y Pomacanchi. La relación entre ambas clasificaciones se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27

Equivalencias entre las unidades de suelo ZEE y su correspondencia FAO

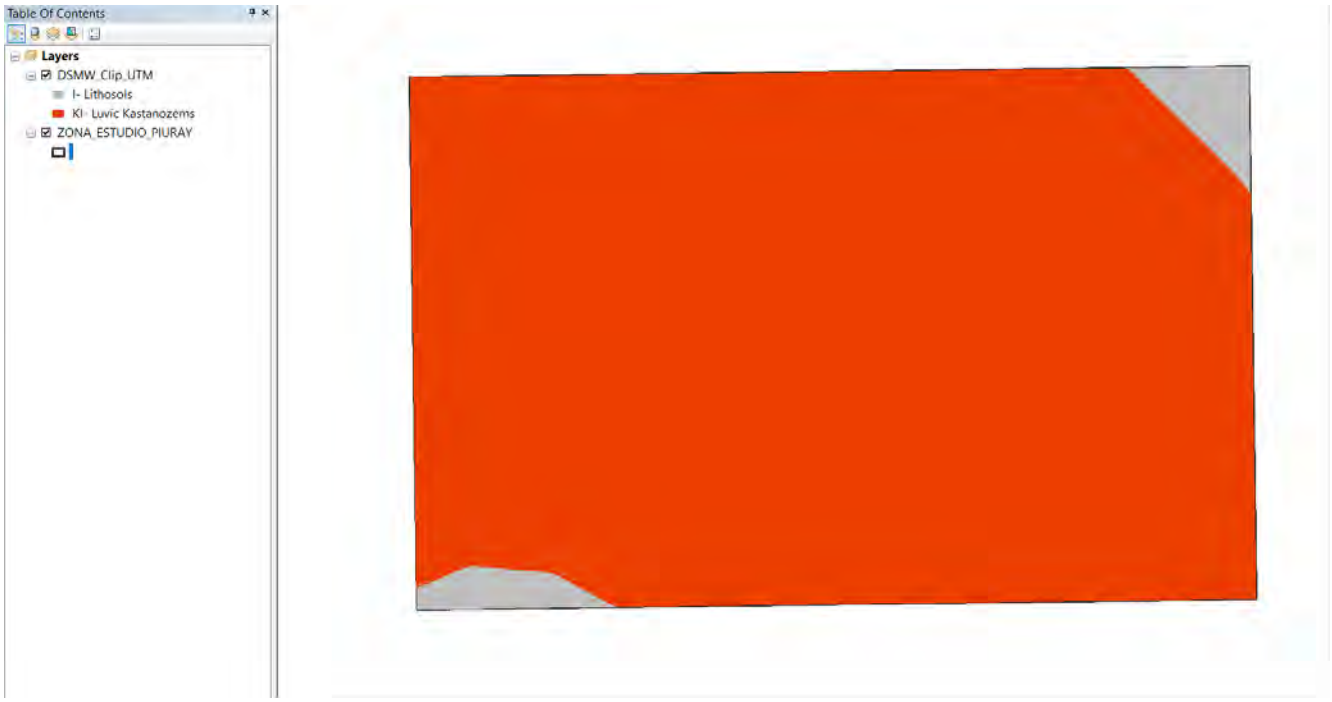
Clasificación:			
ZEE	**FAO**	**Código FAO**	**Descripción**
Laguna	-	WATER-6997	Cuerpo de agua permanente
Cuyo Miselaneo	REGOSOL	Re3-1a-5656	Regosol moderadamente profundo de relieve ondulado, apto para cultivos andinos.
Pomacanchi	REGOSOL PARAMOSOL	Re5-1a-5659	Regosol-Paramosol delgado y pedregoso, típico de laderas altoandinas.

Nota. Adaptado de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) del MINAM, 2005.

La Tabla se presenta la correspondencia entre las unidades de suelo identificadas en la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) y los códigos del Mapa Mundial de Suelos de la FAO empleados por el modelo SWAT. Esta equivalencia permitió incorporar la información edafológica de la cuenca Piuray a la base de datos del modelo, garantizando la correcta asignación de las propiedades físicas e hidrológicas de cada tipo de suelo durante la simulación.

Figura 54

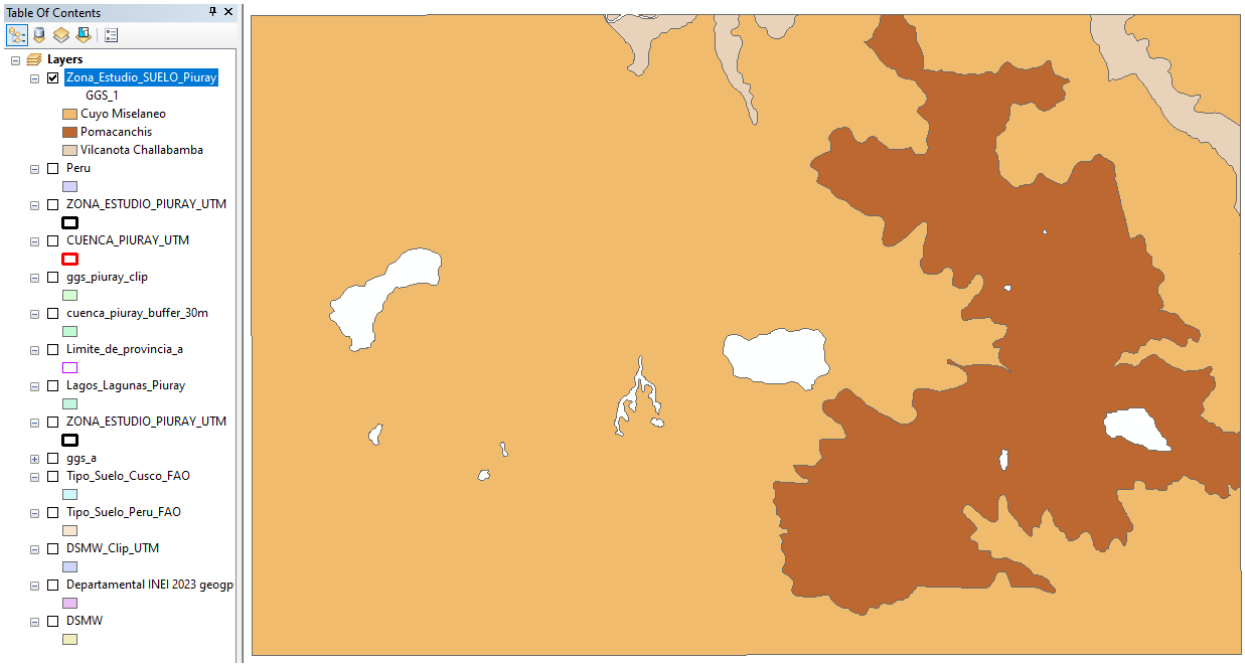
Tipo de suelos FAO para la cuenca Piuray



Nota. Elaboración propia en ArcGis con el mapa de suelos FAO/UNESCO

Figura 55

Tipo de suelos ZEE del Cusco para la cuenca Piuray



Nota. Elaboración propia en ArcGis con el mapa de suelos de del MINAM.

3.5.17.1.5. Clasificación de pendientes

A partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) Copernicus con resolución de 12.5 m, se generó la capa de pendientes para la cuenca en el entorno de ArcGIS. La pendiente constituye una variable clave en el modelo SWAT, ya que influye directamente en la velocidad de escorrentía, la infiltración y los procesos erosivos.

Para la presente investigación, la pendiente se clasificó en cinco rangos definidos en función de criterios hidrológicos y de uso del suelo, siguiendo intervalos porcentuales ampliamente utilizados en estudios de cuencas:

- 0-10 %: terrenos planos a ligeramente ondulados.
- 10-20 %: laderas moderadas.
- 20-30 %: laderas fuertes.
- 30-40 %: laderas muy fuertes.
- >40 %: laderas escarpadas.

3.5.17.1.6. Generación de HRUs

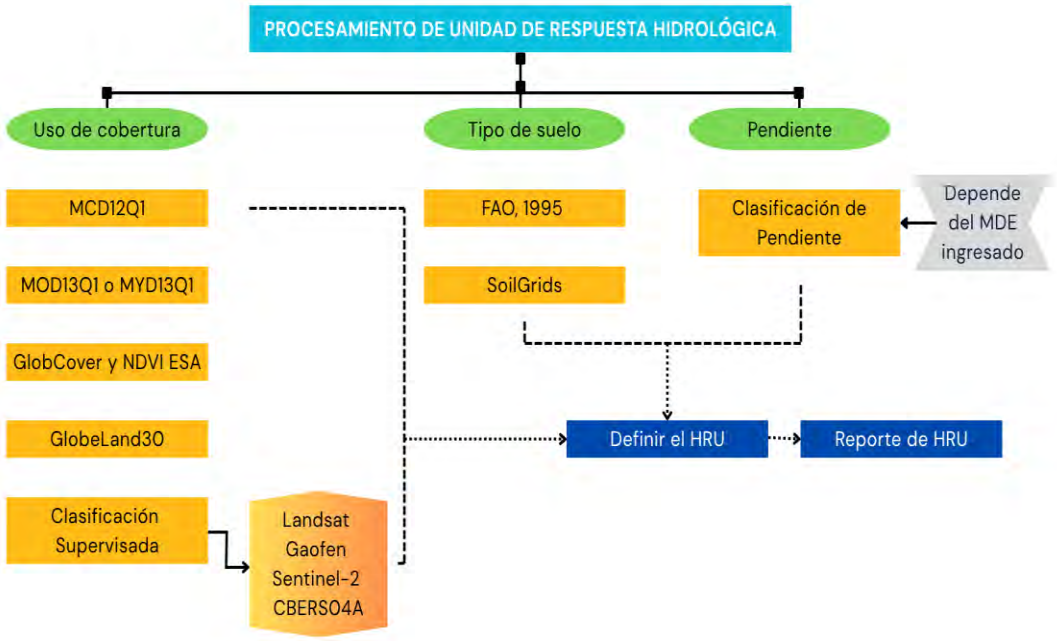
Una vez procesadas y clasificadas las tres capas temáticas (uso de cobertura, tipo de suelo y la pendiente), se realizó su intersección espacial en ArcSWAT para generar el archivo vectorial con las HRUs.

Este procedimiento produce una capa poligonal que combina todas las posibles combinaciones de categorías, representando áreas homogéneas para el modelado hidrológico.

Durante este proceso, ArcSWAT asignó a cada HRU las propiedades físicas e hidrológicas correspondientes al uso del suelo, tipo de suelo y clase de pendiente previamente definidas. Estas unidades constituyen la base del modelo hidrológico, ya que sobre ellas se simulan de manera independiente los procesos de precipitación, escorrentía superficial, infiltración, evapotranspiración, percolación y generación del flujo base, cuyos resultados son posteriormente integrados a nivel de subcuenca y de toda la cuenca.

Figura 56

Procedimiento para la definición de HRUs en ArcSWAT



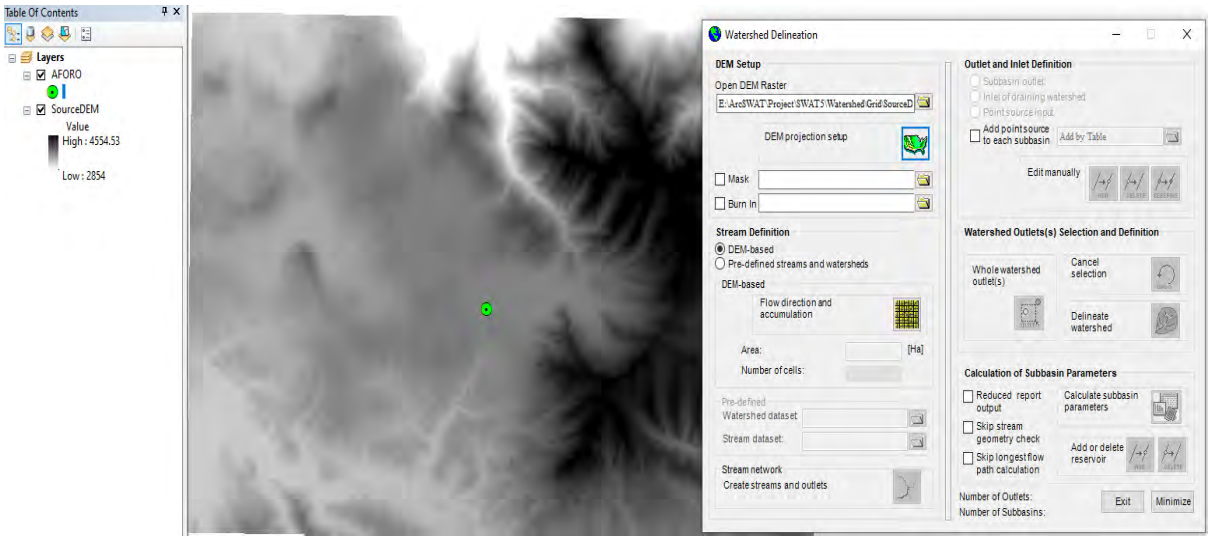
Nota. Elaboración propia

El proceso completo de generación de unidades de respuesta hidrológica (HRU) dentro del entorno de la herramienta ArcSwat, se reproduce a continuación:

- La delimitación de la cuenca fue realizada utilizando el Modelo Digital de Elevación (MDE) Copernicus con resolución 12.5 × 12.5 m/pixel, georreferenciado al sistema de proyección WGS_1984_UTM_Zone_18S. Para este proceso se consideró un umbral de 105 ha de acumulación de flujo, lo cual permitió definir las áreas con contribución hidrológica significativa. El punto de aforo o desembocadura fue ubicado aguas abajo, exactamente en la salida principal de la laguna Piuray, donde la cuenca entrega su volumen de escorrentía hacia sistemas de conducción externos.

Figura 57

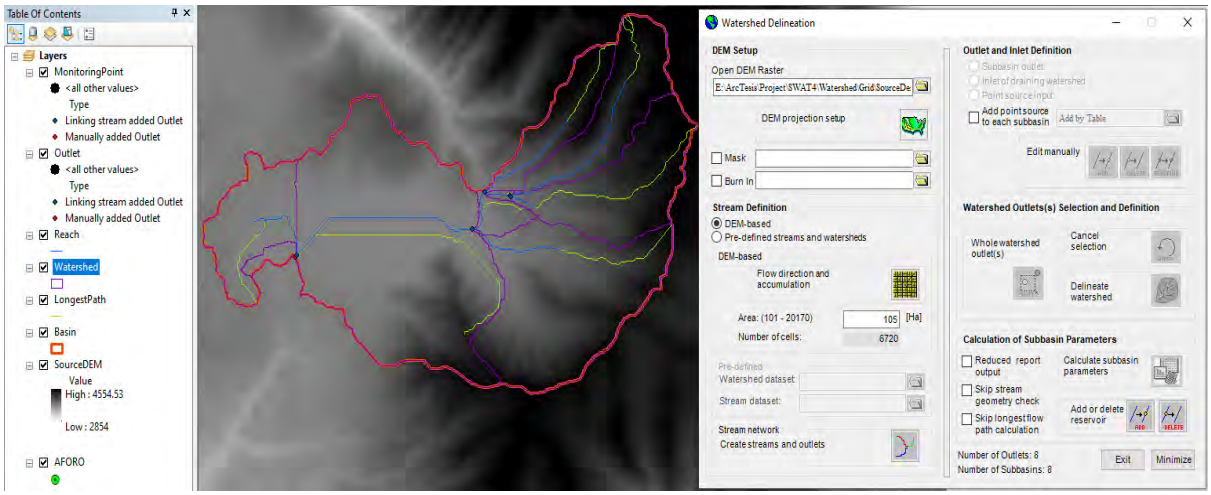
Asignación de MDE



- A partir del MDE procesado, ArcSWAT ejecutó la extracción de direcciones de flujo (flow direction), acumulación de flujo (flow accumulation) y, posteriormente, delimitó las subcuencas internas. Esta información es fundamental para determinar la conectividad hidrológica entre unidades espaciales.

Figura 58

Generación automática de la red de drenaje y subcuencas



- Superposición temática de capas. Una vez generadas las subcuencas, se incorporaron las tres capas temáticas esenciales:
  - Mapa de uso y cobertura terrestre (GlobeLand30)

- Mapa de suelos clasificados según equivalencias ZEE-FAO
- Mapa de pendientes re-clasificado en cinco rangos hidrológicos

Estas capas fueron armonizadas en resolución y proyección para garantizar una correcta intersección espacial.

Figura 59

Cobertura vegetal clasificada en la zona de estudio

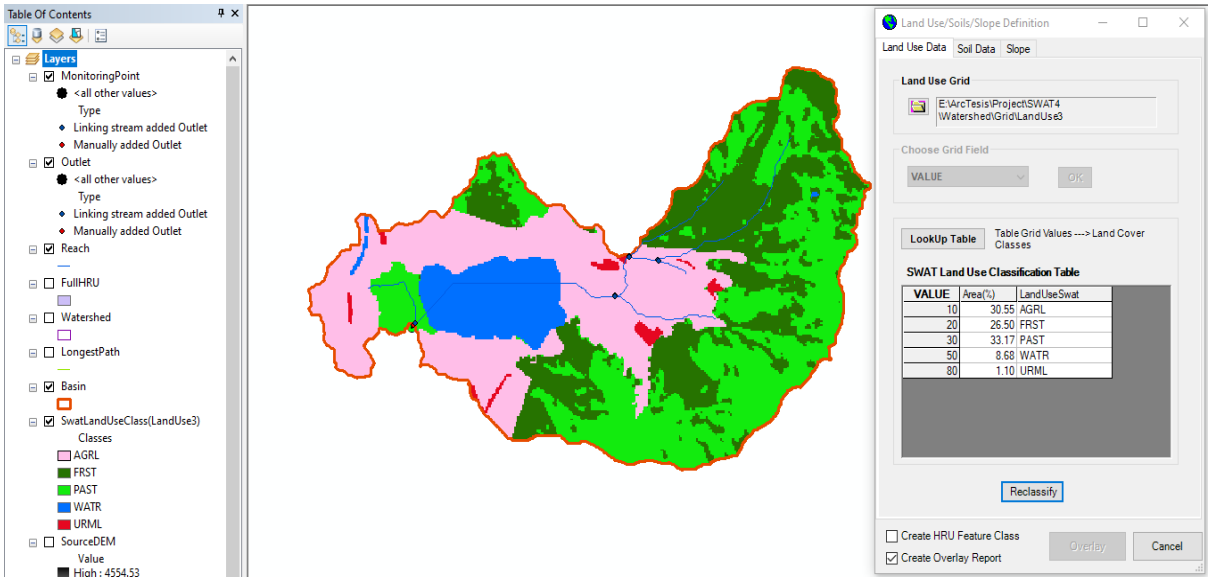


Figura 60

Tipo de suelo clasificada en la zona de estudio

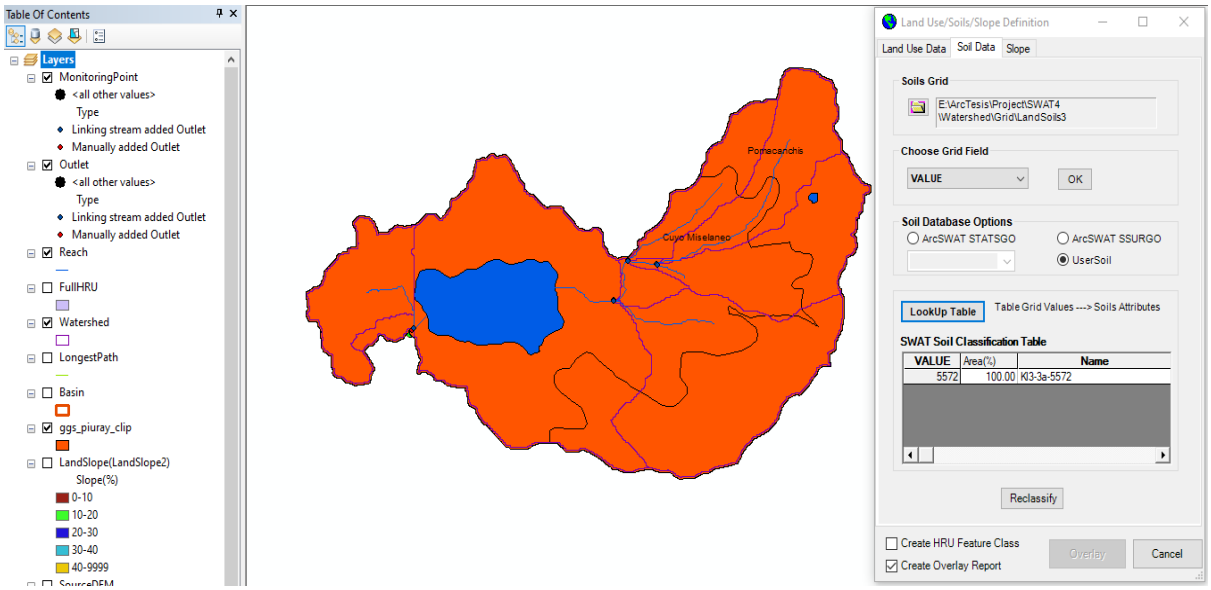
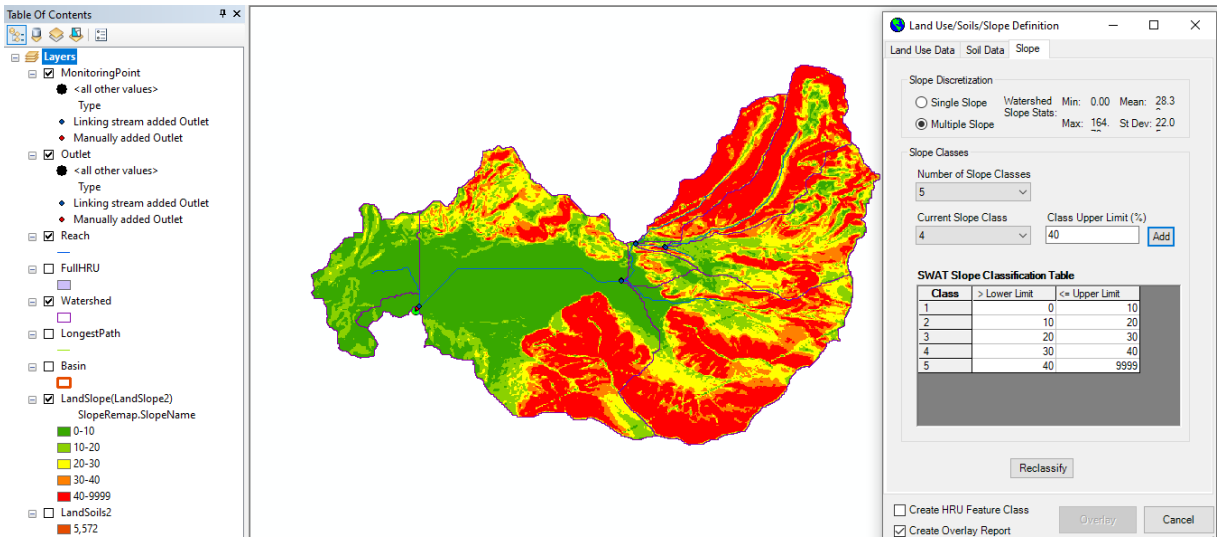


Figura 61

Clasificación de pendientes en la zona de estudio

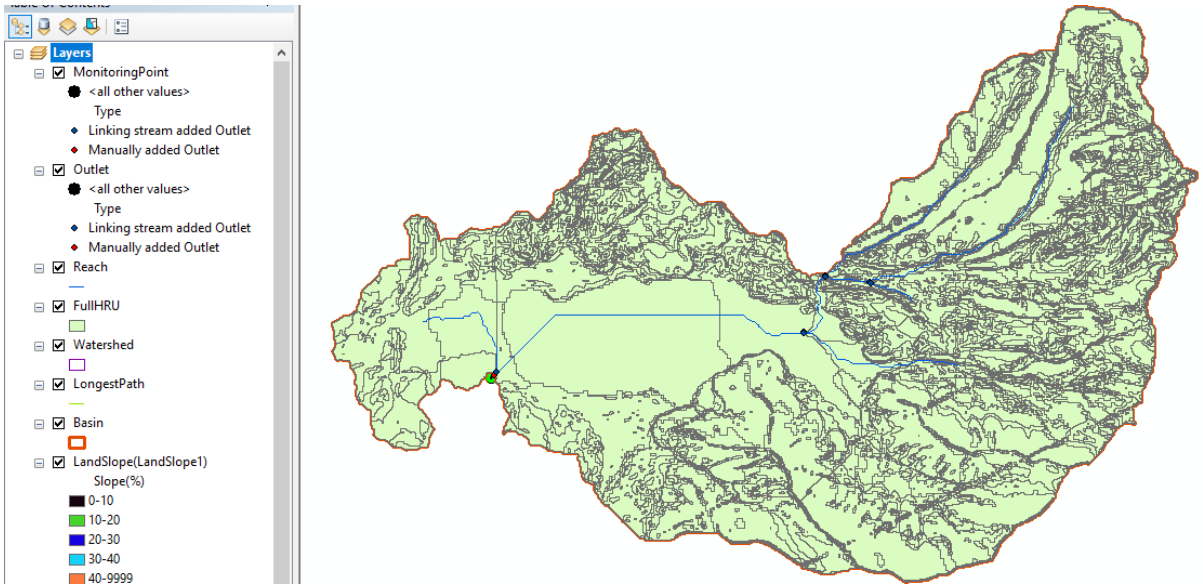


- ArcSWAT combinó todas las clases de las capas temáticas dentro de cada subcuenca, generando polígonos únicos para cada combinación de:
  - uso de suelo
  - tipo de suelo
  - clase de pendiente

El resultado fue una representación precisa de la heterogeneidad espacial de la cuenca Piuray, indispensable para el cálculo independiente de los procesos hidrológicos en cada HRU.

Figura 62

Intersección y construcción de HRUs

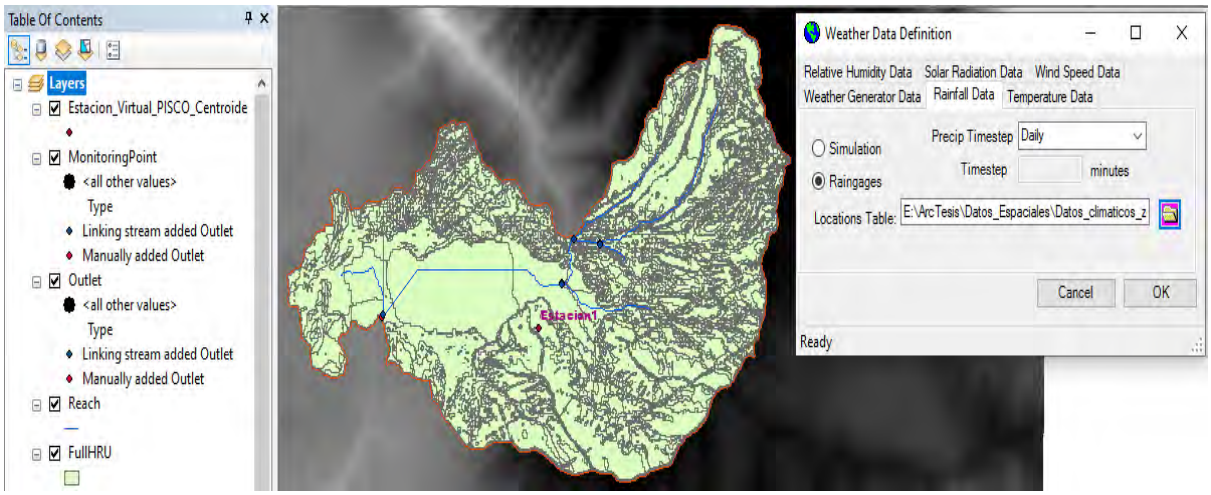


3.5.17.1.7. Integración de datos climáticos PISCO en ArcSWAT

Una vez culminada la generación de las HRUs, se procedió a incorporar la información climática diaria necesaria para ejecutar el modelo. Para este fin, se emplearon las series procesadas del producto PISCO (precipitación y temperatura máxima y mínima) del año 1981 al 2016; así como, data regionalizada de estaciones cercanas para completar el periodo 2017 al 2024; datas previamente acondicionadas.

Figura 63

Carga de datos climáticos PISCO

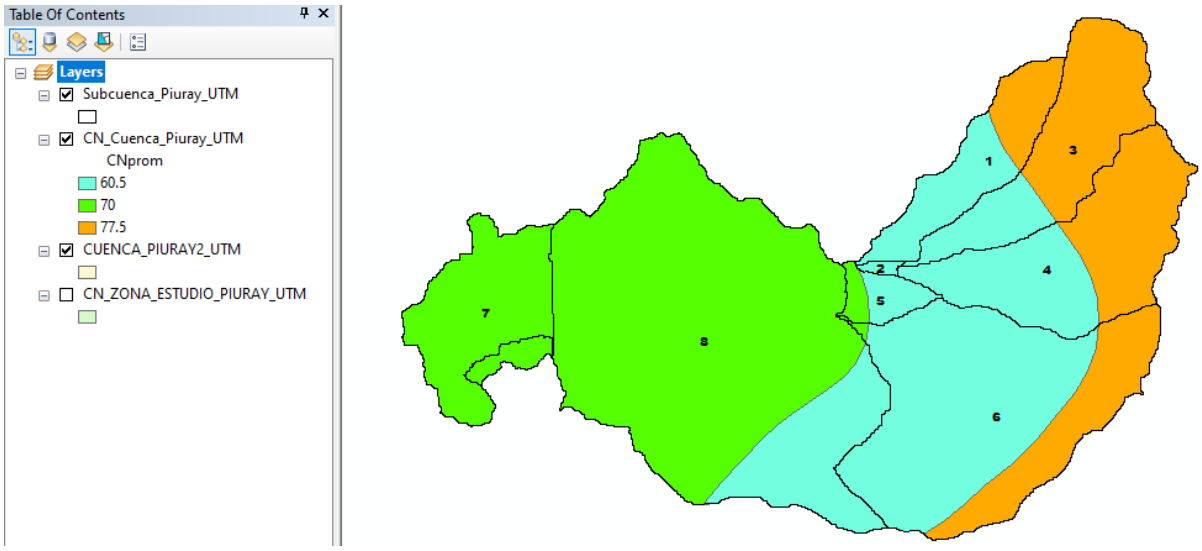


3.5.17.1.8. Asignación inicial de la Curva Número (CN)

En función al mapa de curva número elaborado por el SNIRH y ANA, se generaron valores promedio de curva número (CN) para la cuenca Piuray. Este procedimiento permitió clasificar las subcuencas según su CN representativo y verificar la coherencia espacial del parámetro dentro del área de estudio.

Figura 64

Distribución espacial de los valores iniciales de Curva Número (CN) en la cuenca Piuray.



Nota. Elaboración propia en base al Mapa Nacional de Curva Número publicado por el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

3.5.17.2. Parámetros hidrológicos base del modelo SWAT

Además de las variables espaciales y climáticas previamente integradas, el modelo SWAT requiere la definición de un conjunto de parámetros hidrológicos asociados a procesos de escorrentía superficial, infiltración, almacenamiento de agua en el suelo, flujo subterráneo, recarga de acuíferos y transporte en cauces.

Los valores iniciales asignados a estos parámetros permiten ejecutar una simulación preliminar del comportamiento hidrológico de la cuenca. Posteriormente, dichos parámetros son ajustados durante la fase de calibración mediante el software SWAT-CUP, con el objetivo de optimizar la representación de los procesos hidrológicos observados. Los principales parámetros considerados en la calibración se describen a continuación:

- R_CN2.mgt_AGRL: Ajuste del número de curva (Curve Number) para áreas agrícolas; controla la generación de escorrentía superficial.
- R_CN2.mgt_FRST: Ajuste del número de curva para áreas forestales; influye en la infiltración y escorrentía.

- R_CN2.mgt_PAST: Ajuste del número de curva para áreas de pastizal.
- R_CN2.mgt_URML: Ajuste del número de curva para áreas urbanas de baja densidad.
- V_ESCO.hru: Factor de compensación de evaporación del suelo; regula la extracción de agua desde capas profundas del suelo.
- V_EPCO.hru: Factor de compensación de absorción radicular; controla la distribución de la extracción de agua por las raíces.
- V_GW_DELAY.gw: Tiempo de retardo de la recarga del acuífero al flujo subterráneo (días).
- V_ALPHA_BF.gw: Constante de recesión del flujo base; controla la velocidad de respuesta del acuífero.
- V_GWQMN.gw: Umbral mínimo de almacenamiento de agua en el acuífero somero necesario para generar flujo base.
- V_GW_REVAP.gw: Coeficiente de movimiento ascendente de agua desde el acuífero hacia la zona no saturada (revap).
- V_REVAPMN.gw: Nivel mínimo de agua en el acuífero requerido para que ocurra revap.
- V_RCHRG_DP.gw: Fracción de recarga profunda que percola hacia el acuífero profundo.
- R_SOL_AWC(1).sol: Ajuste de la capacidad de agua disponible en la primera capa de suelo.
- R_SOL_AWC(2).sol: Ajuste de la capacidad de agua disponible en la segunda capa de suelo.
- R_SOL_K(1).sol: Ajuste de la conductividad hidráulica saturada de la primera capa de suelo.

- R_SOL_K(2).sol: Ajuste de la conductividad hidráulica saturada de la segunda capa de suelo.
- R_SOL_BD(1).sol: Ajuste de la densidad aparente de la primera capa de suelo.
- R_SOL_BD(2).sol: Ajuste de la densidad aparente de la segunda capa de suelo.
- V_CH_K2.rte: Conductividad hidráulica efectiva del lecho del cauce; controla las pérdidas por infiltración desde el canal.
- V_CH_N2.rte: Coeficiente de rugosidad de Manning para el cauce principal.
- V_OV_N.hru: Coeficiente de rugosidad de Manning para el flujo superficial sobre el terreno.
- V_SURLAG.bsn: Coeficiente de retardo de la escorrentía superficial; controla la rapidez con que el escurrimiento alcanza el cauce.
- V_CANMX.hru: Capacidad máxima de almacenamiento de agua en el dosel vegetal (intercepción).
- V_HRU_SLP.hru: Pendiente media de la Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU), relacionada con la velocidad de escurrimiento superficial.

3.5.17.3. Simulación hidrológica preliminar del modelo SWAT

La primera etapa de la simulación en ArcSWAT tiene como finalidad verificar el funcionamiento general del modelo, evaluar la consistencia de los insumos y generar una primera aproximación del comportamiento hidrológico de la cuenca bajo condiciones no calibradas. Para este proceso el modelado se divide en tres periodos:

Tabla 28

Tabla de periodo de simulación

	Calentamiento (Warm-up)	**Calibración**	**Validación**
Periodo	1981 - 1989	1990 - 2011	2012 - 2022
N° años	9	22	11

Nota. Elaboración propia.

El warm-up de nueve años permite que el modelo estabilice el almacenamiento en los suelos, las reservas subterráneas y el flujo base, evitando que los valores iniciales afecten las salidas hidrológicas.

La simulación se ejecutó con salida mensual, manteniendo la lectura diaria de los datos climáticos; esto debido a la disponibilidad de datos.

3.5.17.4. Calibración y validación del modelo hidrológico en SWAT-CUP

La calibración, el análisis de sensibilidad y la evaluación de la incertidumbre del modelo hidrológico se realizaron empleando el software SWAT-CUP, mientras que el proceso de validación se ejecutó mediante el modelo ArcSWAT.

Para la calibración se utilizó el algoritmo SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting), el cual permite el ajuste simultáneo de múltiples parámetros del modelo hidrológico y la cuantificación de la incertidumbre asociada a las simulaciones, mediante intervalos de predicción.

La calibración se realizó utilizando como serie de referencia los caudales descritos en el anexo N°41 correspondientes al “Estudio Hidrológico de la Laguna Piuray” elaborado por EPS SEDACUSCO S.A. (2024). Esta información fue empleada debido a la inexistencia de registros hidrométricos continuos dentro de la cuenca que permitieran efectuar una calibración directa del modelo SWAT. La información utilizada corresponde a una serie mensual de caudales para el período comprendido entre enero de 1990 y diciembre de 2022.

Considerando que la información meteorológica diaria utilizada en el modelo SWAT se encuentra disponible para el periodo 1981-2016 (base PISCO), complementada con datos del SENAMHI para el periodo 2017-2022, el proceso de calibración y validación del modelo se realizó empleando datos correspondientes al periodo 1990-2022.

a) Configuración de periodos de calibración y validación

La estructura temporal del modelo se organizó de la siguiente manera:

Tabla 29

Configuración de los periodos para la calibración y validación del modelo hidrológico.

Periodo	Etapa	Duración	Finalidad
1981-1989	*Warm-up*	9 años	Estabilización del modelo
1990-2011	Calibración	22 años	Ajuste de los parámetros hidrológicos
2012-2022	Validación	11 años	Evaluación independiente del desempeño del modelo

Nota. Elaboración propia.

Esta separación permite evaluar la habilidad del modelo tanto para reproducir el comportamiento hidrológico en el periodo de ajuste como para predecirlo de manera independiente.

b) Integración del modelo SWAT con SWAT-CUP

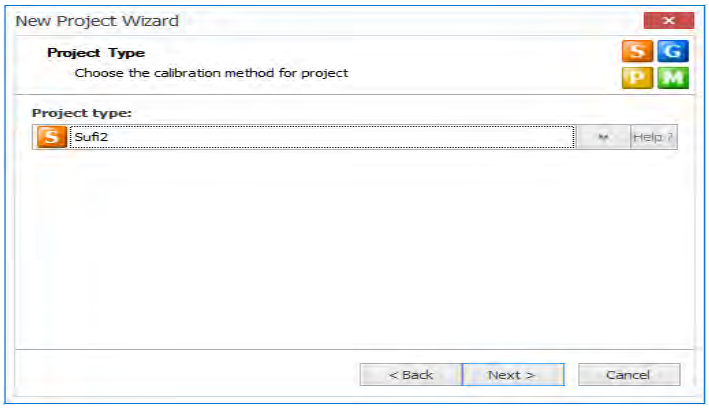
El proyecto calibrado en ArcSWAT fue vinculado en SWAT-CUP mediante la carpeta TxtInOut, lo que permitió:

- leer la estructura espacial (subcuencas y HRUs),
- importar los archivos climáticos,
- acceder a todos los parámetros hidrológicos editables del modelo,
- incorporar la serie de caudal observado en formato mensual.

El algoritmo SUFI-2 fue seleccionado debido a su alta eficiencia para explorar espacios paramétricos complejos en cuencas altoandinas con escasa información hidrométrica.

Figura 65

Selección del algoritmo SUFI-2



Nota. Elaboración propia mediante el software SWAT-CUP (Abbaspour, 2015).

c) Selección de parámetros a calibrar

Con base en estudios previos, literatura especializada en cuencas altoandinas y la sensibilidad hidrológica reportada para el modelo SWAT, se seleccionaron 24 parámetros relacionados con los procesos de escorrentía superficial, infiltración, propiedades del suelo, flujo subterráneo, evapotranspiración y transporte hidráulico. Los parámetros considerados y sus respectivos rangos de calibración se presentan en la Tabla 29.

Tabla 30

Parámetros de calibración

Parámetros de calibración							
		500 sim.		750 Sim.		1000 Sim.	
N°	Parámetro	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	R_CN2.mgt_AGRL	-0.18	0	-0.144	-0.049	-0.106	-0.028
2	R_CN2.mgt_FRST	-0.08	0.05	-0.055	0.015	-0.064	-0.011
3	R_CN2.mgt_PAST	-0.12	0.03	-0.053	0.082	-0.022	0.047
4	R_CN2.mgt_URML	-0.03	0.08	-0.048	0.037	-0.02	0.036
5	V_ESCO.hru	0.8	0.98	0.886	1.057	0.95	1
6	V_EPCO.hru	0.8	1	0.847	0.949	0.86	0.92
7	V_GW_DELAY.gw	40	180	96	210	151	263
8	V_ALPHA_BF.gw	0.03	0.18	0.079	0.178	0.11	0.174
9	V_GWQMN.gw	50	500	264	692	277	554
10	V_GW_REVAP.gw	0.01	0.08	0.02	0.05	0.03	0.054
11	V_REVAPMN.gw	200	750	421	865	638	1000
12	V_RCHRG_DP.gw	0.02	0.18	0.0035	0.12	0.04	0.115
13	R_SOL_AWC(1).sol	0.05	0.3	0.0056	0.2019	-0.068	0.112
14	R_SOL_AWC(2).sol	0.05	0.3	-0.0484	0.1839	-0.019	0.116
15	R_SOL_K(1).sol	0.2	1.5	0.8453	2.1364	1.469	2.719
16	R_SOL_K(2).sol	0.1	1.2	0.1125	0.8376	-0.036	0.546
17	R_SOL_BD(1).sol	-0.12	-0.01	-0.1488	-0.0562	-0.139	-0.083
18	R_SOL_BD(2).sol	-0.1	-0.01	-0.1349	-0.0516	-0.167	-0.09
19	V_CH_K2.rte	5	80	2.93	54.32	-2.16	35.5
20	V_CH_N2.rte	0.03	0.12	0.065	0.136	0.056	0.109
21	V_OV_N.hru	0.08	0.3	0.149	0.289	0.08	0.219
22	V_SURLAG.bsn	4	14	2.76	10.26	3.757	8.093
23	V_CANMX.hru	2	12	-2.33	7.23	-2.722	3.913
24	V_HRU_SLP.hru	0.03	0.12	0.06	0.15	0.047	0.116

Nota. Elaboración propia

d) Ejecución de iteraciones de calibración (SUFI-2)

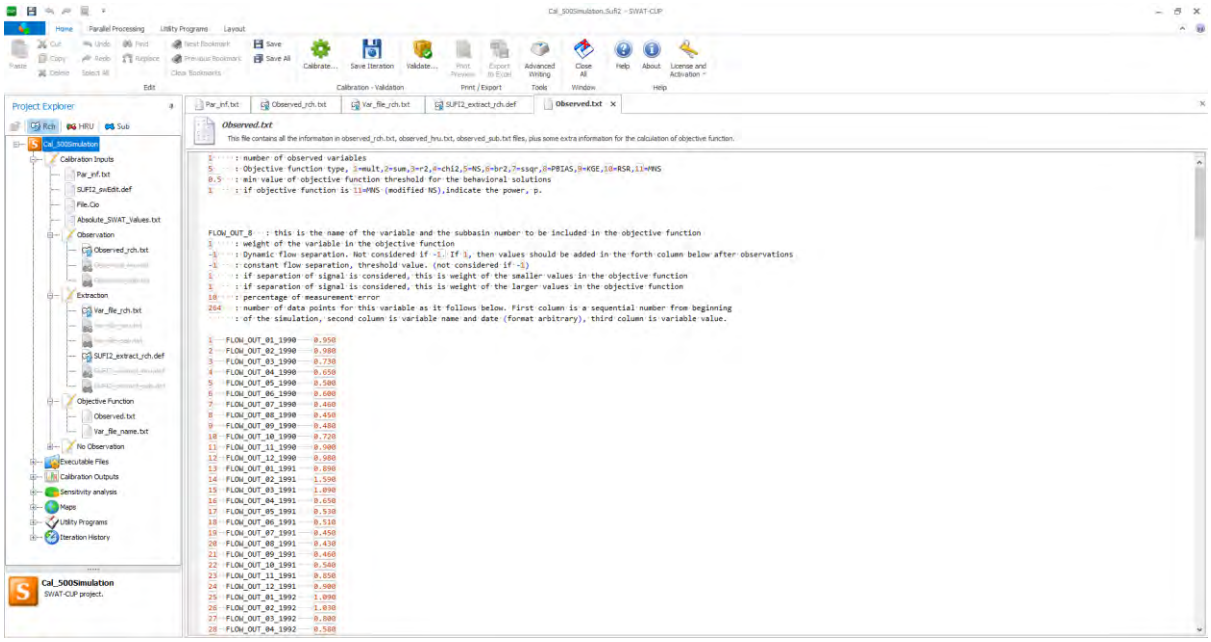
El proceso se realizó en tres etapas sucesivas con incremento de simulaciones, a fin de refinar progresivamente los intervalos de búsqueda:

- 1.ª iteración: 500 simulaciones (exploración)

- 2.ª iteración: 750 simulaciones (refinamiento)
- 3.ª iteración: 1000 simulaciones (optimización)

Figura 66

Configuración de la variable FLOW_OUT y de la función objetivo para la calibración del modelo



e) Criterios de evaluación del desempeño

El desempeño del modelo se evaluó empleando tres métricas recomendadas internacionalmente:

- Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE): mide la capacidad predictiva del modelo.
- Coeficiente de determinación (R^2): mide la fuerza de correlación.
- PBIAS: evalúa la tendencia sistemática (sobreestimación o subestimación).

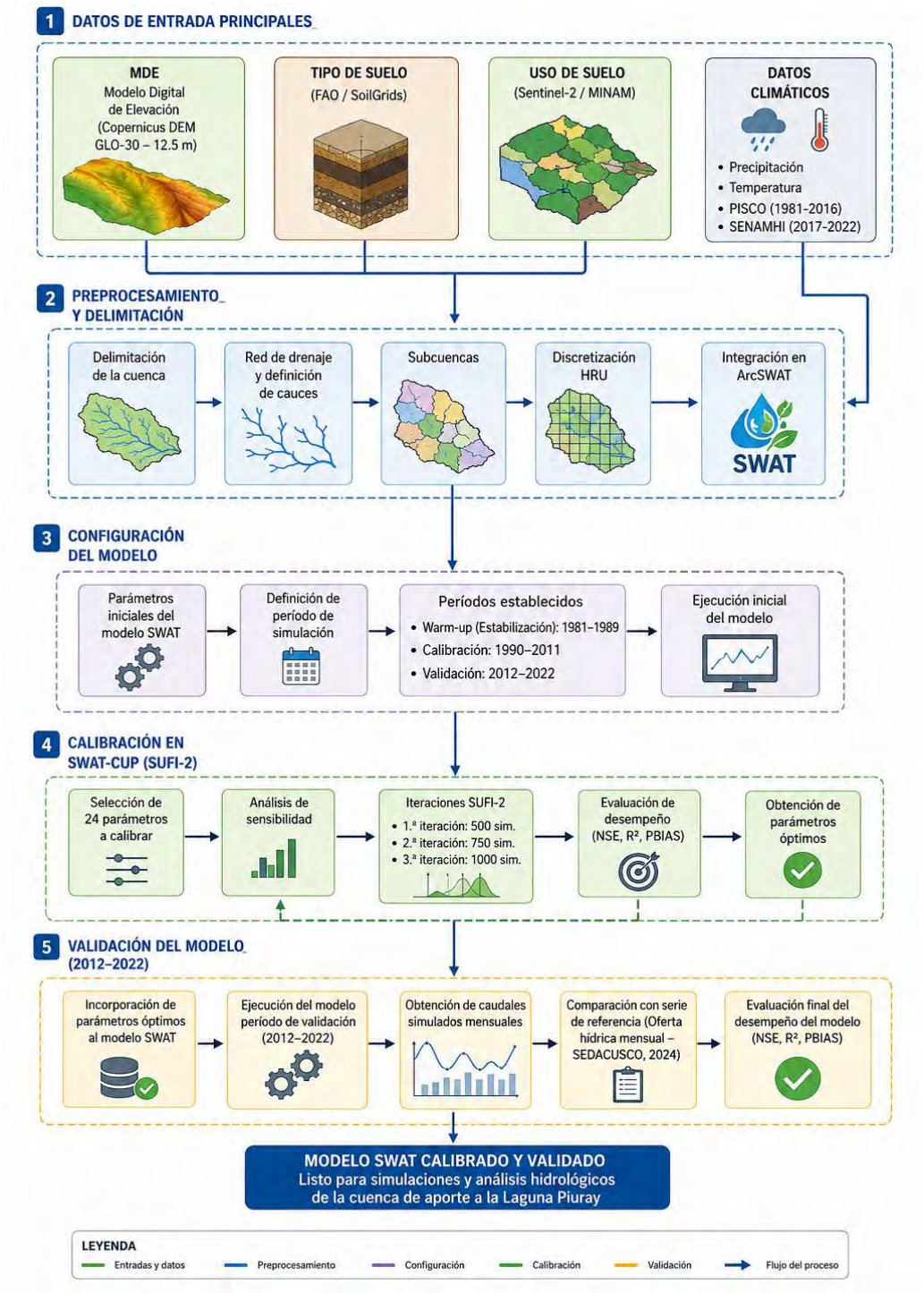
f) Validación del modelo

Para la validación del modelo se utilizó un período independiente comprendido entre los años 2012 y 2022. Una vez obtenidos los parámetros óptimos durante la etapa de calibración, estos fueron incorporados al modelo SWAT para ejecutar la simulación

correspondiente al período de validación. Los caudales simulados fueron comparados con la serie de referencia y el desempeño del modelo se evaluó mediante los indicadores estadísticos NSE, R^2 PBIAS.

Figura 67

Flujograma de simulación hidrológica en SWAT



Nota. Elaboración propia.

3.5.18. Balance Hídrico en la Cuenca

3.5.18.1. Balance hídrico superficial de la cuenca

El balance hídrico superficial de la cuenca fue determinado mediante el modelo hidrológico ArcSWAT, el cual simula los procesos que ocurren sobre la superficie del terreno a partir de información topográfica, climática, edáfica y de cobertura vegetal. Este modelo estima el comportamiento hidrológico de la cuenca aplicando el principio de conservación de la masa, permitiendo cuantificar la distribución del agua proveniente de la precipitación entre los diferentes procesos superficiales del ciclo hidrológico.

ArcSWAT divide la cuenca en subcuencas y posteriormente en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), las cuales representan áreas homogéneas en cuanto a uso del suelo, tipo de suelo y pendiente. Para cada HRU, el modelo calcula diariamente la precipitación efectiva, la escorrentía superficial, la infiltración, la evapotranspiración y el flujo lateral, integrando posteriormente los resultados para obtener el comportamiento hidrológico de toda la cuenca.

La estimación de la escorrentía superficial se realizó mediante el método del Número de Curva (Curve Number, CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS-CN), implementado en el modelo ArcSWAT. Como información de entrada se utilizó el mapa de Curva Número del Perú elaborado por el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), construido a partir de la integración del mapa de cobertura y uso del suelo, los grupos hidrológicos de suelo y el Modelo Digital de Elevación (MDE). A partir de esta información, ArcSWAT estimó la escorrentía superficial inicial para cada Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU), considerando la precipitación y las características físicas de la cuenca.

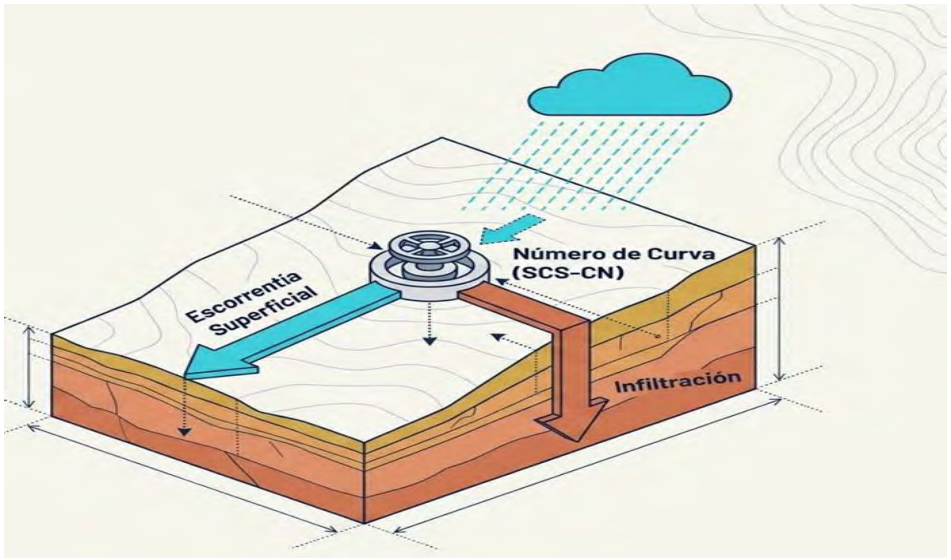
Posteriormente, la representación de la escorrentía fue mejorada durante la etapa de calibración hidrológica mediante SWAT-CUP, ajustando de manera conjunta el parámetro CN2 y otros parámetros relacionados con la infiltración, el almacenamiento de agua en el suelo,

la rugosidad superficial y el tiempo de respuesta de la cuenca, tales como SOL_K, SOL_AWC, OV_N, SURLAG y CANMX. Este proceso permitió que la escorrentía simulada reprodujera de forma más adecuada el comportamiento hidrológico observado en la cuenca Piuray, constituyendo uno de los principales componentes del balance hídrico superficial.

En la presente investigación, el balance hídrico superficial permitió cuantificar las entradas de agua por precipitación y su distribución en escorrentía superficial, infiltración, evapotranspiración y flujo lateral, generando el caudal superficial que aporta a la laguna Piuray.

Figura 68

Procesos del balance hídrico superficial y estimación de la escorrentía en ArcSWAT.



Nota. Representación de la partición de la precipitación efectiva en escorrentía superficial e infiltración dentro de las HRU.

Durante la simulación, ArcSWAT calcula simultáneamente los principales componentes del balance hídrico superficial, entre los cuales destacan:

- Precipitación (PRECIP)
- Intercepción de la cobertura vegetal (CANST)
- Escorrentía superficial (SURQ)
- Infiltración hacia el perfil del suelo
- Evapotranspiración potencial y real (PET y ET)
- Evaporación del suelo

- Transpiración de la vegetación
- Flujo lateral (LATQ)
- Contenido de agua del suelo (SW)
- Rendimiento hídrico o producción de agua (WYLD)

Tabla 31

Parámetros de flujo superficial

N°	Parámetro	Función
1	R_CN2.mgt_AGRL	Número de Curva (CN) para agricultura
2	R_CN2.mgt_FRST	Número de Curva para bosque
3	R_CN2.mgt_PAST	Número de Curva para pastizal
4	R_CN2.mgt_URML	Número de Curva para zona urbana
5	V_CH_K2.rte	Conductividad hidráulica del cauce
6	V_CH_N2.rte	Rugosidad de Manning del cauce
7	V_OV_N.hru	Rugosidad superficial
8	V_SURLAG.bsn	Tiempo de retardo de la escorrentía superficial
9	V_CANMX.hru	Almacenamiento máximo del dosel vegetal
10	V_HRU_SLP.hru	Pendiente media de la HRU

Nota. Estos controlan la generación de escorrentía desde la superficie de la cuenca hasta los cauces.

Posteriormente, la representación hidrológica fue optimizada durante el proceso de calibración mediante SWAT-CUP, ajustando de manera conjunta los parámetros, los cuales controlan la escorrentía, la infiltración, el almacenamiento de humedad del suelo, la rugosidad superficial, el retraso de la escorrentía, la capacidad de almacenamiento del dosel vegetal y los procesos de evaporación del suelo y absorción radicular. La calibración permitió reproducir de manera más adecuada el comportamiento hidrológico observado en la cuenca Piuray.

Como resultado, el balance hídrico superficial permitió cuantificar la distribución espacial y temporal de la precipitación en escorrentía superficial, infiltración,

evapotranspiración, flujo lateral y producción de agua, constituyendo la principal fuente del caudal superficial que aporta a la laguna Piuray.

3.5.18.2. Balance hídrico subterráneo de la cuenca

El balance hídrico subterráneo fue obtenido mediante ArcSWAT a partir de la simulación de los procesos de infiltración, percolación y flujo subterráneo. Después de que el agua infiltra el perfil del suelo, el modelo calcula el movimiento vertical hacia las capas inferiores mediante el proceso de percolación y posteriormente simula la recarga de los acuíferos somero y profundo.

El acuífero somero representa el almacenamiento temporal del agua infiltrada y constituye la principal fuente del flujo base, mientras que el acuífero profundo almacena parte del agua que abandona el sistema hidrológico local. ArcSWAT estima diariamente el intercambio de agua entre estos compartimientos utilizando parámetros físicos del suelo y propiedades hidráulicas previamente definidas durante la configuración del modelo.

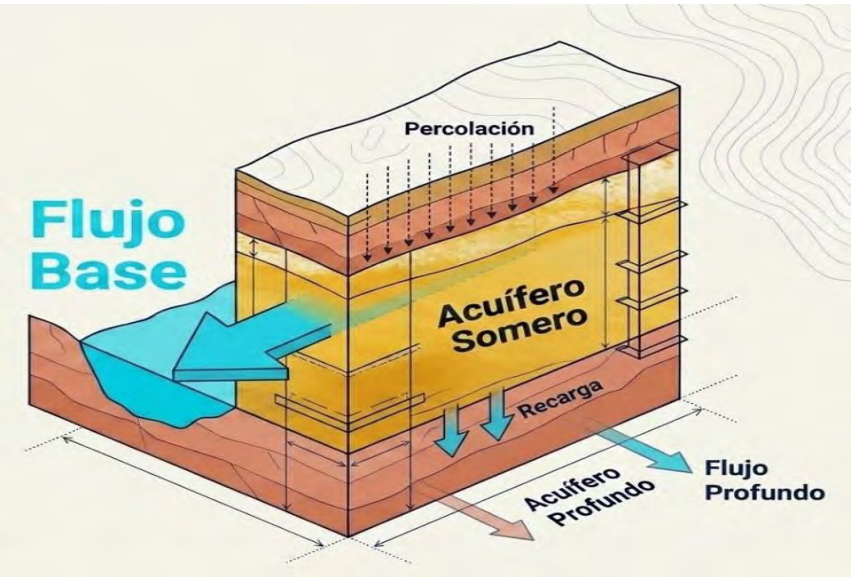
El flujo base generado por el acuífero somero representa una fracción importante del caudal que alimenta los cursos de agua durante períodos sin precipitación, permitiendo mantener la disponibilidad hídrica de la cuenca. De esta manera, el balance hídrico subterráneo proporciona una representación del comportamiento del almacenamiento y movimiento del agua bajo la superficie, complementando la evaluación del ciclo hidrológico superficial.

En la presente investigación, la simulación del balance hídrico subterráneo permitió cuantificar la recarga de los acuíferos y la contribución del flujo base al caudal total generado por la cuenca, la representación de estos procesos se realizó mediante parámetros hidrológicos como ALPHA_BF, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, REVAPMN y RCHRG_DP, los cuales controlan la respuesta del acuífero, la recarga subterránea y el intercambio de agua entre el suelo y los acuíferos. La adecuada estimación de estos componentes permitió mejorar la representación del comportamiento hidrológico de la cuenca Piuray y disponer de una base

confiable para el cálculo del balance hídrico total y la posterior estimación del volumen de almacenamiento de la laguna.

Figura 69

Dinámica del balance hídrico subterráneo: Interacción entre el acuífero somero, el acuífero profundo y el flujo base.



Nota. Ilustración del movimiento vertical de agua (percolación) y la recarga de los compartimientos subterráneos simulados por el modelo.

ArcSWAT calcula de manera continua los siguientes procesos asociados al balance hídrico subterráneo:

- Infiltración al perfil del suelo
- Humedad almacenada en el suelo (SW)
- Percolación profunda (PERC)
- Recarga del acuífero somero
- Recarga del acuífero profundo
- Flujo base o retorno al cauce (GW_Q)
- Ascenso capilar desde el acuífero
- Pérdidas profundas del acuífero (Deep Aquifer Recharge)
- Almacenamiento de agua subterránea

Tabla 32

Parámetros de perfil del suelo

N°	Parámetro	Función
5	V_ESCO.hru	Factor de compensación de evaporación del suelo
6	V_EPCO.hru	Factor de compensación de absorción radicular
13	R_SOL_AWC(1).sol	Capacidad disponible de agua (capa 1)
14	R_SOL_AWC(2).sol	Capacidad disponible de agua (capa 2)
15	R_SOL_K(1).sol	Conductividad hidráulica saturada (capa 1)
16	R_SOL_K(2).sol	Conductividad hidráulica saturada (capa 2)
17	R_SOL_BD(1).sol	Densidad aparente del suelo (capa 1)
18	R_SOL_BD(2).sol	Densidad aparente del suelo (capa 2)

Nota. Estos controlan la infiltración, almacenamiento y movimiento del agua dentro del suelo.

Tabla 33

Parámetros de flujo subterráneo

N°	Parámetro	Función
7	V__GW_DELAY.gw	Tiempo de retraso de recarga al acuífero
8	V__ALPHA_BF.gw	Constante de recesión del flujo base
9	V__GWQMN.gw	Nivel mínimo para generar flujo base
10	V__GW_REVAP.gw	Movimiento del agua del acuífero al suelo
11	V__REVAPMN.gw	Nivel mínimo para Revap.
12	V__RCHRG_DP.gw	Fracción de recarga al acuífero profundo

Nota. Estos regulan el almacenamiento y descarga del agua subterránea.

La representación de estos procesos depende principalmente de parámetros como ALPHA_BF, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, REVAPMN, RCHRG_DP y SHALLST, los cuales controlan el tiempo de respuesta del acuífero, la recarga, el flujo base, el ascenso capilar y el almacenamiento subterráneo. Dichos parámetros fueron ajustados durante la etapa de calibración utilizando SWAT-CUP para mejorar la representación del comportamiento hidrológico de la cuenca.

El balance hídrico subterráneo permitió estimar la contribución del flujo base al caudal total generado por la cuenca, así como cuantificar la dinámica de recarga y almacenamiento

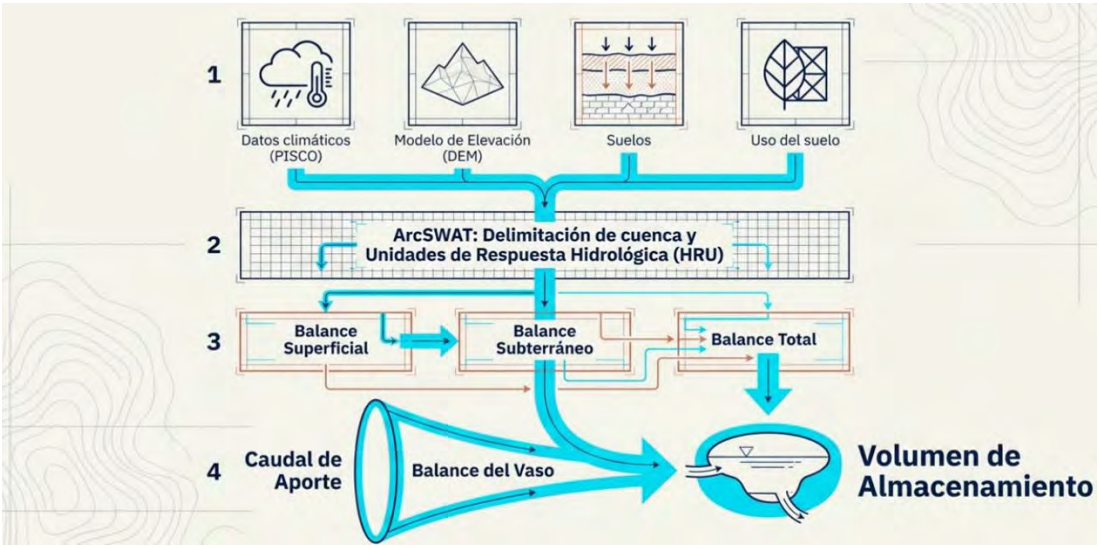
del agua subterránea, procesos fundamentales para evaluar la disponibilidad hídrica durante los períodos secos.

3.5.18.3. Balance hídrico interno (oferta hídrica) simulado mediante ArcSWAT

El balance hídrico interno de la cuenca fue determinado integrando los componentes superficiales y subterráneos simulados por ArcSWAT. El modelo aplica el principio de conservación de la masa, considerando que el cambio en el almacenamiento de agua del suelo depende de la diferencia entre las entradas y las salidas de agua durante un intervalo de tiempo determinado.

Figura 70

Flujograma metodológico para la determinación del balance hídrico total y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray.



Nota. Esquema que integra datos climáticos (PISCO), modelación (ArcSWAT) y balance del vaso de la laguna para determinar el volumen de almacenamiento

La ecuación fundamental utilizada por SWAT para representar el balance hídrico es:

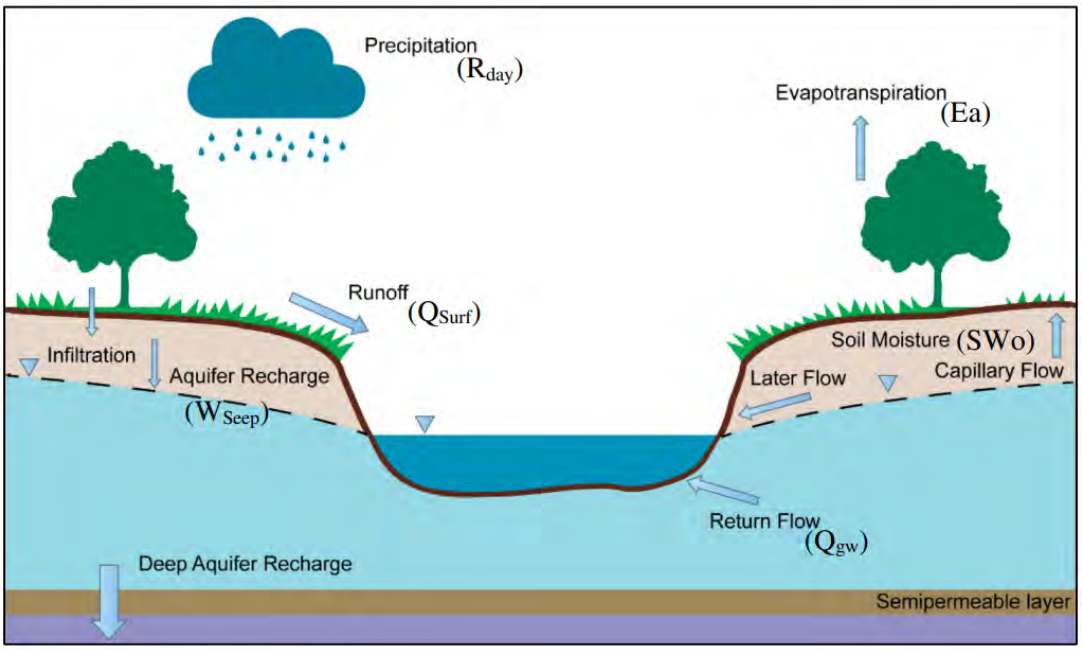
$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - ET - Wseep - Q_{gw}) \qquad (35)$$

Donde:

Las variables en esta ecuación representan: SWt es el contenido final de agua del suelo, SWo es el contenido inicial de agua en el suelo, t es el tiempo en días, $Rday$ representa la precipitación en el día i, $Qsurf$ representa la escorrentía en la superficie del día i, ETa es la evapotranspiración en el día i, $Wseep$ es el agua que ingresa a la zona vadosa desde el perfil del suelo y Qgw representa el caudal de retorno en el día i.

Figura 71

Representación esquemática del concepto del balance hidrico en el modelo SWAT



3.5.18.4. Demanda hídrica de la cuenca Piuray

La demanda hídrica corresponde a la cantidad de agua requerida o extraída para satisfacer los diferentes usos del recurso dentro de la cuenca. Para el período de estudio se recopilaron y organizaron las principales demandas asociadas al abastecimiento poblacional, uso pecuario, uso agrícola y otros usos identificados en la cuenca Piuray.

La información utilizada provino principalmente de los registros proporcionados por la EPS SEDACUSCO S.A., del Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la cuenca Piuray elaborado por el Centro de Educación y Comunicación Guaman Poma de Ayala (2013) y de las licencias de uso de agua otorgadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tabla 34

Data de demanda de agua extraída de la laguna por SEDACUSCO 2000 - 2012.

FUENTES	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Laguna Piuray (l/s)	233.99	259.44	238.42	272.46	282.57	261.96	250.5	251.56	232.32	195.53	211.37	168.58	249.4

Nota. Extraída del Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna de Piuray, elaborado por el Centro de Educación y Comunicación Guaman Poma de Ayala (2013).

Tabla 35

Demanda de agua extraída de la laguna por SEDACUSCO 2013 - 2024.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	245.00	251.00	248.00	265.00	271.00	253.00	246.00	248.00	251.00	254.00	263.00	268.00
2014	278.20	267.00	271.00	265.00	269.00	274.00	256.00	248.00	252.00	257.00	269.00	257.00
2015	254.00	257.00	261.00	258.00	264.00	259.00	262.00	257.00	261.00	256.00	262.00	260.00
2016	284.38	293.54	289.73	283.83	280.97	278.31	293.8	308.06	312.57	309.77	299.22	314.78
2017	252.5	266.88	277.56	287.63	267.44	281.89	276.9	288.4	280.79	264.83	281.48	248.77
2018	298.48	291.79	290.46	282.42	256.22	289.73	274.4	265.31	263.16	249.13	257.39	266.27
2019	282.94	292.58	302.65	302.85	290.44	292.42	280.5	280.57	307.2	285.07	280.61	299.42
2020	296.56	291.23	296.57	334.71	324.67	327.48	343.3	339.29	319.58	326.4	307.35	285.65
2021	299.55	298.88	293.32	293.52	286.51	290.88	298.2	290.85	278.63	289.25	284.76	286.78
2022	283.68	288.59	293.74	290.83	261.04	278.39	274.1	267.23	269.42	269.63	263.82	263.28
2023	258.53	251.99	277.99	244.54	244.94	236.04	226.9	212.19	287.6	283.9	278.79	280.28
2024	284.25	284.65	292.85	293.29	281.52	285.04	284.6	278.03	292.49	290.85	283.07	283.08

Nota. Elaboración propia en base a datos proporcionados por SEDACUSCO S.A

Asimismo, se incorporó la demanda de agua con fines de uso pecuario registrada para la cuenca Piuray durante el periodo de estudio. Los valores correspondientes se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36

Demanda con fines de uso pecuario en la cuenca Piuray.

DEMANDA CON FINES DE USO PECUARIO EN LA CUENCA PIURAY 2000 AL 2024 (m3)													
Sitio de demanda	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**AÑOS**
Uso pecuario	5571.07	5031.94	5571.07	5391.36	5571.07	5391.36	5571.07	5571.07	5391.36	5571.07	5391.36	5571.07	***2000-2024***
SUMA	**5571.07**	**5031.94**	**5571.07**	**5391.36**	**5571.07**	**5391.36**	**5571.07**	**5571.07**	**5391.36**	**5571.07**	**5391.36**	**5571.07**	

Nota. Elaboración propia en base a datos proporcionados por SEDACUSCO S.A

De manera complementaria, se incorporaron las demandas de agua destinadas al uso poblacional y agrícola en las comunidades de la cuenca Piuray, considerando la información disponible de las autorizaciones y licencias de uso de agua. Los valores mensuales correspondientes se presentan en las Tablas 37 y 38.

Tabla 37

Demanda poblacional de comunidades de la cuenca Piuray

DEMANDA POBLACIONAL DE LA CUENCA PIURAY 2000 AL 2024 (m3)													
Sitio de demanda	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**AÑOS**
Huila Huila	2,123.50	1,918.00	2,123.50	2,055.00	2,123.50	2,055.00	2,123.50	2,123.50	2,055.00	2,123.50	2,055.00	2,123.50	***2013-2024***
Umasbamba	2,498.60	2,256.80	2,498.60	2,418.00	2,498.50	2,418.00	2,498.60	2,498.60	2,418.00	2,498.60	2,418.00	2,498.60	***2014-2024***
Huitapugio	874.20	789.60	874.20	846.00	874.20	846.00	874.20	874.20	846.00	874.20	846.00	874.20	***2013-2024***
Pucamarca	1,745.30	1,576.40	1,745.30	1,689.00	1,745.30	1,689.00	1,745.30	1,745.30	1,689.00	1,745.30	1,689.00	1,745.30	***2013-2024***
SedaCusco	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	155,520	***1996-2024***
Octuan	2,325.00	2,100.00	2,325.00	2,250.00	2,325.00	2,250.00	2,325.00	2,325.00	2,250.00	2,325.00	2,250.00	2,325.00	***2022-2024***
Ocutuan	1,388.80	1,254.60	1,388.80	1,344.00	1,388.80	1,344.00	1,388.80	688.80	1,342.00	1,388.80	1,344.00	1,388.80	***2014-2024***
Cuper alto	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	1,258.80	***2005-2024***
Cuper bajo	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	1,684.80	***2005-2024***
Ccorcor	1,506.60	1,360.80	1,506.60	1,458.00	1,506.60	1,458.00	1,506.60	1,506.60	1,458.00	1,506.60	1,458.00	1,506.60	***2014-2024***
Tauca	1,546.90	1,397.20	1,546.90	1,497.00	1,546.90	1,497.00	1,546.90	1,546.90	1,497.00	1,546.90	1,497.00	1,546.90	***2014-2024***
Valle Chosica	2,895.40	2,615.20	2,895.40	2,802.00	2,895.40	2,802.00	2,895.40	2,895.40	2,802.00	2,895.40	2,802.00	2,895.40	***2013-2024***
Pongobamba	5,276.45	4,765.82	5,276.45	5,106.24	5,276.45	5,106.24	5,276.45	5,276.45	5,106.24	5,276.45	5,106.24	5,276.45	***2016-2024***
JASS Piuray	515.59	483.84	528.98	505.44	515.59	492.48	502.20	488.81	460.08	468.72	466.56	495.50	***2019-2024***
SUMA	**179036.4**	**177063.8**	**179049.8**	**178379.3**	**179036.3**	**178366.3**	**179023.1**	**178309.7**	**178331.9**	**178989.6**	**178340.4**	**179016.4**	

Nota. Licencias de autorización ANA

Tabla 38

Demanda agrícola en comunidades de la cuenca Piuray

DEMANDA AGRICOLA EN LA CUENCA PIURAY 2000 AL 2024 (m3)													
Sitio de demanda	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**AÑOS**
CUA Pumamarca	0.0	290.3	4847.9	10419.8	10927.9	8268.5	9749.4	10177.9	5806.1	0.0	1062.7	0.0	***2015-2024***
CUA Huasamayo	40792.0	33288.0	40792.0	38777.0	40016.0	38388.0	26126.0	40792.0	38206.0	40792.0	38206.0	4403.0	***2022-2024***
CUA Cuper alto	0.0	0.0	0.0	14048.0	38798.0	38595.0	24024.0	68173.0	74391.0	63264.0	33453.0	0.0	***2022-2024***
CR Cuper bajo	0.0	0.0	0.0	1142.0	1927.0	1969.0	1893.0	1578.0	1527.0	2051.0	2291.0	801.0	***2016-2024***
CR Cuper bajo	0.0	0.0	0.0	1407.0	2373.0	2425.0	2332.0	1944.0	1881.0	2527.0	2821.0	987.0	***2016-2024***
CR Cuper bajo	0.0	0.0	0.0	1349.0	2276.0	2326.0	2231.0	1859.0	1799.0	2416.0	2698.0	946.0	***2016-2024***
CR Cuper bajo	0.0	0.0	0.0	863.0	1457.0	1488.0	1383.0	1152.0	1115.0	1498.0	1673.0	606.0	***2016-2024***
CR Cuper bajo	0.0	0.0	0.0	2236.0	3773.0	3855.0	3612.0	3010.0	2913.0	3913.0	4369.0	1568.0	***2016-2024***
CR Cuper bajo	0.0	0.0	0.0	2279.0	3845.0	3929.0	3778.0	3148.0	3047.0	4093.0	4570.0	1598.0	***2017-2024***
Chuso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38880.0	40176.0	40176.0	38880.0	40176.0	38880.0	0.0	***2011-2024***
Pumapata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91601.3	91601.3	88646.4	91601.3	88646.4	79777.8	***2007-2024***
SUMA	**40792.0**	**33578.3**	**45639.9**	**72520.8**	**105392.9**	**101243.5**	**75128.4**	**131833.9**	**130685.1**	**120554.0**	**91143.7**	**10909.0**	

Nota. Licencias de autorización ANA

Tabla 39

Demanda agrícola en comunidades de la cuenca Piuray

OTRAS DEMANDAS 1 (m3)

Sitio de demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
Consorcio Chinchero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1703.46	1760.24	1760.24	1703.46	0.00	***2021***
SUMA	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**1703.46**	**1760.24**	**1760.24**	**1703.46**	**0.00**	

OTRAS DEMANDAS 2 (m3)

Sitio de demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
Grupo Yanacona I (Para el aeropuerto de chincheros)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2838.75	2933.38	2838.75	2933.38	2933.38	2838.75	***2022***
	2933.38	2838.75	2933.38	0.00	0.00	0.00	2838.75	2933.38	2838.75	2933.38	2933.38	2838.75	***2023***
	2933.38	2838.75	2933.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	***2024***
SUMA	**5866.76**	**5677.50**	**5866.76**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**5677.50**	**5866.76**	**5677.50**	**5866.76**	**5866.76**	**5677.50**	

OTRAS DEMANDAS 3 (m3)

Sitio de demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
Grupo Yanacona II (Para el aeropuerto de chincheros)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	467.63	467.63	467.63	***2022***
	467.63	383.91	383.91	383.91	383.91	467.63	467.63	467.63	467.63	467.63	467.63	467.63	***2023***
	467.63	383.91	383.91	383.91	383.91	467.63	467.63	467.63	467.63	0.00	0.00	0.00	***2024***
SUMA	**935.26**	**767.82**	**767.82**	**767.82**	**767.82**	**935.26**	**935.26**	**935.26**	**935.26**	**935.26**	**935.26**	**935.26**	

Nota. Licencias de autorización ANA

En conjunto, estas demandas constituyeron los principales componentes de extracción considerados para la determinación del balance hídrico total, junto con la oferta hídrica generada mediante ArcSWAT.

3.5.18.5. Balance hídrico total en la cuenca Piuray

El balance hídrico total de la laguna Piuray se desarrolló con la finalidad de estimar la variación mensual del almacenamiento durante el período 2000-2024, considerando la relación entre el aporte hídrico generado por la cuenca y las demandas y extracciones de agua identificadas.

La oferta hídrica utilizada como aporte al sistema corresponde al caudal generado mediante el modelo hidrológico ArcSWAT, previamente calibrado y validado. Esta serie representa la respuesta hidrológica de la cuenca y constituye el aporte disponible para el desarrollo del balance hídrico total.

Durante la construcción del modelo hidrológico, la superficie de la laguna fue incorporada como una unidad de uso de suelo tipo WATR (Water). En consecuencia, los procesos hidrológicos asociados a dicha superficie, como la precipitación directa y las pérdidas por evaporación del espejo de agua, fueron considerados dentro de la simulación del modelo.

Por otro lado, las demandas y extracciones de agua identificadas en la cuenca fueron consideradas como componentes de salida del sistema. Estas comprenden la extracción directa realizada por EPS SEDACUSCO desde la laguna y las demandas poblacionales, agrícolas, pecuarias y otras demandas identificadas aguas arriba.

El balance hídrico mensual del vaso de la laguna Piuray se expresó mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta V = V_{afluente} - D_{SEDACUSCO} - D_{poblacional} - D_{agricola} - D_{pecuaria} - D_{otras\ demandas} \quad (36)$$

Donde:

- ΔV es la variación mensual del volumen de almacenamiento de la alguna (m3/mes)
- $V_{afluente}$es el volumen mensual de caudal afluente generado por la cuenca en ArcSWAT(m3/mes)
- $D_{SEDACUSCO}$ es el volumen mensual de agua extraída directamente desde la laguna para consumo humano (m3/mes)
- $D_{poblacional}$ es el volumen mensual de agua para consumo poblacional en la cuenca Piuray (m³/mes).
- $D_{agricola}$ es el volumen mensual de agua para uso agrícola en la cuenca Piuray (m³/mes).
- $D_{pecuaria}$ es el volumen mensual de agua para uso pecuario en la cuenca Piuray (m³/mes).

- $D_{otras\ demandas}$ es el volumen mensual de agua para otros fines en la cuenca Piuray (m^3/mes).

Finalmente, los resultados del balance hídrico mensual fueron utilizados para analizar la dinámica temporal del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray y contrastar su coherencia con la variación observada del nivel del espejo de agua, permitiendo una evaluación integral del comportamiento hidrológico del sistema durante el periodo de estudio.

3.5.19. Volumen de almacenamiento de la laguna Piuray

El volumen de almacenamiento mensual de la laguna Piuray fue determinado a partir de la relación cota-volumen obtenida del estudio batimétrico realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en octubre de 2020. Esta información permitió disponer de una curva de almacenamiento representativa de las características morfológicas del vaso lagunar, la cual fue empleada para estimar el volumen almacenado a partir de los registros históricos del nivel del espejo de agua.

Los registros mensuales de nivel correspondientes al periodo de estudio fueron transformados a volumen mediante interpolación lineal entre cotas consecutivas de la curva cota-volumen, obteniéndose una serie temporal continua del volumen almacenado en la laguna.

Para aquellos casos en los que los niveles registrados excedieron el rango definido por la curva batimétrica disponible, se aplicó una extrapolación controlada del tramo superior de la relación cota-volumen. Para ello, se realizó un ajuste lineal utilizando los puntos correspondientes a las cotas más elevadas de la curva de almacenamiento.

La calidad del ajuste fue evaluada mediante el coeficiente de determinación (R^2), verificando la representatividad de la ecuación empleada para la estimación de volúmenes fuera del rango observado en la batimetría.

Este procedimiento permitió obtener una serie continua de volúmenes de almacenamiento para todo el periodo de análisis, manteniendo la consistencia geométrica e hidrológica del sistema.

3.5.19.1. Análisis de correlación entre variables climáticas y almacenamiento

Para evaluar la relación entre las variables climáticas y la variación del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray se utilizaron las series mensuales correspondientes al período 2000-2024. Se consideraron como variables independientes la precipitación mensual acumulada y la temperatura promedio mensual, y como variable dependiente la variación mensual del volumen de almacenamiento (ΔV).

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para determinar la dirección y la intensidad de la asociación lineal entre cada variable climática y ΔV. Asimismo, se obtuvo el coeficiente de determinación (R^2) mediante regresión lineal, como medida complementaria de la variabilidad explicada por el modelo.

El análisis se complementó con diagramas de dispersión y líneas de tendencia para visualizar el comportamiento de las relaciones analizadas.

3.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos

En la presente investigación no se emplearon instrumentos de recolección de datos basados en cuestionarios o encuestas, por lo que no corresponde la aplicación de pruebas de confiabilidad como el coeficiente Alfa de Cronbach. Los datos analizados provienen de fuentes oficiales y de modelos hidrológicos ampliamente utilizados en investigaciones científicas, cuya calidad y confiabilidad han sido previamente verificadas.

3.6.1. Validez de los instrumentos

La validez del estudio está sustentada en la utilización de información proveniente de instituciones oficiales y bases de datos reconocidas nacional e internacionalmente, garantizando la representatividad y confiabilidad de las variables analizadas.

Las principales fuentes de información utilizadas fueron:

- Registros históricos de precipitación y temperatura del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- Datos climáticos interpolados de PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations).
- Escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 obtenidos de modelos climáticos globales.
- Información batimétrica y niveles de espejo de agua de la laguna Piuray.
- Información cartográfica y modelos digitales de elevación utilizados para la delimitación de la cuenca.

La validez del procesamiento fue garantizada mediante la aplicación de metodologías ampliamente aceptadas en hidrología e ingeniería de recursos hídricos, tales como el análisis de consistencia de datos, control de calidad de series temporales, simulación hidrológica y estimación del volumen de almacenamiento a partir de relaciones nivel-área-volumen.

3.6.2. Confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad de la investigación se fundamenta en la consistencia de los datos utilizados y en la aplicación de procedimientos estandarizados durante todo el procesamiento de la información.

Para garantizar dicha confiabilidad se realizaron las siguientes actividades:

- Control de calidad de las series históricas de precipitación y temperatura.
- Revisión de datos atípicos y tratamiento de valores faltantes.

- Evaluación de consistencia mediante análisis de doble masa y análisis estadístico de las series hidrometeorológicas.
- Procesamiento uniforme de la información climática histórica y de los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5.
- Simulación hidrológica utilizando el modelo SWAT para la estimación de caudales.
- Corrección del sesgo de los datos climáticos mediante el software CMhyd.
- Procesamiento espacial mediante ArcGIS para la delimitación de la cuenca y generación de parámetros físicos.
- Cálculo del volumen de almacenamiento utilizando la información batimétrica disponible y las relaciones entre nivel, área y volumen.
- Verificación de la coherencia de los resultados mediante comparación entre caudales simulados y datos observados disponibles.

El procesamiento numérico y estadístico fue realizado utilizando Microsoft Excel, ArcGIS, HEC-4, CMhyd y SWAT, softwares ampliamente utilizados en estudios hidrológicos y de cambio climático, lo cual contribuye a garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.7. Plan de análisis de datos

El análisis de datos se desarrolló siguiendo una secuencia metodológica orientada a cumplir los objetivos de la investigación.

En una primera etapa se realizó la recopilación, organización y depuración de la información climática e hidrometeorológica proveniente del SENAMHI, PISCO y escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Posteriormente se efectuó el control de calidad de las series históricas mediante análisis de consistencia, identificación de valores atípicos y tratamiento de datos faltantes.

Posteriormente se delimitó la cuenca de la laguna Piuray utilizando ArcGIS y se obtuvieron los parámetros fisiográficos requeridos para la modelación hidrológica.

Los datos climáticos futuros fueron sometidos a corrección de sesgo mediante el software CMhyd antes de ser incorporados al modelo hidrológico SWAT.

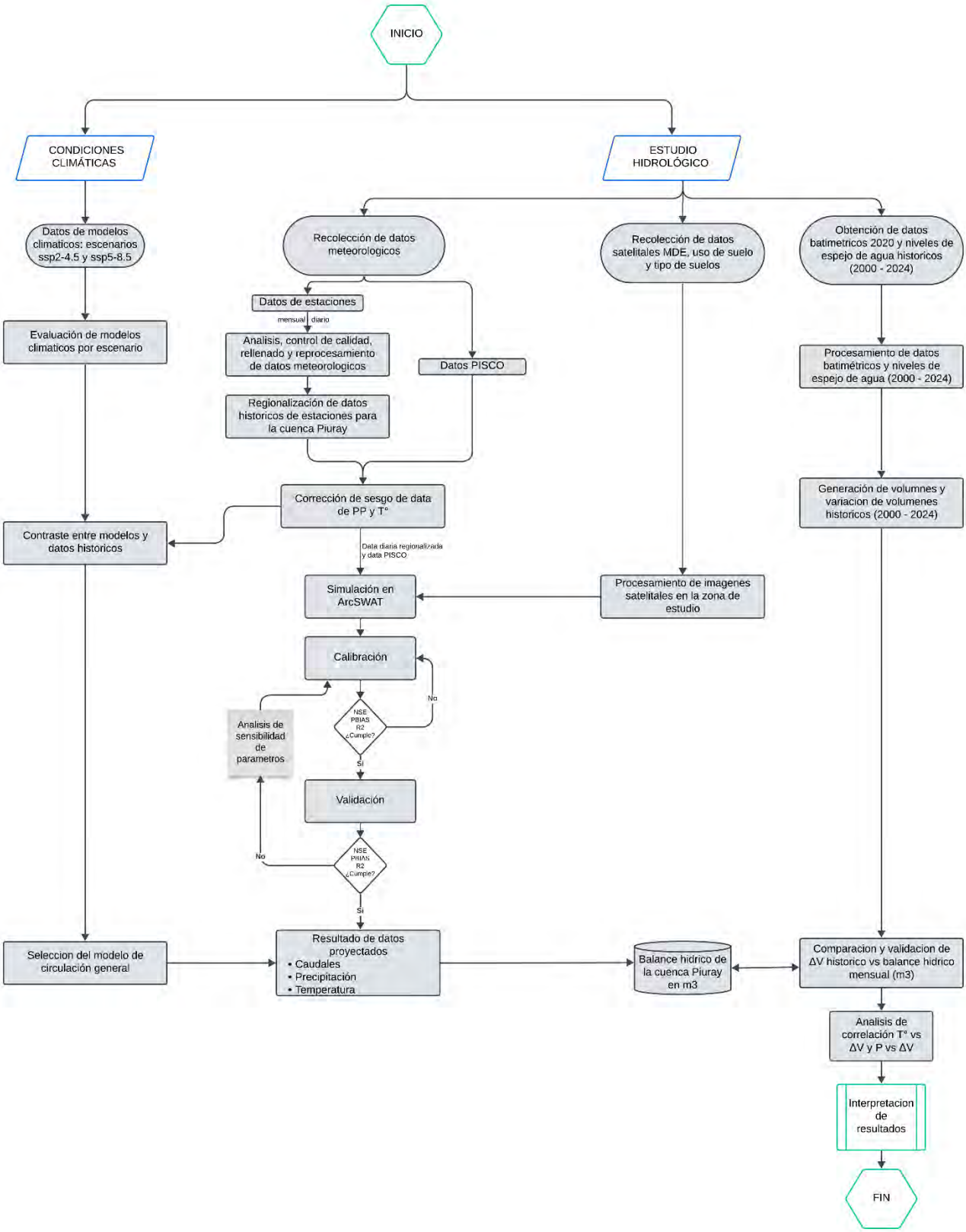
Mediante el modelo SWAT se simuló la generación de caudales para el período de estudio. Los caudales obtenidos permitieron estimar el comportamiento hidrológico de la cuenca y posteriormente calcular la variación del volumen de almacenamiento de la laguna empleando la información batimétrica y las relaciones nivel-área-volumen.

Para el análisis estadístico se utilizaron técnicas de estadística descriptiva (promedio, máximo, mínimo, desviación estándar, coeficiente de variación y tendencias temporales) con el propósito de caracterizar la evolución de la precipitación, temperatura y volumen de almacenamiento entre los años 2000 y 2024.

Finalmente, se evaluó la relación entre las variables climáticas y la variación del volumen de almacenamiento mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), complementado con regresión lineal, coeficiente de determinación (R^2) y diagramas de dispersión.

Figura 72

Flujograma de trabajo de investigación



CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Parámetros de la cuenca

4.1.1. Generalidades

La cuenca de la laguna Piuray se encuentra situada en la región Cusco, abarcando principalmente el distrito de Chinchero, en la provincia de Urubamba. Su localización geográfica la posiciona dentro de la vertiente hidrográfica del Atlántico, formando parte del sistema hidrológico Vilcanota-Urubamba. Esta cuenca constituye una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad del Cusco, razón por la cual tiene gran importancia ambiental y socioeconómica. Sus límites fronterizos son:

- Por el norte Huayllabamba
- Por el noreste Calca
- Por el este Coya
- Por el sureste la provincia de Cusco
- Por el sur y sur oeste Cachimayo

El relieve de la cuenca es predominantemente montañoso, con altitudes que varían aproximadamente entre los 3590 y 4400 m s. n. m., alcanzando su punto más elevado en las zonas circundantes al límite norte.

4.1.2. Determinación de los parámetros fisiográficos

4.1.2.1. Área de drenaje (A)

La cuenca Piuray abarca un área total de:

$$A = 39.69\ km^2$$

4.1.2.2. Perímetro (P)

El perímetro de la cuenca estudiada abarca un total de:

$$P = 44.53\ km$$

Este valor representa la longitud del contorno que delimita el área drenaje.

4.1.2.3. Longitud axial de la cuenca (La)

La longitud axial es de:

$$L_a = 11.16\ km$$

4.1.2.4. Ancho promedio (Ap)

El ancho promedio de la cuenca es:

$$A_p = \frac{39.69}{11.16} = 3.56\ km$$

4.1.2.5. Factor de forma (Ff)

El factor de forma obtenido para la cuenca es:

$$F_f = \frac{39.69}{(11.16)^2} = 0.32$$

Habiendo obtenido un valor de 0.32 de factor de forma y según la tabla N° 1, podemos afirmar que la cuenca Piuray es ligeramente alargada.

4.1.2.6. Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius (Kc)

El coeficiente de compacidad para la cuenca de estudio es:

$$K_c = \frac{44.53}{\sqrt{39.69}} = 1.99$$

Según la tabla N°2 y el resultado obtenido podemos afirmar que la cuenca es de forma rectangular; por lo que, se puede decir que la cuenca tiene una respuesta lenta a las crecientes.

4.1.3. Determinación de los Parámetros geomorfológicos

4.1.3.1. Curva hipsométrica

A continuación, se muestra el cuadro de áreas entre curvas de nivel separadas a 50 m.

Tabla 40

Cuadro de características de áreas entre curvas de nivel

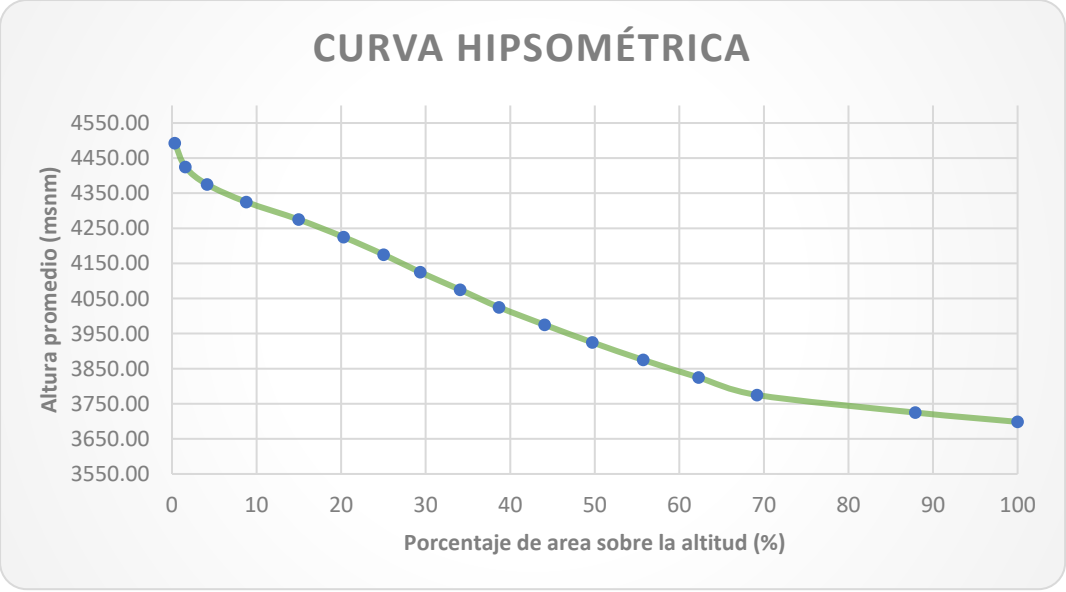
N°	COTA (msnm)			Área (km2)			Área (%)		hi*ai
	Mínima	Máxima	Promedio "hi"	Área Parcial "ai"	Área Acumulada	Área que queda sobre las altitudes	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.	
1	3693.98	3700.00	3698.49	4.80	4.80	39.69	12.09%	100.0	17755.63
2	3700.00	3750.00	3725.00	7.43	12.23	34.89	18.71%	87.9	27671.51
3	3750.00	3799.99	3775.00	2.74	14.97	27.46	6.91%	69.2	10357.64
4	3800.00	3850.00	3825.00	2.60	17.58	24.72	6.56%	62.3	9961.73
5	3850.01	3900.00	3875.00	2.39	19.97	22.12	6.02%	55.7	9261.25
6	3900.00	3950.00	3925.00	2.23	22.20	19.73	5.62%	49.7	8761.34
7	3950.00	4000.00	3975.00	2.14	24.34	17.49	5.39%	44.1	8508.99
8	4000.00	4050.00	4025.00	1.83	26.17	15.35	4.62%	38.7	7373.93
9	4050.00	4099.99	4075.00	1.87	28.04	13.52	4.71%	34.1	7622.15
10	4100.01	4150.00	4125.00	1.72	29.76	11.65	4.32%	29.4	7074.38
11	4150.00	4200.00	4175.00	1.88	31.64	9.94	4.73%	25.0	7845.74
12	4200.00	4249.99	4225.00	2.11	33.75	8.06	5.32%	20.3	8918.05
13	4250.00	4300.00	4275.00	2.46	36.20	5.95	6.19%	15.0	10501.80
14	4300.00	4349.96	4324.98	1.84	38.05	3.49	4.64%	8.8	7972.83
15	4350.01	4400.00	4375.01	1.02	39.07	1.65	2.57%	4.1	4463.87
16	4400.01	4449.96	4424.98	0.49	39.56	0.63	1.25%	1.6	2188.29
17	4450.04	4535.74	4492.89	0.13	39.69	0.13	0.33%	0.3	591.10
Suma				**39.6942**			**100%**		**156830.24**

Nota. Elaboración propia

Su representación gráfica es:

Figura 73

Curva hipsométrica de la cuenca Piuray



Nota. Elaboración propia.

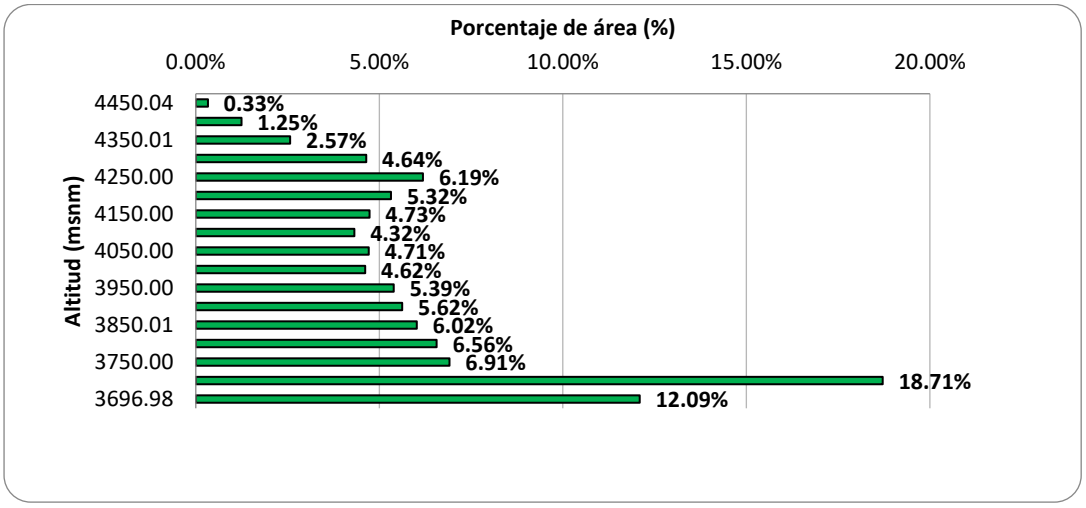
Al observar la forma de la curva en la figura N° 73 puede notarse que, en la parte alta de la cuenca, la pendiente inicial desciende con cierta rapidez; esto ocurre porque el porcentaje de superficie que queda sobre las cotas más elevadas es reducido, lo que da lugar a un tramo más inclinado. Conforme la curva avanza hacia las zonas medias y bajas, la disminución de la altitud relativa se vuelve más gradual, indicando que en estos niveles se concentra una mayor proporción del área total. Por lo tanto, la cuenca Piuray es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).

4.1.3.2. Polígono de frecuencia de altitudes

El polígono de frecuencia para altitudes de rangos 50 m, es:

Figura 74

Polígono de frecuencias de altitudes



Nota. Elaboración propia.

En la figura N° 74 se aprecia que el intervalo con mayor superficie corresponde aproximadamente a los 3700 m.s.n.m., alcanzando cerca del 18.71 % del área total. En contraste, el intervalo más elevado, cercano a los 4450 m.s.n.m., presenta la menor participación, con alrededor de 0.33 %.

Estos valores muestran que la mayor parte de la cuenca se concentra en altitudes bajas y medias, mientras que las zonas altas ocupan una proporción reducida del territorio.

4.1.3.3. Altitud media de la cuenca (Hm)

A partir de la tabla N° 31 la altitud media de la cuenca es:

$$H_m = \frac{156830.238}{39.69}$$

$$H_m = 3950.96\ msnm$$

4.1.3.4. Rectángulo Equivalente

El rectángulo equivalente para la cuenca de estudio es:

- Lado mayor

$$L = \frac{1.99}{1.12}\sqrt{39.69}\left[1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.99})^2}\right]$$

$$L = 20.48\ km$$

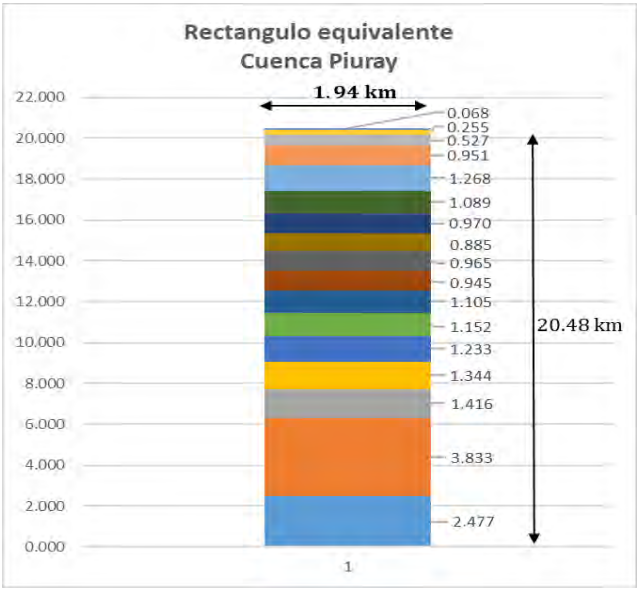
- Lado menor

$$l = \frac{1.99}{1.12}\sqrt{39.69}\left[1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.99})^2}\right]$$

$$l = 1.94\ km$$

Figura 75

Rectángulo equivalente de la cuenca Piuray



Nota. Elaboración propia.

De los cálculos realizados podemos ver como resultado un rectángulo con un lado mayor de 20.48 km y un lado menor de 1.94 km, manteniendo la misma superficie que la cuenca real.

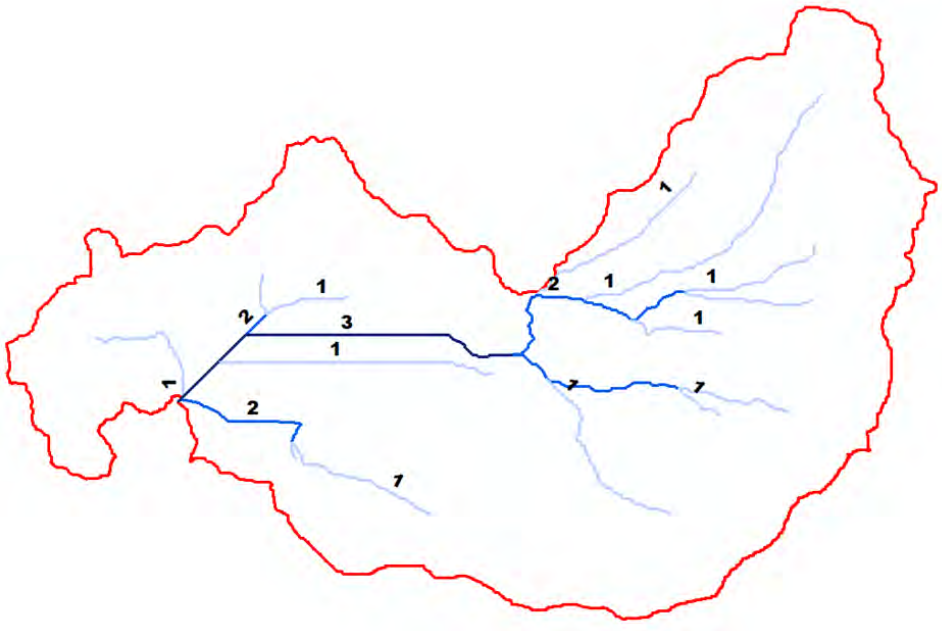
4.1.4. Determinación de los parámetros de Drenaje

4.1.4.1. Número de orden de los causes

El número de orden de los cauces según Straler para la cuenca de estudio es:

Figura 76

Mapa de numero de orden de los causes de la cuenca Piuray



Nota. Elaboración propia

En la cuenca Piuray se identificaron 27 corrientes, distribuidas en tres órdenes:

Tabla 41

Parámetros de drenaje de la red hidrográfica - Cuenca Piuray

	Tipo de corriente	***Cantidad de corrientes***
Número de orden de los ríos	1	14
	2	8
	3	5
Total de corrientes		27
Grado de ramificación		3

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con esta clasificación, la cuenca presenta un grado de ramificación igual a 3, correspondiente al cauce de mayor orden identificado dentro del sistema de drenaje.

4.1.4.2. Densidad de drenaje (Dd)

Como densidad de drenaje para la cuenca se tiene:

$$D_d = \frac{35.17}{39.69}$$

$$D_d = 0.89\ \frac{km}{km2}$$

El valor obtenido fue de 0.89 km/km2, clasificándose como una densidad de drenaje relativamente baja para la cuenca de estudio.

4.1.4.3. Extensión media de escurrimiento superficial (Es)

La extensión media de escurrimiento superficial para la cuenca se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{E_s = \frac{39.69}{4 * 35.17}}$$

$$\boldsymbol{E_s = 0.28\ km}$$

La cuenca presentó una extensión media de escurrimiento superficial de 0.28 km (280m).

4.1.4.4. Tiempo de concentración (Tc)

Los valores obtenidos mediante las ecuaciones de Giandotti, Ven Te Chow, Dooge y Temez se presentan a continuación:

Giandotti:

$$t_{c1} = \frac{4\sqrt{39.69} + 1.5 * 11.16}{0.8\sqrt{842}}$$

$$t_{c1} = 1.81\ horas$$

Ven Te Chow:

$$t_{c2} = 0.213 * (\frac{11.16}{\sqrt{0.075}})^{0.64}$$

$$t_{c2} = 2.28\ horas$$

Dooge:

$$t_{c3} = 0.3 * \frac{39.69^{0.4}}{0.075^{0.1}}$$

$$t_{c3} = 1.69\ horas$$

Temez:

$$t_{c4} = 0.28 * (\frac{11.16}{\sqrt[4]{0.075}})^{0.76}$$

$$t_{c4} = 2.86\ horas$$

Promedio del tiempo de concentración:

$$t_c = \frac{1.81 + 2.28 + 1.69 + 2.86}{4}$$

$$t_c = 2.11\ horas$$

El tiempo de concentración promedio obtenido para la cuenca fue de 2.11 horas

4.1.5. Resumen de los parámetros de la cuenca de estudio

Tabla 42

Parámetros morfológicos de la cuenca Piuray

Parámetros	Símbolo	Valor	Und.
Parámetros fisiográficos:			
Área de drenaje	A	39.69	Km2
Perímetro	P	44.53	Km
Longitud axial de la cuenca	La	11.16	Km
Ancho promedio	Ap	3.56	Km
Factor de forma	Ff	0.32	
Índice de Gravelius	Kc	1.99	
Parámetros geomorfológicos:			
Altitud máxima de la cuenca	Hmax	4535.00	msnm
Altitud mínima de la cuenca	Hmin	3693.00	msnm
Altitud media de la cuenca	Hm	3950.96	msnm
Lado mayor del rectángulo equivalente	L	20.48	km
Lado menor del rectángulo equivalente	l	1.94	km

Parámetros de drenaje:			
Número de orden de los causes	°	3.00	orden
Densidad de drenaje	Dd	0.89	km/km2
Extensión media del escurrimiento superficial.	Es	0.28	km
Tiempo de concentración	Tc	2.11	horas

4.2. Resultados del análisis hidrometeorológico e hidrológico

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del análisis de la información meteorológica e hidrológica de la cuenca Piuray, así como de la simulación hidrológica realizada y de la evaluación de escenarios de cambio climático para el período de estudio.

4.2.1. Resultados del análisis de la precipitación histórica (1981-2024)

4.2.1.1. Procesamiento de información de precipitación

La Tabla 42 presenta las estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de la precipitación en la cuenca Piuray. Se incluyen su ubicación geográfica, altitud y coordenadas, información que permitió caracterizar espacialmente la distribución de las estaciones consideradas en el estudio.

Tabla 43

Ubicación de las Estaciones Meteorológicas - Precipitación

ESTACIÓN	DPTO.	PROV.	DISTRITO	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
Granja Kayra	Cusco	Cusco	San Jeronimo	3219	-13.556861	-71.874944
Perayoc	Cusco	Cusco	Cusco	3365	-13.516944	-71.950278
Pisac	Cusco	Calca	Pisac	2950	-13.415833	-71.849444
Urubamba	Cusco	Urubamba	Urubamba	2863	-13.323111	-72.129117
Ancachuro	Cusco	Anta	Zurite	3340	-13.415000	-71.974722
Calca	Cusco	Calca	Calca	2926	-13.333333	-71.950000
Chitapampa	Cusco	Urubamba	Chinchero	3298	-13.468056	-72.215556

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y UNSAAC

4.2.1.2. Análisis estadístico descriptivo de la precipitación

Se presentan los estadísticos descriptivos de las series históricas de precipitación correspondientes a las siete estaciones meteorológicas consideradas en el estudio. Los resultados incluyen medidas de tendencia central y dispersión que permiten caracterizar el comportamiento de la precipitación en el área de estudio.

4.2.1.2.1. Estadísticos descriptivos de las estaciones de precipitación

La Tabla 43 presenta los principales estadísticos descriptivos de las series de precipitación de las estaciones meteorológicas analizadas. Se incluyen la media, mediana, varianza, desviación estándar, valores mínimo y máximo registrados durante el período de estudio.

Tabla 44

Resumen Estadístico para Precipitación de cada estación obtenido de Statgraphics Centurion V 18

ESTACIÓN	Promedio	Mediana	Varianza	Desv. Estándar	Minimo	Maximo
Granja Kayra	57.2674	38.75	3320.090	57.2020	0	268.600
Perayoc	67.1959	48.635	4602.252	67.8399	0	339.100
Pisac	46.6185	25.280	2706.270	52.0218	0	276.410
Urubamba	40.2685	26.000	1755.310	41.8964	0	188.200
Ancachuro	61.2002	40.236	3873.230	62.2353	0	391.917
Calca	47.0022	37.170	2158.340	46.4580	0	202.900
Chitapampa	55.4309	38.830	3201.140	56.5786	0	296.100

Nota. *Nota.* Tomado de STATGRAFHICS

Los resultados muestran diferencias entre las estaciones meteorológicas respecto a la precipitación media mensual. La estación Perayoc registró el mayor promedio (67.20 mm), mientras que Urubamba presentó el menor (40.27 mm). Asimismo, las desviaciones estándar fueron elevadas en todas las estaciones, evidenciando una importante variabilidad temporal de la precipitación.

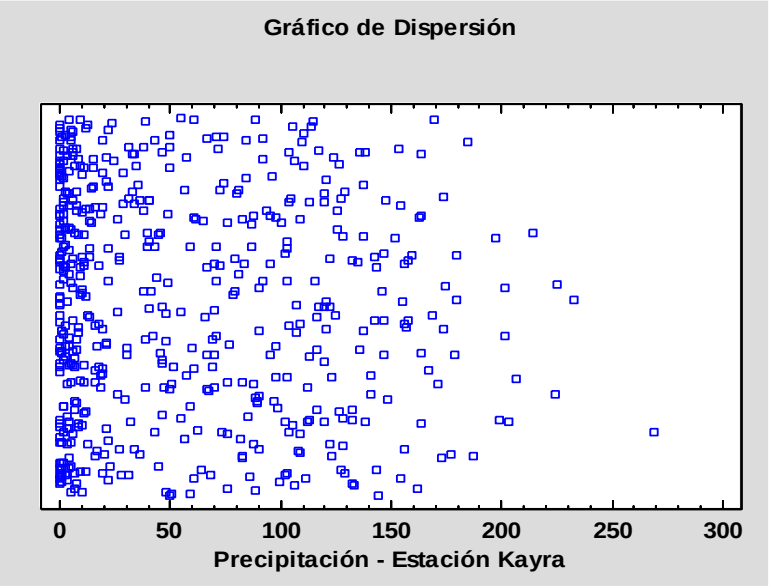
4.2.1.2.2. Análisis gráfico de la precipitación

Las Figuras 77 a 90 presentan los gráficos de dispersión y diagramas de caja correspondientes a las siete estaciones meteorológicas analizadas, permitiendo visualizar la distribución de los registros de precipitación y la presencia de valores atípicos.

Análisis visual gráfico de la estación Kayra

Figura 77

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Calca.

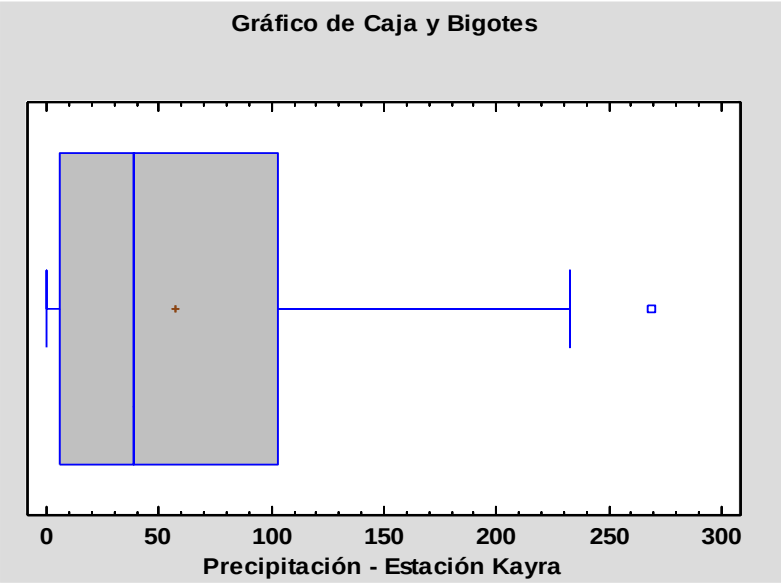


Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Kayra muestra una alta concentración de registros en valores bajos de precipitación, principalmente por debajo de los 50 mm, evidenciando que estos eventos son los más frecuentes durante el período analizado. Conforme aumenta la magnitud de la precipitación, la frecuencia de ocurrencia disminuye considerablemente, observándose un menor número de registros por encima de los 150 mm. Asimismo, se identifican algunos eventos aislados con precipitaciones superiores a los 250 mm, los cuales corresponden a episodios extraordinarios de lluvia. En conjunto, la distribución de los datos refleja una marcada variabilidad temporal y una tendencia asimétrica hacia valores altos de precipitación, comportamiento característico de las series hidrometeorológicas de la región andina.

Figura 78

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Kayra.



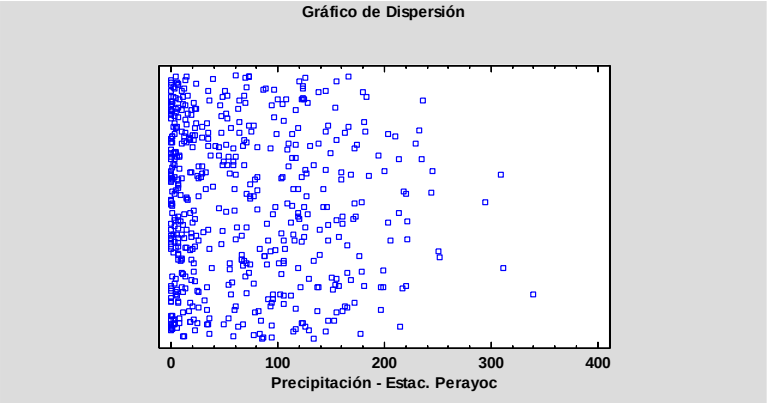
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Kayra muestra que la mayor parte de los registros se concentra en valores relativamente bajos, presentando una dispersión moderada dentro del rango intercuartílico. La media se ubica por encima de la mediana, lo que evidencia una distribución asimétrica positiva, influenciada por eventos de precipitación elevados. Asimismo, se identifica un valor atípico superior, asociado a un episodio extraordinario de lluvia; sin embargo, la ausencia de valores extremadamente atípicos indica que la serie presenta un comportamiento consistente y representativo para su utilización en los análisis hidrológicos y climáticos posteriores.

Análisis visual gráfico de la estación Perayoc

Figura 79

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Perayoc.

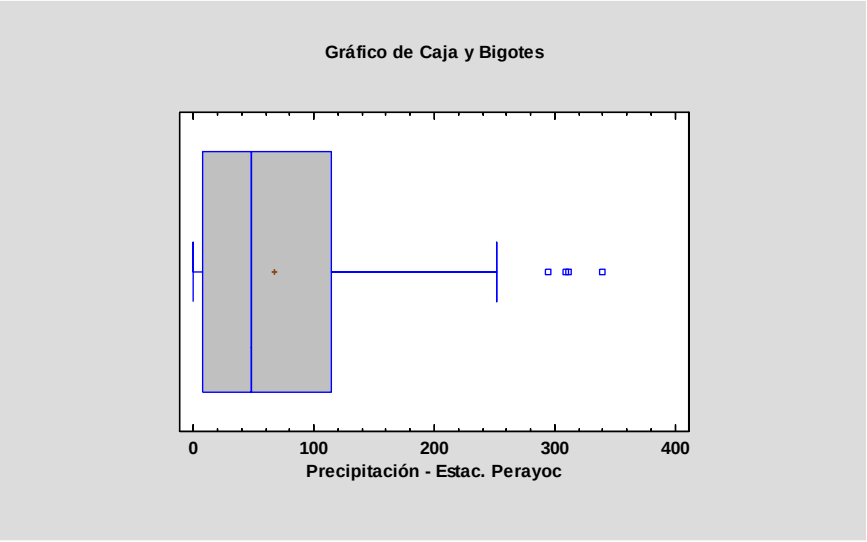


Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Perayoc evidencia una alta concentración de registros en rangos bajos y moderados de precipitación, observándose una mayor frecuencia de valores inferiores a 100 mm. Asimismo, se identifican algunos eventos aislados con precipitaciones superiores a 200 mm e incluso cercanas a 350 mm, los cuales representan eventos extraordinarios dentro de la serie histórica. La distribución de los puntos muestra una marcada variabilidad temporal de la precipitación y una asimetría positiva, característica de las series pluviométricas, donde predominan los periodos de baja precipitación y ocurren ocasionalmente eventos de lluvia de gran magnitud.

Figura 80

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Perayoc.



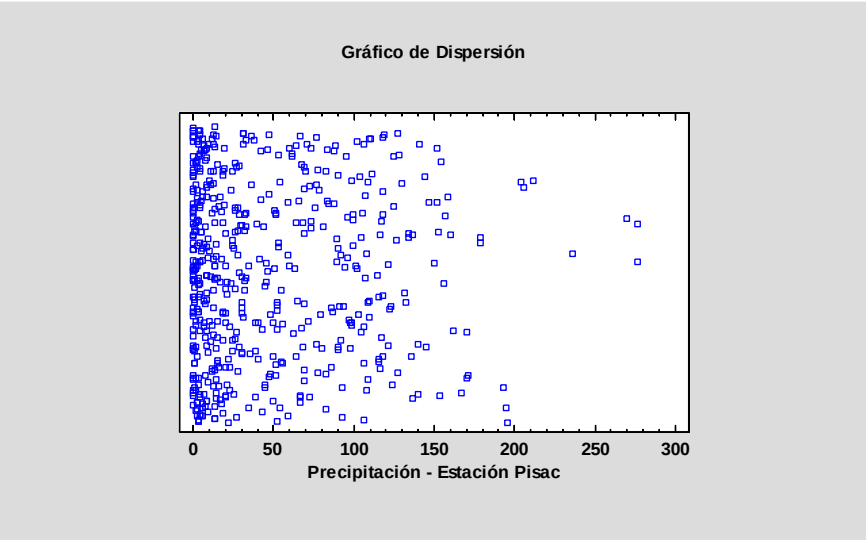
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Perayoc evidencia una distribución asimétrica positiva, caracterizada por una mayor concentración de registros en rangos bajos y moderados de precipitación, en este caso, hay 4 puntos alejados, pero no hay puntos muy alejados. El rango intercuartílico muestra una dispersión moderada de los datos centrales, mientras que la longitud del bigote superior indica la presencia de eventos de precipitación significativamente mayores al comportamiento habitual de la serie. Asimismo, se identifican cuatro valores atípicos superiores, los cuales corresponden a eventos extraordinarios de precipitación que exceden el patrón general de los registros históricos. Sin embargo, la ausencia de valores extremadamente atípicos sugiere que dichos eventos, aunque poco frecuentes, forman parte de la variabilidad natural del régimen pluviométrico de la estación. En conjunto, la serie presenta una alta heterogeneidad temporal, propia de las precipitaciones en cuencas andinas.

Análisis visual gráfico de la estación Pisac

Figura 81

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Pisac.



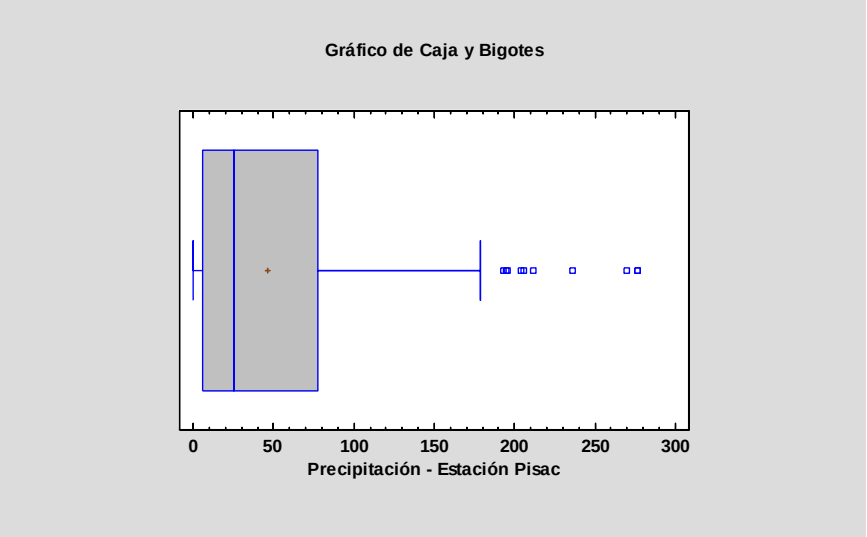
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Pisac muestra una alta concentración de registros en valores bajos de precipitación,

principalmente por debajo de los 50 mm, indicando que estos eventos son los más frecuentes durante el período analizado. A medida que aumenta la magnitud de la precipitación, la cantidad de observaciones disminuye progresivamente, evidenciando una distribución asimétrica positiva. Asimismo, se observan algunos eventos aislados con precipitaciones superiores a 200 mm e incluso cercanas a 300 mm, los cuales corresponden a eventos extraordinarios de lluvia. En general, la dispersión de los datos refleja la variabilidad característica del régimen pluviométrico de la estación Pisac, donde predominan precipitaciones de baja a moderada intensidad con ocurrencia ocasional de eventos extremos.

Figura 82

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Pisac.



Nota. Tomado de STATGRAFHICS

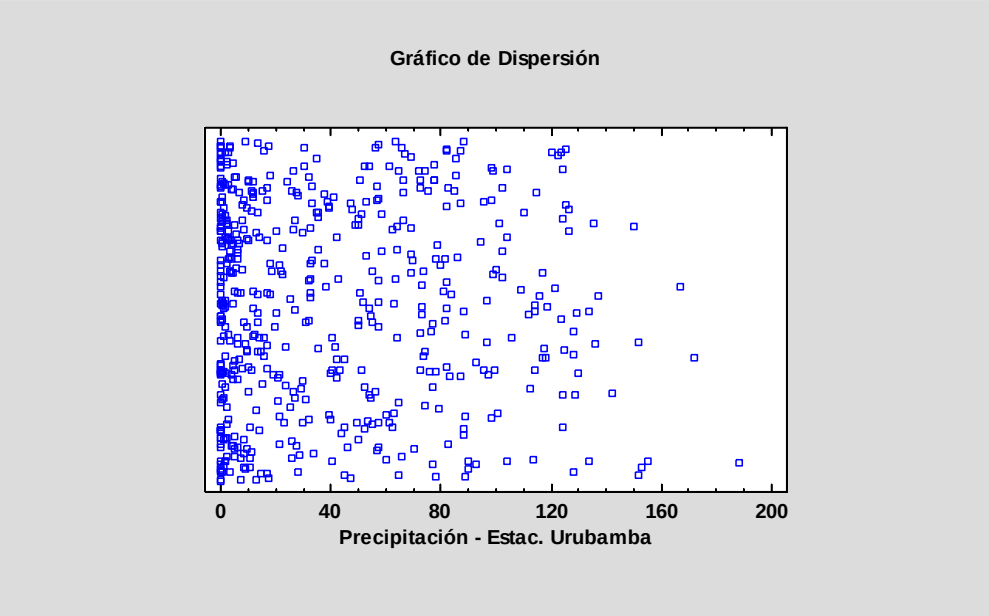
Interpretación: El diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Pisac muestra una distribución asimétrica positiva, con una mayor concentración de registros en valores bajos y moderados de precipitación. El rango intercuartílico indica que la mitad central de los datos se encuentra en un intervalo relativamente estrecho, mientras que el bigote superior es considerablemente más largo que el inferior, lo que refleja la ocurrencia de eventos de precipitación de mayor magnitud. Además, se identifican 10 puntos alejados (valores atípicos superiores), los cuales corresponden a eventos extraordinarios que exceden el

comportamiento habitual de la serie. Sin embargo, no se presentan puntos muy alejados, lo que sugiere que, aunque estos eventos son poco frecuentes, no alcanzan magnitudes extremas fuera del patrón de variabilidad observado. En conjunto, la serie presenta una alta variabilidad temporal y la presencia de precipitaciones intensas ocasionales, características típicas del régimen pluviométrico de la zona.

Análisis visual gráfico de la estación Urubamba

Figura 83

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Urubamba.



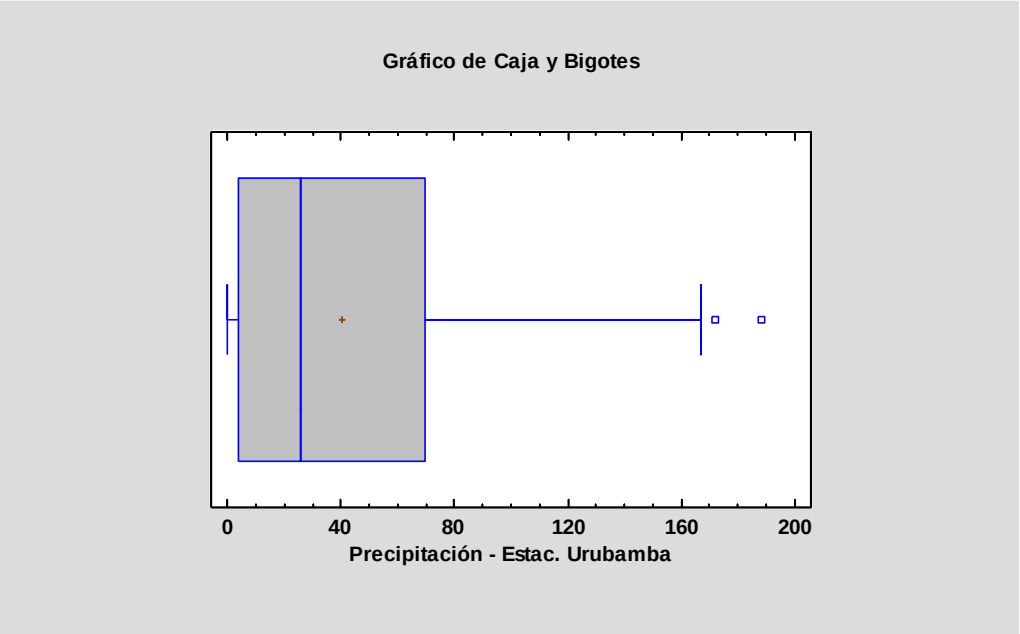
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Urubamba muestra una mayor concentración de registros en valores inferiores a 40 mm, evidenciando que las precipitaciones de baja intensidad son las más frecuentes durante el período de análisis. Asimismo, se observa una dispersión progresiva de los datos conforme aumenta la precipitación, alcanzando valores cercanos a 190 mm en algunos eventos aislados. La distribución de los puntos presenta una asimetría positiva, característica de las series pluviométricas, donde predominan precipitaciones bajas y moderadas, mientras que los eventos de lluvia intensa ocurren con menor frecuencia. En conjunto, los resultados reflejan la

variabilidad temporal propia del régimen de precipitaciones de la estación Urubamba y la presencia ocasional de eventos pluviométricos significativos.

Figura 84

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Urubamba.



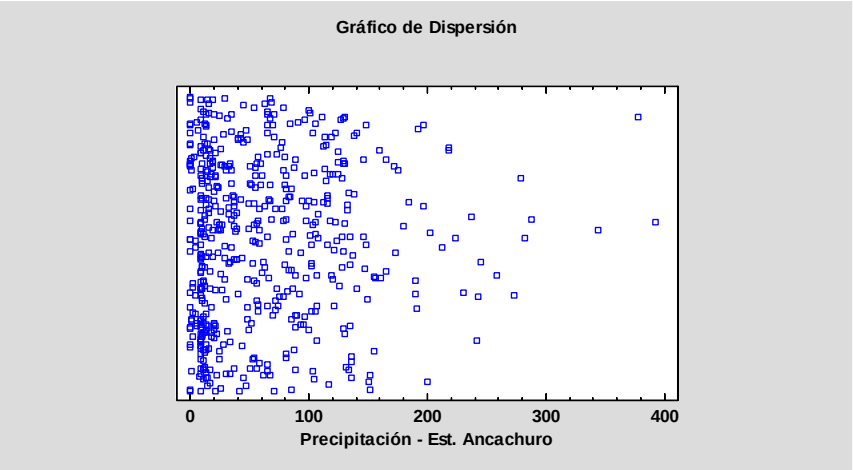
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Urubamba muestra una distribución asimétrica positiva, con predominio de precipitaciones bajas y moderadas. Se identifican 2 valores atípicos superiores (puntos alejados), asociados a eventos de lluvia poco frecuentes de mayor intensidad. Sin embargo, no se presentan puntos muy alejados, lo que indica que la serie mantiene un comportamiento consistente dentro de la variabilidad natural de la estación.

Análisis visual gráfico de la estación Ancachuro

Figura 85

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Ancachuro.

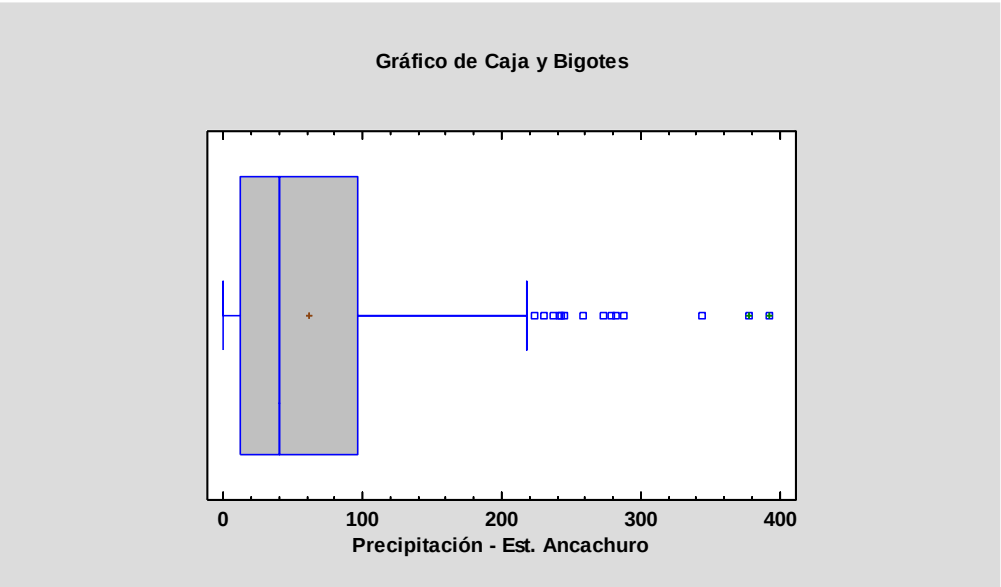


Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Ancachuro muestra una mayor concentración de registros en valores bajos y moderados de precipitación, principalmente por debajo de los 150 mm. Asimismo, se observan algunos eventos aislados que alcanzan valores superiores a 300 mm, evidenciando la ocurrencia ocasional de precipitaciones de alta intensidad. En general, la distribución de los datos refleja una variabilidad temporal considerable en el régimen pluviométrico de la estación.

Figura 86

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Ancachuro.



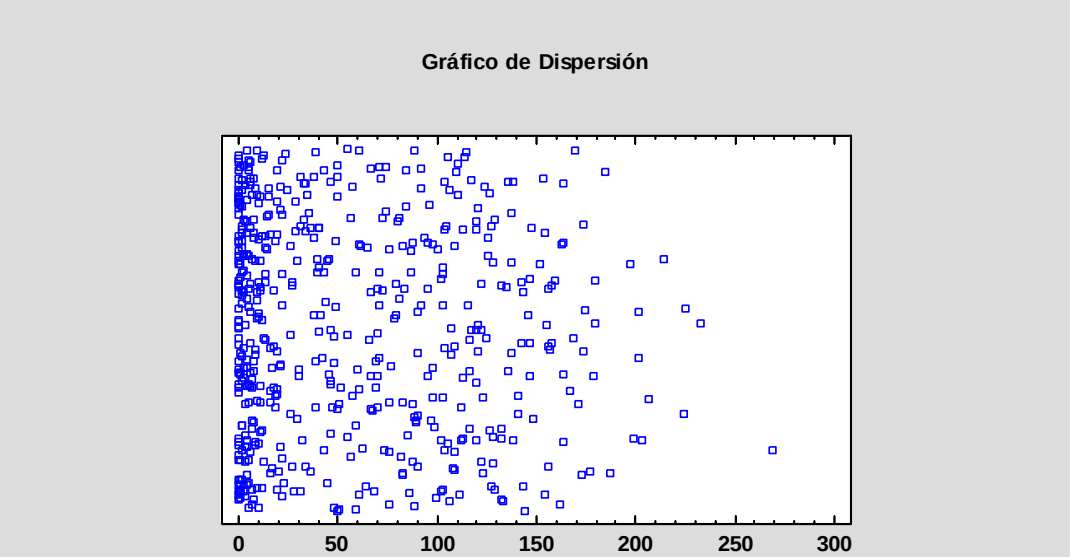
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Ancachuro muestra una distribución asimétrica positiva, con predominio de precipitaciones bajas y moderadas. Se identifican 13 valores atípicos superiores (puntos alejados), asociados a eventos de lluvia de alta intensidad; sin embargo, no se observan puntos muy alejados, lo que indica que dichos eventos forman parte de la variabilidad natural de la serie histórica.

Análisis visual gráfico de la estación Calca

Figura 87

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Calca.

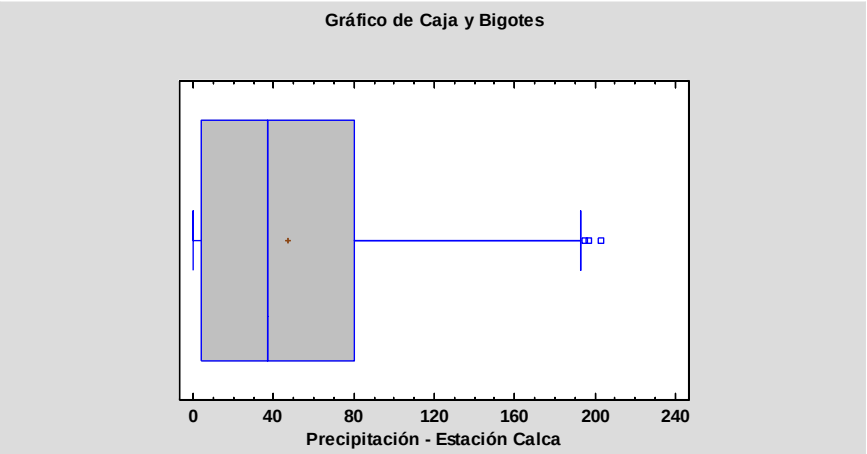


Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Calca muestra una mayor concentración de registros en valores bajos y moderados, principalmente por debajo de los 100 mm. Asimismo, se observan algunos eventos aislados que alcanzan valores cercanos a 300 mm, evidenciando la ocurrencia ocasional de precipitaciones intensas. En general, la serie presenta una variabilidad temporal moderada, característica del régimen pluviométrico de la estación.

Figura 88

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Calca.



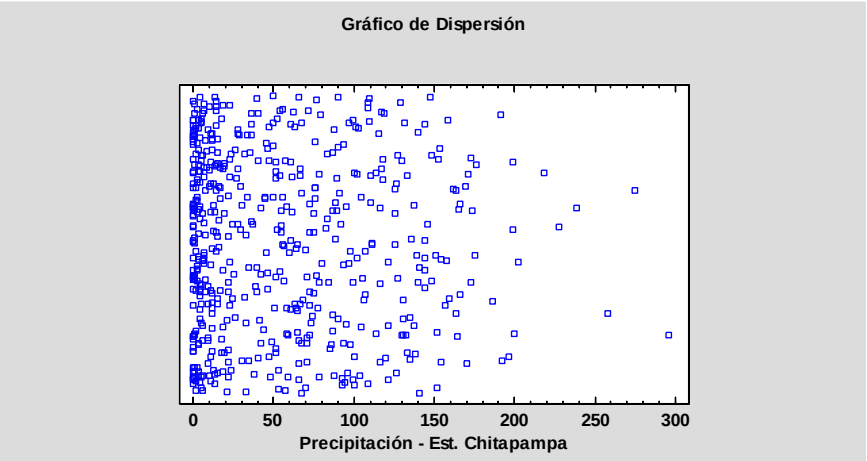
Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El diagrama de caja y bigotes muestra que la precipitación mensual en la estación Calca presenta una alta variabilidad. La mayoría de los valores se concentran en niveles bajos y moderados, mientras que existen algunos meses con precipitaciones muy altas (cercanas a 200 mm), considerados valores atípicos. Además, la distribución está inclinada hacia la derecha, lo que indica que los eventos de lluvia intensa ocurren con menor frecuencia, pero aumentan el promedio de precipitación. En este caso, hay 3 puntos alejados, pero no hay puntos muy alejados.

Análisis visual gráfico de la estación Chitapampa

Figura 89

Grafico de dispersión de la precipitación mensual de la estación Chitapampa.

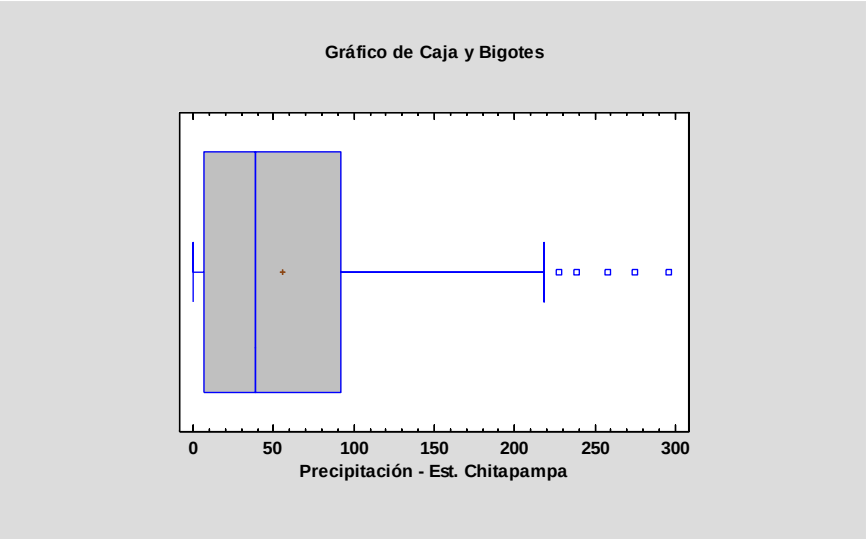


Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El gráfico de dispersión de la precipitación mensual en la estación Chitapampa evidencia una alta variabilidad en los registros de lluvia. Se observa una mayor concentración de datos en valores bajos y moderados de precipitación, mientras que los valores más elevados aparecen con menor frecuencia y de forma dispersa. Esta distribución sugiere que la mayor parte de los meses presentan precipitaciones relativamente reducidas, intercaladas con algunos eventos de lluvia intensa. Asimismo, la presencia de valores extremos cercanos a 300 mm indica episodios excepcionales de precipitación que incrementan la amplitud del conjunto de datos y reflejan una marcada irregularidad en el régimen pluviométrico de la estación.

Figura 90

Diagrama de caja y bigotes de la precipitación mensual de la estación Chitapampa.



Nota. Tomado de STATGRAFHICS

Interpretación: El diagrama de caja y bigotes muestra que la precipitación mensual en la estación Chitapampa presenta una amplia dispersión de datos. La mayoría de los meses registran precipitaciones bajas a moderadas, pero existen varios valores atípicos con precipitaciones muy altas (superiores a 200 mm). Esto indica que las lluvias intensas ocurren en pocos meses y que la distribución de los datos está sesgada hacia la derecha. En este caso, hay 5 puntos alejados, pero no hay puntos muy alejados.

Síntesis del análisis estadístico de precipitación

La Tabla 44 presenta una síntesis de los principales estadísticos descriptivos de las series de precipitación analizadas en las siete estaciones meteorológicas. Los indicadores de media, desviación estándar, sesgo estandarizado y curtosis estandarizada fueron obtenidos mediante el software Statgraphics Centurion V.18, permitiendo evaluar la tendencia central, la variabilidad y las características de la distribución de los datos de precipitación dentro del área de estudio.

Tabla 45

Síntesis del análisis estadístico de precipitación obtenido de Statgraphics Centurion V 18

ESTACIÓN	Media	Desv. Estándar	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
Granja Kayra	57.2674	57.2020	7.98246	-0.91483<
Perayoc	67.1959	67.8399	-2.72992	2.23649
Pisac	46.6185	52.0218	13.0602	8.92406
Urubamba	40.2685	41.8964	-5.56214	-1.53145
Ancachuro	61.2002	62.2353	15.7506	18.2889
Calca	47.0022	46.4580	8.37016	0.237892
Chitapampa	55.4309	56.5786	10.2174	3.63259

Nota. Tomado y adaptado de STATGRAFHICS

El análisis estadístico descriptivo realizado mediante el software Statgraphics permitió caracterizar el comportamiento de la precipitación mensual en las siete estaciones meteorológicas consideradas dentro del área de estudio. Los resultados muestran una variabilidad importante entre estaciones, evidenciada por las diferencias observadas en las precipitaciones medias mensuales, las cuales fluctúan entre 40.27 mm en la estación Urubamba y 67.20 mm en la estación Perayoc. Asimismo, las desviaciones estándar presentan valores cercanos a las medias respectivas, indicando una elevada dispersión de los registros y una marcada variabilidad temporal de las precipitaciones.

Respecto a la forma de las distribuciones, la mayoría de las estaciones presentan valores de sesgo estandarizado fuera del intervalo de aceptación (-2 a +2), evidenciando distribuciones asimétricas y alejadas de la normalidad. Las estaciones Granja Kayra, Pisac, Ancachuro, Calca y Chitapampa muestran asimetría positiva significativa, indicando que predominan precipitaciones bajas y moderadas, acompañadas de eventos ocasionales de alta magnitud. Por otro lado, las estaciones Perayoc y Urubamba presentan asimetría negativa, lo que refleja un comportamiento diferenciado de la distribución de sus registros.

En cuanto a la curtosis estandarizada, las estaciones Pisac, Ancachuro, Perayoc y Chitapampa presentan valores superiores al rango de aceptación, evidenciando distribuciones con una concentración importante de datos y presencia de eventos extremos. En contraste, las estaciones Granja Kayra, Urubamba y Calca presentan valores de curtosis dentro de los límites aceptables, indicando distribuciones más próximas a un comportamiento normal.

En términos generales, los resultados reflejan que las precipitaciones presentan una alta variabilidad espacial y temporal dentro de la cuenca, influenciada por factores como la altitud, topografía y ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas. Estas características justifican la necesidad de realizar procesos de regionalización climática y constituyen una base sólida para la modelación hidrológica y la evaluación de escenarios de cambio climático desarrollados en la presente investigación.

4.2.1.3. Análisis de consistencia de precipitación

Con el fin de garantizar la consistencia de la información pluviométrica utilizada en la modelación hidrológica, se presentan los resultados del proceso de completación y evaluación de consistencia de las series históricas de precipitación correspondientes a las estaciones meteorológicas seleccionadas con HEC-4.

4.2.1.3.1. Análisis visual gráfico de precipitación

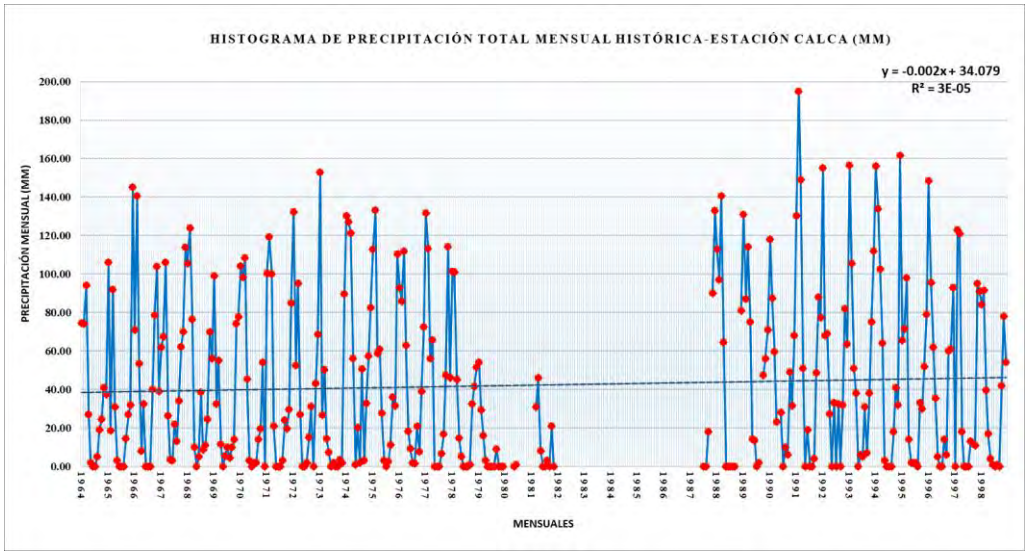
Análisis Visual Gráfico de Precipitación: Estación Calca

a. Precipitación en la Estación Calca (Datos Incompletos)

La Figura 91 presenta la distribución de la precipitación mensual registrada en la estación Calca antes del proceso de completación. Se observan vacíos de información y variaciones en la continuidad de la serie histórica.

Figura 91

Histograma de la distribución de la precipitación mensual con datos incompletos - Estación Calca



Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

4.2.1.3.2. Completación de datos de precipitación histórica

La Figura 92 muestra la información utilizada durante el proceso de completación de las series históricas de precipitación. Como resultado se obtuvo una base de datos continua para las siete estaciones meteorológicas, utilizada posteriormente en la modelación hidrológica.

Figura 92

Datos de entrada de las 7 estaciones para HEC4

```
A    PROYECTO DE TESIS 2024                                                  11
A    COMPLETACION PRECIPITACIÓN MAXIMA DE 24 HORAS (mm)
A    KAYRA {H101}, PERAYOC {H102} BACH. ARTURO AND FRANK
B   1964       1       1      61       0       2       1       0       0        0
C      0       0       0       0       1    2024       1    2024       0        1
H1011964    -1    -1    -1    -1    -1    -1    -1    -1    -1    -1    -1    -1
H1011965  1264  1287  1186  1122   961   813   830   957  1131  1338  1354  1327
H1011966  1313  1327  1249  1126   981   883   876  1028  1139  1283  1335  1270
H1011967  1293  1313  1255  1161  1074   870   810   974  1154  1225  1272  1250
H1011968  1226  1280  1205  1076   880   860   824  1043  1162  1266  1293  1302
H1011969  1256  1307  1337  1199  1056   935   878   956  1148  1317  1314  1300
H1011970  1308  1330  1244  1203  1008   924   792   981  1122  1288  1288  1222
H1011971  1257  1208  1203  1075   968   878   858  1032  1165  1212  1299  1238
H1011972  1243  1280  1262  1233  1037   904   963   991  1107  1321  1389  1382
H1011973  1347  1408  1372  1243  1046   935   924  1080  1195  1373  1388  1314
H1011974  1246  1289  1319  1176  1008   885   845   894  1133  1261  1298  1283
H1011975  1197  1242  1243  1192  1031   889   828   991  1133  1247  1292  1267
H1011976  1268  1281  1241  1138   980   909   926   977  1113  1353  1321  1360
H1011977  1351  1265  1310  1194  1029   872   917  1046  1229  1320  1346  1329
H1011978  1294  1361  1329  1198  1077   918   820   914  1196  1293  1371  1365
H1011979  1326  1338  1278  1176  1074   954   925  1075  1319  1352  1418  1387
H1011980  1403  1379  1333  1130  1025   985   903  1127  1185  1345  1397  1403
H1011981  1334  1333  1328  1125  1097   886   889   938  1085  1300  1400  1317
H1011982  1355  1356  1332  1216   973   930   985  1076  1211  1355  1363  1398
H1011983  1475  1446  1450  1362  1162  1059  1050  1164  1200  1334  1391  1343
H1011984  1290  1296  1332  1258  1121   980   939  1059  1194  1275  1322  1339
H1011985  1355  1261  1354  1247  1069   871   852  1069  1186  1303  1307    -1
H1011986  1352  1359  1309  1258  1051   925   930  1127  1233  1300  1359  1422
```

Para cada estación, se seleccionaron las estaciones auxiliares con mayor grado de correlación ($r > 0.8$), priorizando aquellas ubicadas dentro de la misma subcuenca o con condiciones pluviométricas similares. El proceso fue iterativo, verificándose los resultados mediante indicadores estadísticos de ajuste como el coeficiente de correlación (r) y el error cuadrático medio (RMSE), con el fin de asegurar la calidad y coherencia de las series completadas.

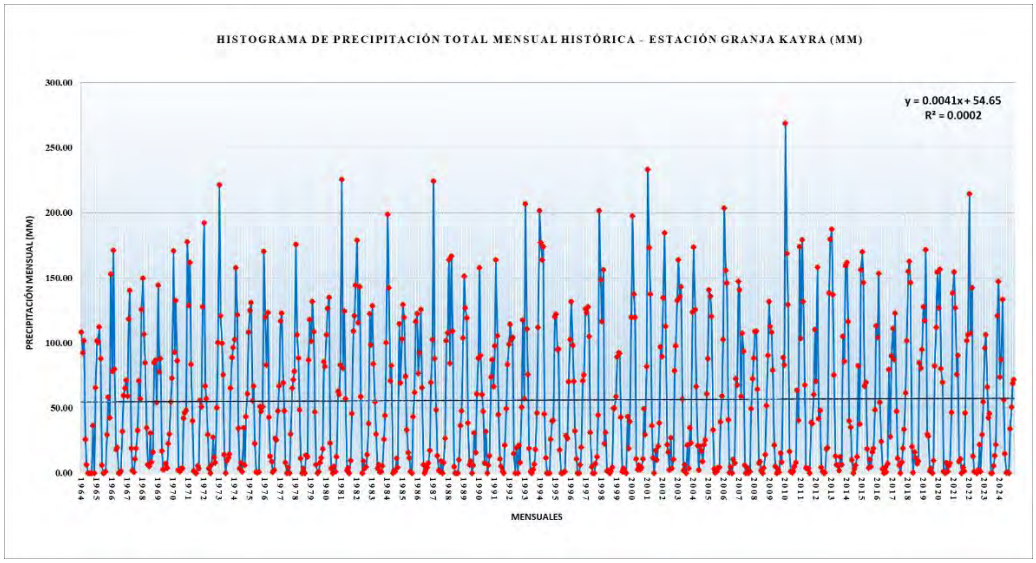
El resultado final fue una base de datos histórica de precipitación completa y homogénea para el periodo de estudio, la cual constituye la información de entrada para las etapas de corrección de sesgo, evaluación de modelos climáticos y simulación hidrológica mediante SWAT.

b. Precipitación en la Estación Granja Kayra (Datos Completados)

El diagrama con información completa para la Estación Granja Kayra muestra la secuencia de lluvia mensual tras la corrección de vacíos y anomalías. De esta manera, se puede visualizar de manera más exacta la tendencia general de las precipitaciones en la estación sin distorsiones por falta de datos.

Figura 93

Histograma de la distribución de la precipitación mensual con datos Completos - Estación Granja Kayra



Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En la figura 93 Los datos se han completado de forma consistente, la serie de lluvias mensuales muestra un comportamiento estacional significativo, con la mayor concentración de lluvias durante los meses húmedos. Se notan picos excepcionales de lluvia en ciertos meses, evidenciando una notable variabilidad interanual. No se detecta una tendencia a largo plazo establecida, lo que señala un cambio mínimo en la precipitación media anual. La ausencia de una tendencia marcada indica que los ciclos de lluvias intensas no están incrementándose o reduciéndose de manera significativa con el transcurso de las décadas.

4.2.1.3.3. Análisis de doble masa

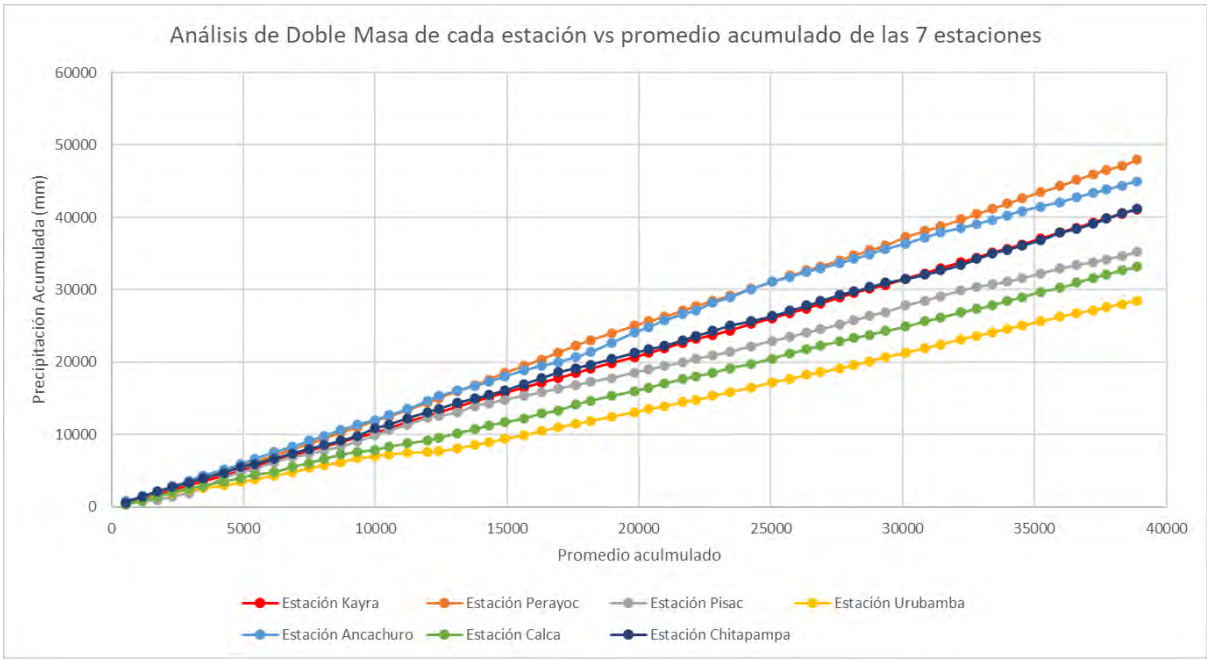
Las Figuras 94 y 95 presentan el análisis de consistencia mediante curvas de doble masa. Se observa que la estación Granja Kayra presenta el comportamiento más uniforme entre las estaciones analizadas, razón por la cual fue considerada como estación de referencia para la evaluación de consistencia.

Selección de la estación base:

La Estación Granja Kayra es elegida como la estación base por su menor número de quiebres, lo que ofrece una base más sólida para contrastar con las otras estaciones.

Figura 94

Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de la Precipitación Total Mensual en Siete Estaciones Meteorológicas

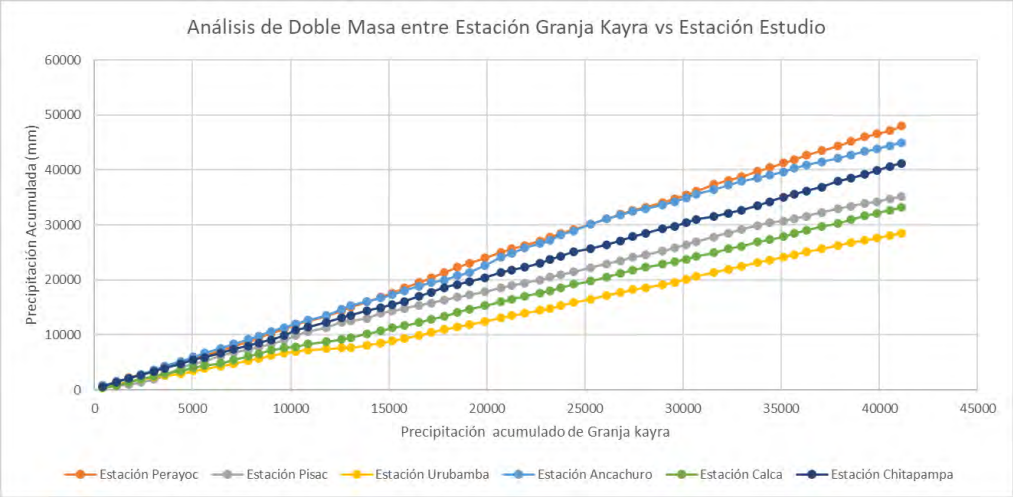


Nota. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

En la Figura 94 se observa que la estación Granja Kayra presenta el comportamiento más uniforme entre las estaciones analizadas, evidenciando una menor cantidad de quiebres y cambios de pendiente respecto a las demás series. Por esta razón, fue seleccionada como estación de referencia para la evaluación de consistencia de los registros de precipitación.

Figura 95

Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de la Precipitación Total Mensual de la estación Granja Kayra(base) entre las demás Estaciones Meteorológicas



Nota. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

La Figura 95 muestra la comparación de las curvas de doble masa entre la estación Granja Kayra y las demás estaciones meteorológicas. En términos generales, las series presentan un comportamiento consistente, observándose únicamente desviaciones importantes en la estación Ancachuro, la cual requirió un ajuste para corregir inconsistencias identificadas en los registros históricos. Las series corregidas fueron utilizadas posteriormente en el análisis hidrológico de la cuenca.

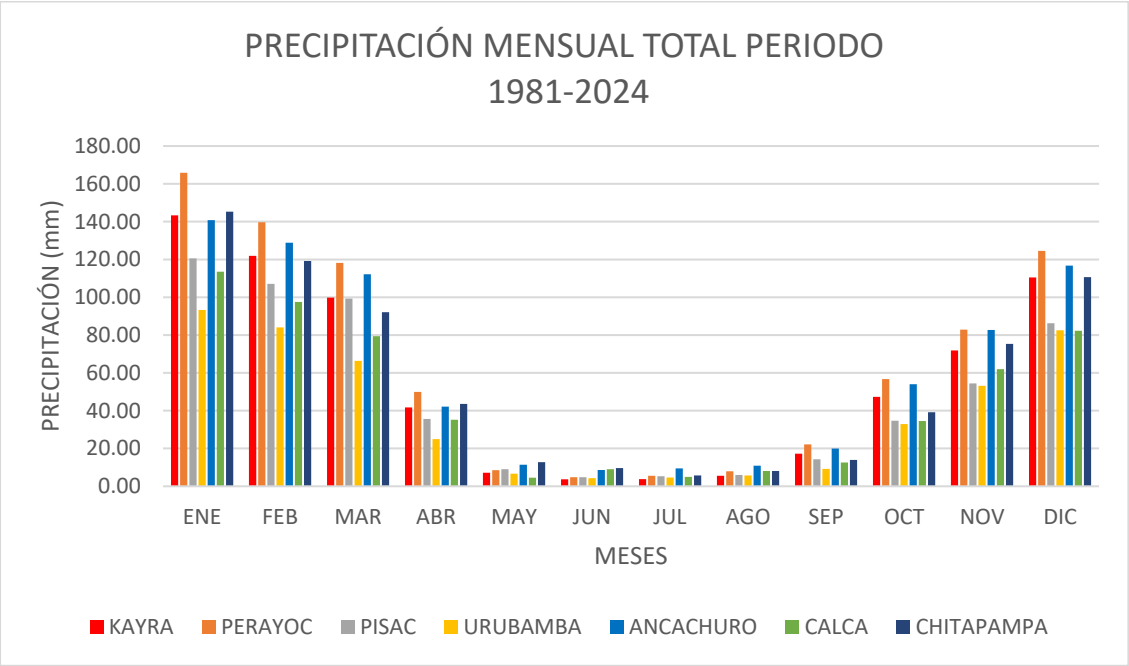
Nota: La Estación Anta Ancachuro fue ajustada ya que contaba con múltiples errores en sus datos, lo cual impactaba la coherencia de la serie de tiempo. (Examinar las tablas de datos corregidos en el Anexo 14).

4.2.1.3.1. Precipitación Mensual del Periodo 1981 - 2024

La Figura 96 presenta la distribución mensual de la precipitación registrada en las siete estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio durante el período 1981-2024.

Figura 96

Gráfico de la distribución de Precipitación de las siete Estaciones Meteorológicas



Nota. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

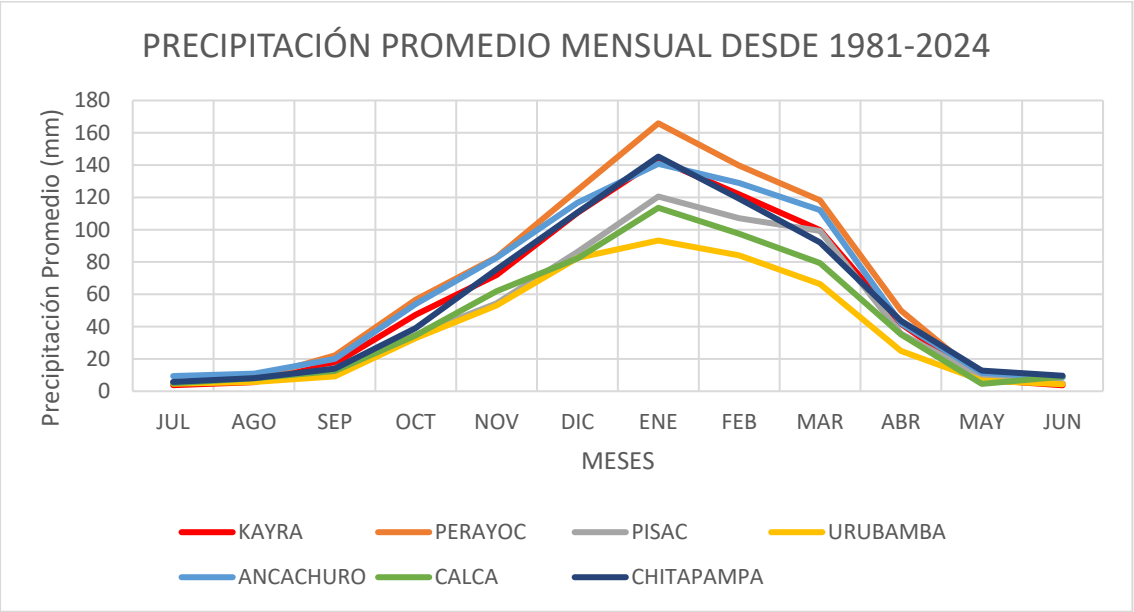
Se observa un comportamiento estacional claramente definido en todas las estaciones, con mayores precipitaciones entre los meses de diciembre y marzo, correspondientes a la temporada de lluvias, mientras que entre mayo y agosto se registran los menores valores de precipitación. Asimismo, se aprecia variabilidad en la magnitud de las precipitaciones entre estaciones, asociada a las diferencias de altitud y ubicación dentro de la cuenca y su área de influencia.

4.2.1.3.2. Análisis de la Variabilidad Temporal de la Precipitación y Estacionalidad en la Cuenca (1981-2024)

La Figura 97 presenta la distribución promedio mensual de la precipitación correspondiente al período 1981-2024, obtenida a partir de las siete estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Figura 97

Distribución de la Precipitación promedio total de todas las Estaciones.



Nota. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

Se evidencia un comportamiento estacional claramente definido en la cuenca Piuray. Entre los meses de noviembre y marzo se concentra aproximadamente entre el 65 % y el 75 % de la precipitación anual, correspondiendo al período de lluvias. En contraste, durante la estación seca, comprendida entre mayo y agosto, se registra menos del 5 % de la precipitación anual, mientras que los meses de transición (abril, septiembre y octubre) aportan aproximadamente entre el 15 % y el 20 % del total anual. Estos resultados muestran que la disponibilidad hídrica de la cuenca depende principalmente de las precipitaciones registradas durante la temporada húmeda.

4.2.1.3.3. Regionalización de la Precipitación

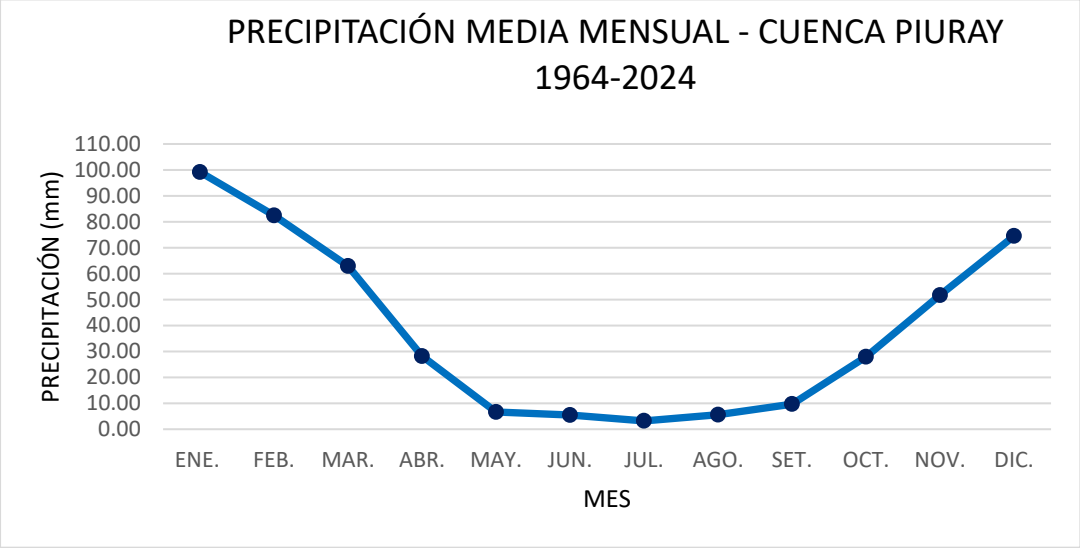
La regionalización de la precipitación en la cuenca Piuray se realizó mediante el método de ponderación por distancia, también conocido como método del U.S. National Weather Service (NWS) o método de la inversa de la distancia. Este procedimiento permitió estimar la precipitación media representativa de la cuenca a partir de los registros de siete estaciones

meteorológicas cercanas, asignando mayor ponderación a aquellas ubicadas a menor distancia del área de estudio.

Para ello se calcularon los factores de ponderación correspondientes a cada estación, obteniéndose una serie mensual representativa de precipitación para el período de estudio. Esta serie fue utilizada posteriormente como información de entrada para la modelación hidrológica mediante ArcSWAT.

Figura 98

Precipitación media mensual en la cuenca Piuray a partir de las estaciones meteorológicas cercanas (1994-2024)



Nota. Elaboración propia

La Figura 98 muestra la distribución mensual de la precipitación media estimada para la cuenca Piuray durante el período 1981-2024. Se observa un régimen pluviométrico marcadamente estacional, caracterizado por una temporada lluviosa comprendida entre los meses de noviembre y marzo, durante la cual se registran las mayores precipitaciones, alcanzando aproximadamente 99 mm en enero y 82 mm en febrero.

A partir de abril la precipitación disminuye progresivamente, registrándose los valores mínimos entre mayo y agosto, con precipitaciones inferiores a 10 mm mensuales, siendo julio el mes más seco del año. Posteriormente, desde octubre se evidencia un incremento gradual de las precipitaciones, marcando el inicio de la temporada húmeda.

Este comportamiento corresponde al régimen climático típico de las cuencas altoandinas del sur del Perú y evidencia una marcada concentración de las precipitaciones durante la estación lluviosa, condición que controla la generación de escorrentía, la recarga hídrica de la cuenca y los aportes de agua hacia la laguna Piuray.

4.2.1.4. Análisis y corrección de la información de precipitación de PISCO (1981-2016)

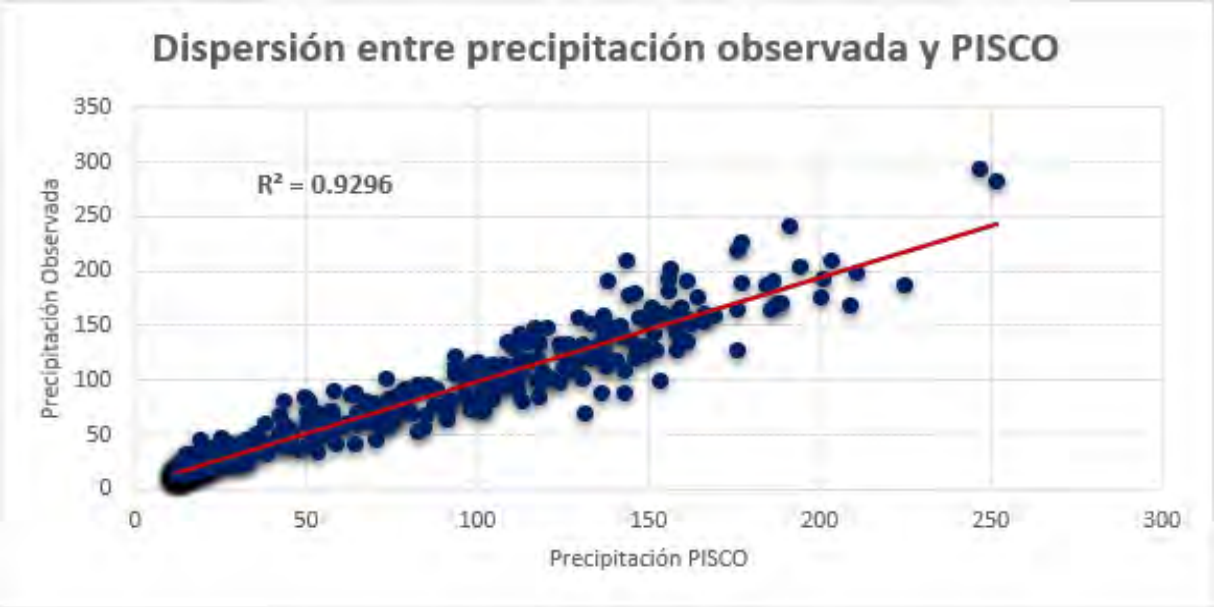
Con el propósito de evaluar la consistencia entre la información observada y los datos provenientes del producto PISCO, se compararon ambas series para el período 1981-2016. Los resultados obtenidos permitieron verificar el grado de concordancia entre ambas fuentes de información y evaluar la calidad de los datos empleados posteriormente en la modelación hidrológica.

4.2.1.4.1. Ajuste y corrección estadística

Las Figuras 99 y 100 presentan los resultados del ajuste realizado entre la precipitación observada y la serie proveniente del producto PISCO para el período de análisis.

Figura 99

Gráfico de dispersión de precipitación observada con PISCO

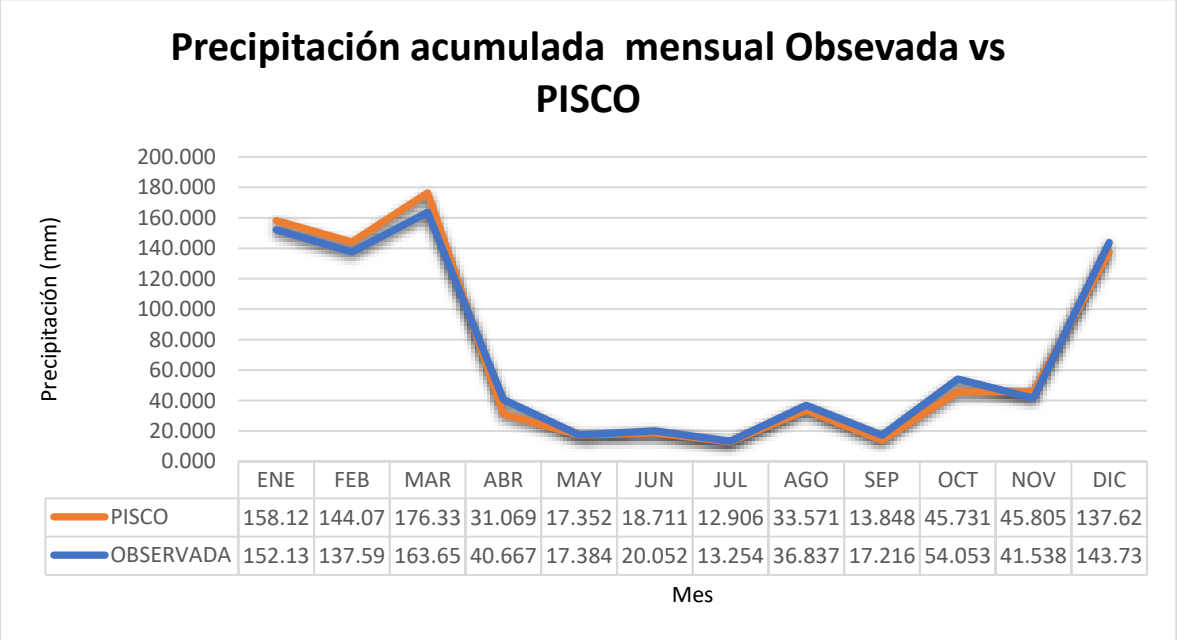


Nota. Elaboración propia

La Figura 99 muestra el diagrama de dispersión entre la precipitación observada y la precipitación proveniente del producto PISCO, evidenciándose una elevada concordancia entre ambas series.

Figura 100

Grafico de la precipitación acumulada mensual observada respecto a PISCO



Nota. Elaboración propia

La Figura 100 presenta la comparación entre la precipitación acumulada mensual observada y la obtenida del producto PISCO, observándose un comportamiento temporal similar durante el período evaluado.

Para el año 2003 se obtuvo un coeficiente de correlación de r = 0.996, evidenciando una excelente correspondencia entre ambas series y confirmando la adecuada representación de la precipitación mediante el producto PISCO para dicho período.

4.2.2. Análisis de la temperatura máxima y mínima (1981-2024)

4.2.2.1. Procesamiento de información de temperatura

La tabla N°45 a continuación proporciona información detallada sobre las posiciones y las coordenadas geográficas de seis estaciones meteorológicas, que serán utilizadas como puntos de referencia para dividir en regiones la temperatura de la cuenca Piuray. Se emplearán

los datos de temperatura de estas estaciones en el modelo de interpolación del método de la National Weather Service (NWS), utilizando la distancia inversa para calcular la temperatura en zonas próximas.

Tabla 46

Ubicación de las Estaciones Meteorológicas - Temperatura

ESTACIÓN	DPTO.	PROV.	DISTRITO	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
GRANJA KAYRA	CUSCO	CUSCO	SAN JERONIMO	3219	-13.556861	-71.874944
PERAYOC	CUSCO	CUSCO	CUSCO	3365	-13.516944	-71.950278
PISAC	CUSCO	CALCA	PISAC	2950	-13.415833	-71.849444
URUBAMBA	CUSCO	URUBAMBA	URUBAMBA	2863	-13.323111	-72.129117
ANCACHURO	CUSCO	ANTA	ZURITE	3340	-13.415000	-71.974722
CALCA	CUSCO	CALCA	CALCA	2926	-13.333333	-71.950000

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y UNSAAC

4.2.2.2. Análisis de consistencia de la temperatura

4.2.2.2.1. Análisis Visual Gráfico de Temperatura

Esquema para Análisis Visual Gráfico de Temperatura (Datos Incompletos y Completados)

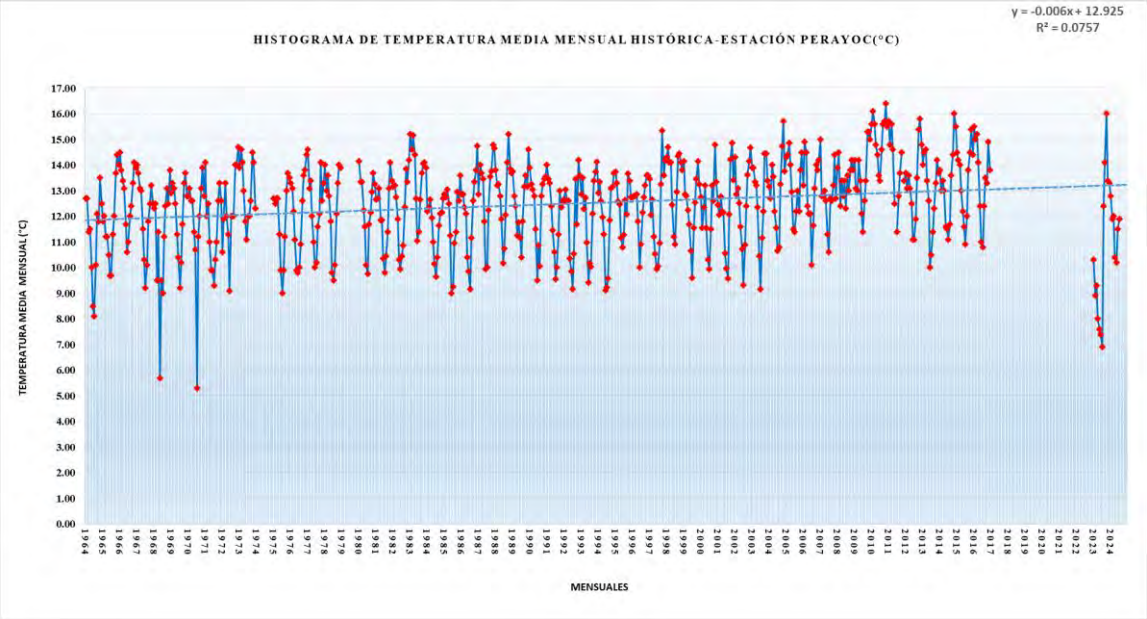
Análisis Visual Gráfico de Temperatura: Estación Perayoc

a. Temperatura de la Estación Perayoc (Datos Incompletos)

El diagrama presenta las temperaturas registradas en la Estación Perayoc, utilizando datos parciales a través de los años.

Figura 101

Histograma de la distribución de la Temperatura Media mensual con datos incompletos - Estación Perayoc



Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En la figura 101 de la Estación Perayoc se observa una disminución de temperaturas medias mensuales desde 1981 a 2024, con una ligera disminución de temperaturas; sin embargo, los vacíos de información generados por los picos anómalos demuestran errores de medición que afectan la precisión de los datos, lo que demuestra que no solo el cambio climático afecta en la cantidad de agua, sino también los datos incompletos pueden sesgar el análisis.

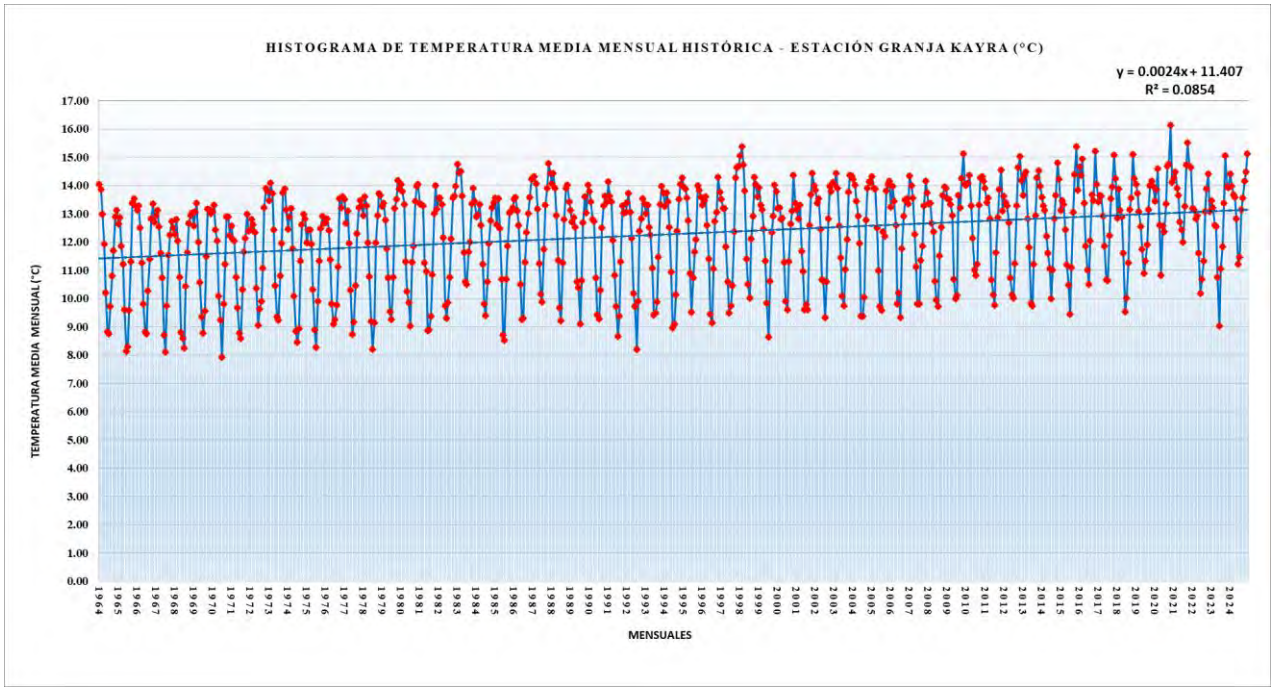
4.2.2.2.2. Completación de datos de temperatura

Temperatura de la Estación Granja Kayra (Datos Completados)

Este diagrama presenta los datos completados de la Estación Granja Kayra, utilizando técnicas de interpolación o regresión para completar la información ausente con hec4. El análisis de estos datos posibilita contrastar las tendencias de temperatura previo y posterior a las correcciones, y verificar si las irregularidades se han rectificado adecuadamente.

Figura 102

Histograma de la distribución de la Temperatura Media mensual con datos Completos - Estación Granja Kayra



Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

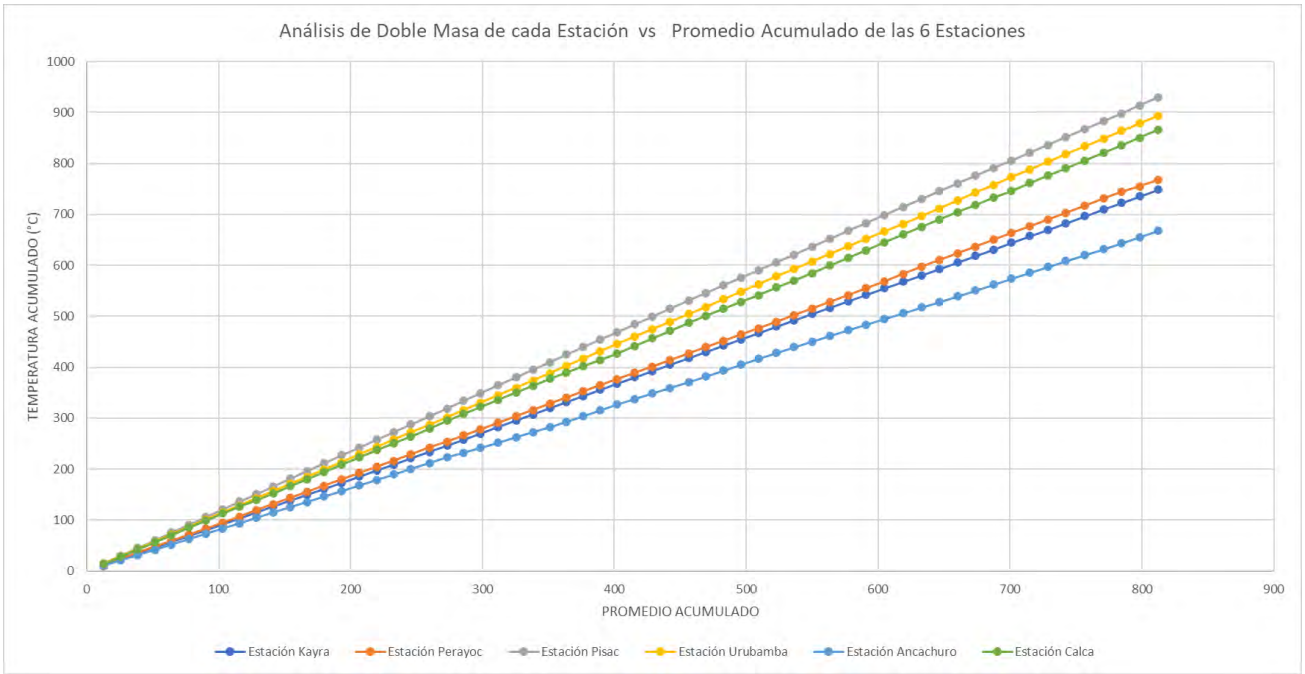
La figura 102 presenta una tendencia evidente hacia el aumento de la temperatura media mensual desde 1981 hasta 2024, con una inclinación favorable, lo que evidencia el calentamiento global observado, pese a las variaciones estacionales, la tendencia ascendente indica un cambio en el clima, lo que podría afectar de manera considerable el volumen de agua disponible, incrementando la evaporación y disminuyendo la disponibilidad de agua.

4.2.2.2.3. Análisis de doble masa

La Figura 103 muestra el análisis de consistencia mediante curvas de doble masa para las estaciones meteorológicas empleadas.

Figura 103

Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de la Temperatura mensual de las siete Estaciones Meteorológicas



Nota. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

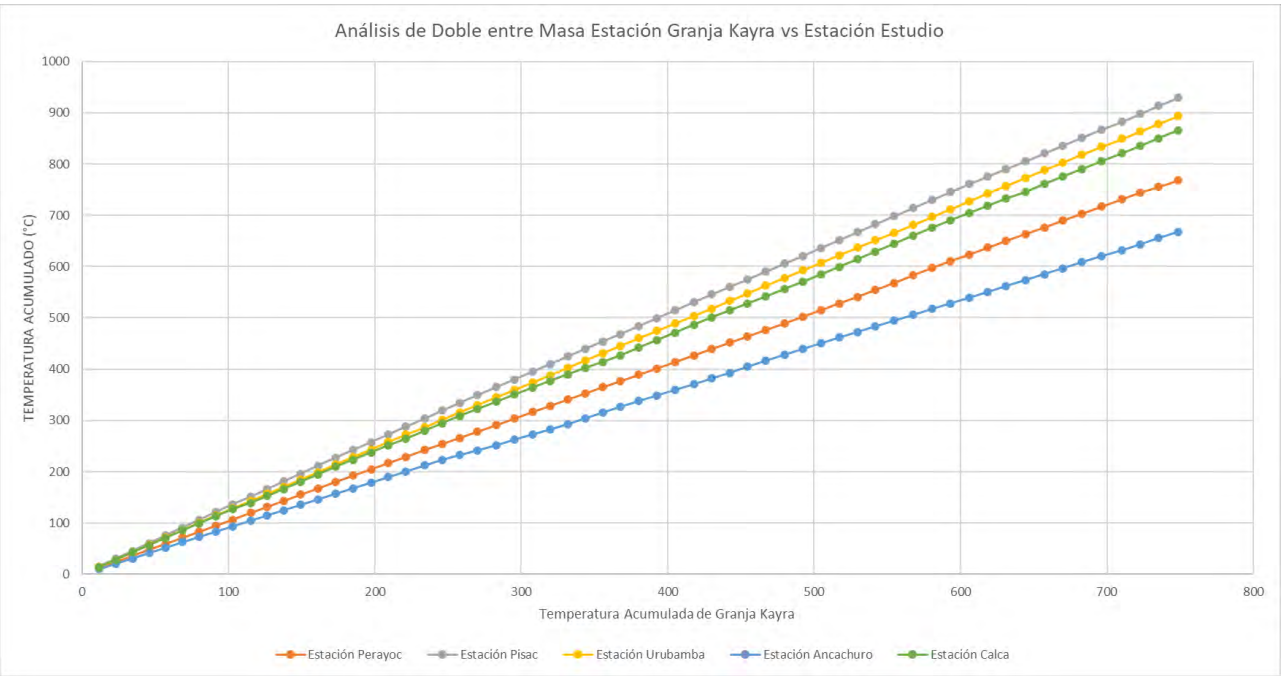
De la figura 103 se observa que la estación Granja Kayra presenta el comportamiento más uniforme respecto al conjunto de estaciones analizadas, motivo por el cual fue considerada como estación de referencia.

Análisis de Doble Masa: Estación Principal Granja Kayra (Base) frente al resto de las Estaciones.

La Figura 104 presenta la comparación entre la estación base Granja Kayra y las demás estaciones meteorológicas.

Figura 104

Análisis de Consistencia mediante Curva de Doble Masa de Temperatura mensual de la estación Granja Kayra(base) entre las demás Estaciones Meteorológicas



Nota. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

Se aprecia un comportamiento consistente entre las series, sin evidenciar rupturas significativas que justifiquen la aplicación de correcciones adicionales en los registros de temperatura.

4.2.2.3. Regionalización de la Temperatura

La regionalización de la temperatura permitió obtener una serie representativa de temperatura media mensual para la cuenca Piuray durante el período 1981-2024, a partir de los registros de las estaciones meteorológicas consideradas en el estudio. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

4.2.2.3.1. Utilidad de los Resultados

La Tabla 46 presenta las coordenadas del punto representativo utilizado para estimar la temperatura media de la cuenca Piuray.

Tabla 47

Coordenadas de un punto tomada como estación de la cuenca de estudio

Estación	Norte(Y)	Este(X)	Altitud	Latitud	Longitud
Cuenca Piuray	8514202.3163	823100.7464	3926.14	-13.4223604	-72.0165866

La Tabla 47 muestra las coordenadas y distancias de las estaciones meteorológicas utilizadas durante la regionalización de la temperatura.

Tabla 48

Coordenadas UTM y geográficas de las estaciones cercanas a la cuenca

Estación	**Norte(Y)**	**Este(X)**	**Altitud**	**Latitud**	**Longitud**	**Distancia (km)**
GRANJA KAYRA	8499117.7997	838264.1740	3219	-13.5568610	-71.8749440	21.41
PERAYOC	8503641.0566	830157.9580	3365	-13.5169440	-71.9502780	12.73
PISAC	8514699.8238	841227.3275	2950	-13.4158330	-71.8494440	18.09
URUBAMBA	8525335.4139	811031.9203	2863	-13.3231110	-72.1291170	16.43
ANCACHURO	8509395.6425	801479.5561	3340	-13.4680560	-72.2155560	22.11
CALCA	8523972.0705	830439.6019	2926	-13.3333330	-71.9500000	12.24

La utilización de estaciones ubicadas en diferentes altitudes permitió reducir la incertidumbre en la estimación de la temperatura media de la cuenca, considerando que esta variable presenta una fuerte dependencia con la elevación del terreno. En consecuencia, la información regionalizada constituye un insumo confiable para la simulación hidrológica desarrollada mediante ArcSWAT y para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la cuenca Piuray.

Tabla 49

Datos de Temperatura media mensual estimados para la estación de la cuenca Piuray (1981-2024) mediante interpolación por NWS a partir de 7 estaciones meteorológicas circundantes

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL - MICROCUENCA PIURAY

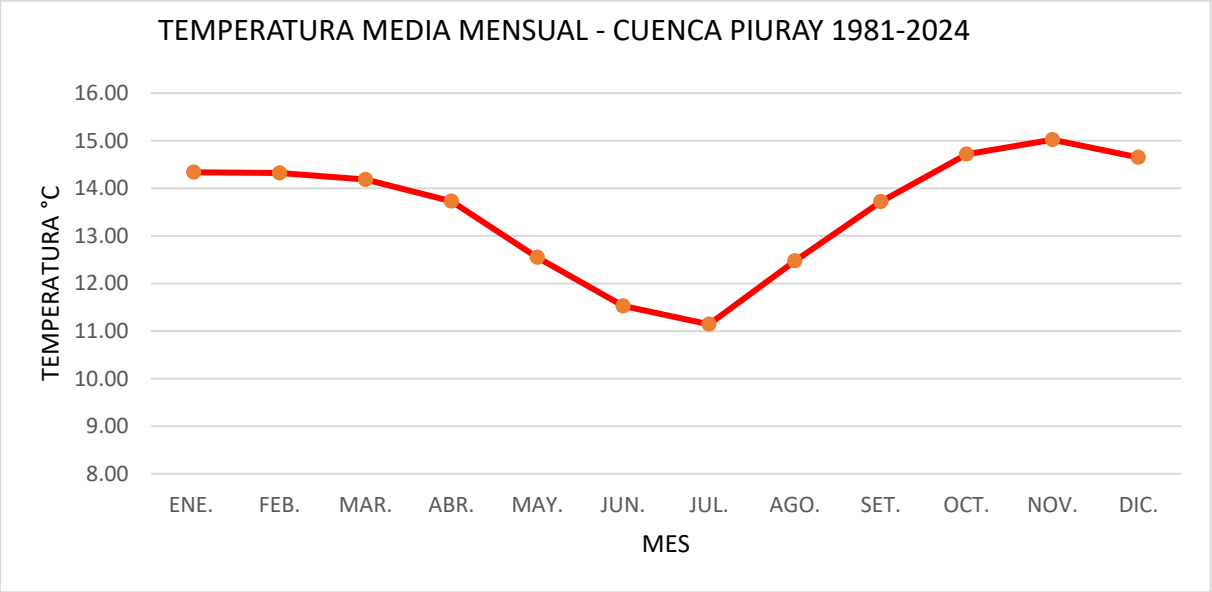
ESTACIÓN:	MICROCUENCA PIURAY	**DEPARTAMENTO:**	CUSCO
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:**	URUBAMBA
PERIODO:	1964-2024	**DISTRITO:**	CHINCHERO
TIPO DE DATOS:	TRATADOS	**LATITUD:**	-13.4223604 m
ALTITUD:	3926.1377 msnm	**LONGITUD:**	-72.01658662 m

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROMEDIO
1964	15.19	15.35	14.47	13.79	11.50	9.56	9.53	10.61	12.33	13.45	13.65	13.61	12.75
1965	12.89	12.83	12.73	12.70	12.49	11.28	11.16	12.02	13.25	14.88	15.65	14.85	13.06
1966	14.94	14.79	14.13	13.73	12.57	11.16	11.42	12.70	13.41	14.78	15.15	14.88	13.64
1967	14.91	14.90	14.31	13.87	12.74	11.18	10.62	11.51	12.97	13.80	14.40	13.94	13.26
1968	13.65	13.85	12.73	12.64	10.21	10.66	10.12	12.08	13.38	14.20	14.08	14.85	12.70
1969	14.19	14.52	14.56	14.05	12.91	11.95	11.00	11.99	13.26	14.64	15.18	14.50	13.56
1970	14.19	14.40	13.92	13.71	12.45	11.71	9.82	12.25	12.69	14.09	14.63	12.78	13.05
1971	13.29	13.57	13.76	12.69	11.70	10.74	10.51	11.80	12.92	13.80	14.62	13.62	12.75
1972	12.99	13.72	13.87	13.69	12.49	10.95	11.94	11.96	12.62	14.72	14.84	14.47	13.19
1973	13.85	14.52	14.27	13.51	12.40	11.52	11.09	12.03	12.53	13.88	14.02	12.93	13.05
1974	11.69	12.28	13.83	13.52	12.61	10.97	10.69	10.88	12.81	14.43	14.32	14.37	12.70
1975	13.60	13.64	13.92	13.54	12.37	10.74	10.23	11.45	12.81	14.02	14.68	14.23	12.94
1976	13.97	14.22	13.78	12.89	11.97	10.99	10.99	11.56	12.93	15.05	14.98	15.05	13.20
1977	15.20	14.07	14.36	13.47	12.39	11.00	11.16	12.36	13.41	14.58	14.30	14.57	13.41
1978	14.59	14.73	14.79	14.18	13.22	11.73	11.50	11.64	13.45	14.09	14.47	14.25	13.55
1979	13.94	13.79	13.69	12.98	12.80	11.91	11.39	12.47	13.55	14.30	15.77	15.20	13.48
1980	14.87	14.55	13.99	13.05	12.61	11.36	11.21	13.14	13.65	14.01	14.49	14.34	13.44
1981	13.98	14.38	14.59	13.06	12.60	11.32	11.18	11.69	12.72	14.01	14.40	13.76	13.14
1982	13.44	13.70	13.46	13.01	11.91	11.18	10.89	12.33	13.53	13.95	14.30	14.58	13.02
1983	15.61	16.19	15.58	15.30	13.04	12.31	11.73	13.10	14.09	14.71	15.00	14.34	14.25
1984	13.57	13.83	14.24	13.92	13.00	12.03	11.24	12.37	14.25	15.11	14.92	15.03	13.63
1985	14.65	14.54	14.23	13.50	12.01	10.43	10.52	11.55	13.25	13.78	13.74	14.12	13.03
1986	13.87	13.51	13.49	13.19	12.04	10.96	10.10	12.09	13.43	14.03	14.25	15.04	13.00
1987	14.44	14.59	14.32	13.92	12.17	10.99	11.02	12.77	14.29	14.81	15.40	14.98	13.64
1988	14.45	14.57	14.25	13.72	12.77	11.19	11.10	12.56	14.12	15.30	15.13	14.52	13.64
1989	14.04	13.81	13.69	13.04	12.31	11.31	10.56	11.81	13.42	14.27	14.29	14.72	13.10
1990	14.40	14.04	13.60	13.17	12.28	10.64	10.78	11.09	13.40	14.10	14.48	14.16	13.01
1991	14.49	14.07	13.90	12.99	12.16	10.99	10.12	10.44	11.98	13.61	13.73	13.89	12.70
1992	13.68	13.68	13.51	13.16	11.96	10.71	9.67	11.17	13.32	13.27	14.33	14.01	12.71
1993	13.39	13.65	13.14	13.09	11.91	10.24	10.35	10.69	12.31	13.94	14.45	14.10	12.61
1994	13.49	13.58	13.41	12.88	11.91	9.90	9.82	10.32	13.60	14.37	15.11	15.17	12.80
1995	15.14	14.75	14.23	13.91	12.62	11.73	12.14	13.31	13.63	15.06	15.08	14.69	13.86
1996	14.28	14.41	14.42	13.88	13.02	11.21	10.97	12.47	13.99	14.61	14.98	14.70	13.58
1997	14.58	13.37	13.58	12.70	12.34	11.36	11.39	11.92	13.94	15.68	15.55	15.74	13.51
1998	15.82	16.15	15.78	15.57	13.44	12.12	12.10	13.70	14.61	15.13	15.27	14.86	14.54
1999	15.09	13.82	13.84	13.54	12.73	11.71	10.21	11.92	13.69	14.60	15.15	14.09	13.37
2000	13.30	13.21	13.40	13.91	12.82	11.26	10.85	12.66	14.19	14.28	15.08	14.55	13.29
2001	13.18	13.16	13.53	12.42	12.74	11.19	10.94	10.89	13.88	15.50	15.85	14.99	13.19
2002	14.92	13.90	13.92	13.88	12.61	11.91	10.77	11.58	13.89	14.84	13.94	14.78	13.41
2003	14.45	15.10	14.95	14.40	13.40	12.01	11.20	12.07	13.57	14.92	15.43	15.12	13.89
2004	14.51	14.23	14.31	14.32	12.94	11.10	10.62	10.85	13.72	15.19	15.78	15.21	13.56
2005	15.16	15.06	14.57	14.41	12.64	11.95	11.74	13.72	13.63	14.45	15.30	15.68	14.03
2006	14.30	15.55	15.25	14.22	12.30	12.15	10.85	13.57	14.37	14.49	14.22	14.44	13.81
2007	15.19	14.68	14.53	14.00	13.11	11.89	11.37	13.78	13.17	14.13	15.38	14.54	13.82
2008	14.13	14.47	13.86	14.03	12.52	12.33	11.90	14.40	14.22	15.06	15.13	14.72	13.90
2009	14.65	14.36	14.20	14.96	12.88	12.40	11.91	14.35	14.70	15.63	15.86	15.30	14.27
2010	15.47	16.51	16.01	15.55	13.03	12.95	13.02	14.69	15.41	16.08	16.32	15.59	15.05
2011	15.42	14.58	14.63	14.35	12.99	13.40	11.80	14.06	14.27	15.11	15.94	14.07	14.22
2012	14.39	14.11	14.25	14.02	12.54	11.97	11.94	13.28	14.23	16.28	16.08	15.03	14.01
2013	14.46	15.18	15.26	14.38	12.84	10.95	10.87	12.73	14.27	14.90	15.36	14.75	13.83
2014	13.68	13.73	13.83	13.95	12.70	12.75	11.62	11.94	13.86	15.42	16.17	15.64	13.77
2015	14.86	15.03	14.59	14.17	13.53	12.83	11.57	11.91	14.11	14.22	13.84	13.76	13.70
2016	15.32	14.98	14.95	13.61	12.85	11.58	11.12	12.27	13.59	13.90	15.79	14.87	13.74
2017	14.59	13.98	14.13	13.77	13.32	13.04	12.33	14.55	14.57	14.61	16.47	15.90	14.27
2018	15.18	14.96	14.59	14.54	12.98	11.23	10.98	11.96	14.07	14.78	15.72	15.46	13.87
2019	14.69	14.49	14.59	13.97	11.95	11.81	12.00	13.61	14.55	15.29	15.10	15.43	13.96
2020	14.73	14.53	14.88	14.19	13.08	13.04	12.45	14.18	15.24	16.40	17.10	15.26	14.59
2021	15.24	15.15	14.62	14.46	12.95	13.05	12.41	14.51	14.84	17.15	15.39	15.06	14.57
2022	14.02	13.99	13.69	13.79	12.50	11.90	11.84	14.26	14.80	15.56	15.81	14.41	13.88
2023	13.55	13.50	13.57	12.95	11.69	10.28	11.11	14.06	14.80	16.34	15.17	15.17	13.52
2024	14.81	14.77	14.76	13.65	12.81	12.41	12.15	15.28	15.32	16.07	15.29	14.97	14.36
NÚMERO	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
PROMEDIO	14.34	14.32	14.18	13.73	12.55	11.53	11.14	12.47	13.72	14.72	15.02	14.65	
MÁXIMO	15.82	16.51	16.01	15.57	13.53	13.40	13.02	15.28	15.41	17.15	17.10	15.90	
MÍNIMO	11.69	12.28	12.73	12.42	10.21	9.56	9.53	10.32	11.98	13.27	13.65	12.78	
DESV. EST.	0.78	0.78	0.65	0.69	0.55	0.81	0.74	1.20	0.76	0.79	0.74	0.64	

Nota. Elaboración propia

Figura 105

Temperatura media mensual en la cuenca Piuray (1981-2024) obtenida a partir de estaciones meteorológicas cercanas mediante el método del National Weather Service



La Figura 105 presenta la temperatura media mensual estimada para la cuenca Piuray durante el período 1981-2024. Se observa un comportamiento estacional claramente definido, con temperaturas máximas cercanas a 15 °C durante los meses de octubre a diciembre y temperaturas mínimas próximas a 11 °C entre junio y julio. Asimismo, se aprecia un incremento progresivo de la temperatura a partir de agosto, alcanzando sus valores máximos durante la primavera, seguido de un descenso gradual desde el inicio del otoño. Este comportamiento corresponde al régimen térmico característico de las cuencas altoandinas y refleja la influencia de la estacionalidad climática sobre la temperatura media de la cuenca.

4.2.2.4. Análisis y corrección de la información de temperatura máxima y mínima de PISCO (1981-2016)

La información de temperatura máxima y mínima obtenida del producto PISCO fue comparada con los registros observados de las estaciones meteorológicas del SENAMHI para evaluar la consistencia de ambas bases de datos. Como resultado del proceso de ajuste estadístico se obtuvo una adecuada concordancia entre las series observadas y las series

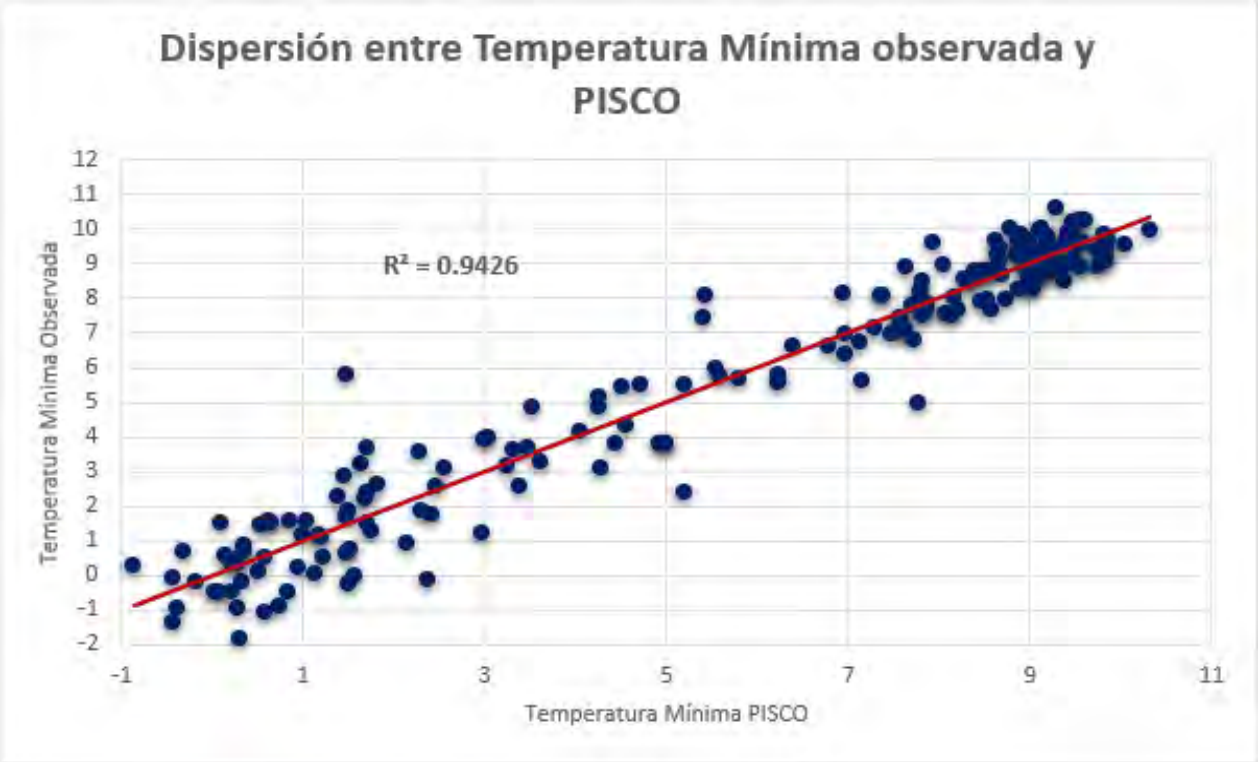
corregidas, permitiendo disponer de información consistente para su utilización en la evaluación climática y la modelación hidrológica.

4.2.2.4.1. Ajuste y corrección estadística

Las Figuras 106, 107 y 108 presentan los resultados del ajuste estadístico realizado entre las series de temperatura del producto PISCO y los registros observados de las estaciones meteorológicas del SENAMHI para el período 1981-2016.

Figura 106

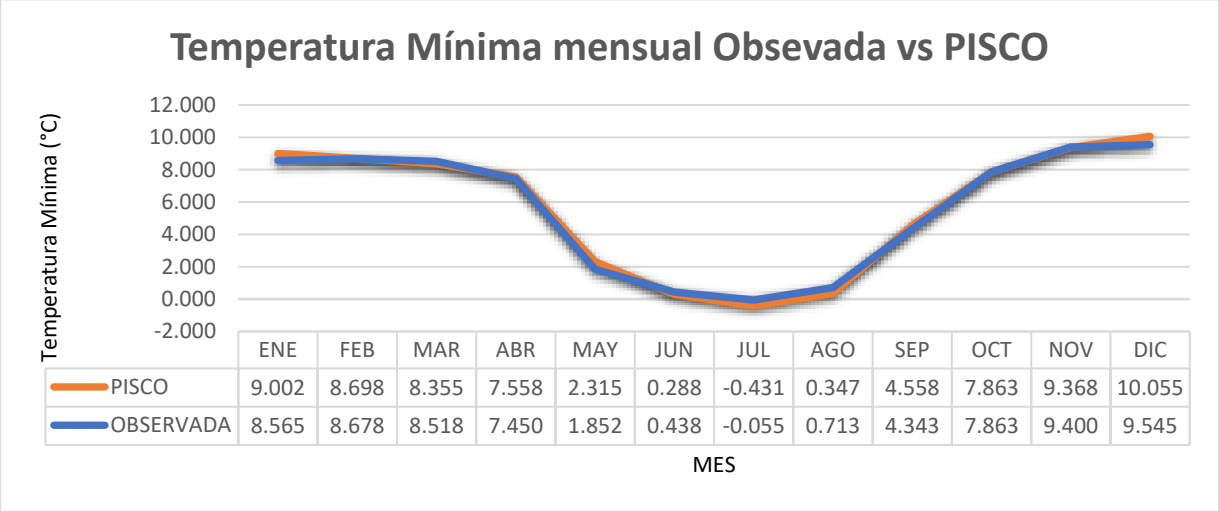
Gráfico de dispersión de temperatura minima y PISCO



Nota. Elaboración propia

Figura 107

Grafico de la temperatura mínima mensual observada respecto a PISCO

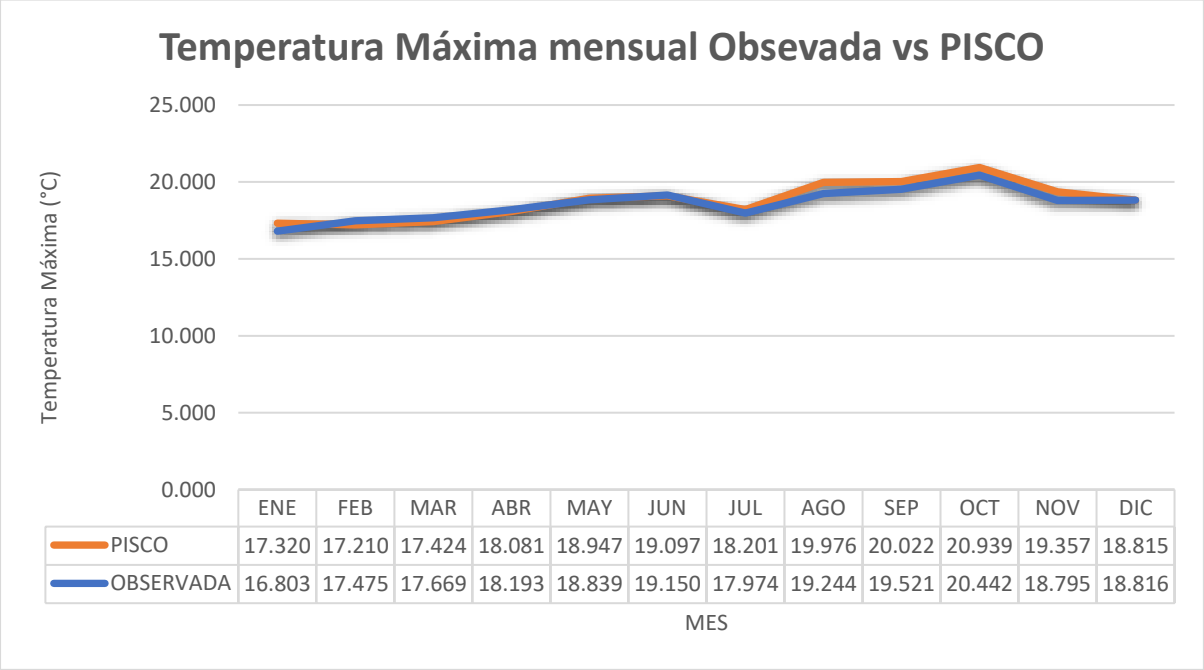


Nota. Elaboración propia

La Figura 107 se observa una elevada correspondencia entre ambas series, obteniéndose un coeficiente de correlación de r = 0.998, lo que evidencia una excelente capacidad del proceso de corrección para reproducir la variabilidad térmica registrada en las estaciones meteorológicas.

Figura 108

Grafico de la temperatura máxima mensual observada respecto a PISCO



Nota. Elaboración propia

La Figura 108 presenta el ajuste entre la temperatura máxima observada y la serie corregida correspondiente al año 2009. Los resultados muestran una alta concordancia entre ambas series, alcanzándose un coeficiente de correlación de r = 0.963, lo que indica un adecuado desempeño del proceso de corrección estadística aplicado a la temperatura máxima.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que las series de temperatura máxima y mínima derivadas del producto PISCO reproducen adecuadamente el comportamiento observado una vez aplicado el proceso de corrección estadística. La elevada concordancia alcanzada respalda la utilización de estas series como información de entrada para la evaluación de escenarios climáticos y la simulación hidrológica desarrollada en la presente investigación.

4.2.3. Resultados de la simulación con el modelo SWAT

Los resultados obtenidos mediante ArcSWAT corresponden a la serie de caudales mensuales simulados para la cuenca Piuray durante el período de análisis. Esta serie representa la oferta hídrica generada en la cuenca y constituye la base para el desarrollo del balance hídrico y la estimación del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray presentada en las secciones posteriores.

4.2.3.1. Uso de cobertura vegetal de la cuenca Piuray

El análisis del mapa de cobertura vegetal (GlobeLand30, 2020) evidencia que la cuenca Piuray está dominada por tres clases principales de uso del suelo. El pajonal andino (PAST) constituye la cobertura de mayor extensión, ocupando aproximadamente 33.2 % del área total. Le siguen las zonas de agricultura andina (AGRL) con 30.6 %, distribuidas principalmente en las áreas de menor pendiente y cercanas a los centros poblados, y los matorrales arbustivos (FRST) con 26.5 %, presentes predominantemente en laderas medianas y altas.

Las zonas urbanas (URML) representan solo 1.1 % de la superficie, mientras que la laguna Piuray (WATR) ocupa alrededor del 8.7 % del total. Esta distribución espacial permite identificar una cuenca con predominio de vegetación natural altoandina y una proporción

importante de actividades agrícolas tradicionales. El mapa detallado de uso de cobertura vegetal, simbología y distribución espacial completa, se presenta en el Anexo Plano N° 04.

Tabla 50

Cobertura vegetal en la cuenca Piuray

Valor	Area (km2)	Area (%)	LandUseSwat	Descripción
10	12.13	30.6%	AGRL	Agricultura andina
20	10.52	26.5%	FRST	Matorral arbustivo
30	13.17	33.2%	PAST	Pajonal andino
50	3.45	8.7%	WATR	Lagos, lagunas y cochas
80	0.44	1.1%	URML	Zona urbana
Total	39.69	100%		

Nota. Elaboración propia

4.2.3.2. Tipos de suelo de la cuenca Piuray

El mapa de tipos de suelo muestra que la cuenca Piuray está compuesta principalmente por unidades edáficas clasificadas como Regosoles, de acuerdo con la correspondencia entre la Zonificación Ecológica Económica (ZEE-MINAM) y el Mapa Mundial de Suelos FAO.

El tipo de suelo predominante es el Cuyo Misceláneo - Regosol (Re3-1a-5656), que ocupa aproximadamente 55 % del área total de la cuenca. Este suelo se distribuye sobre todo en zonas de relieve ondulado y sectores agrícolas.

En segundo lugar, se encuentran los Regosol-Paramosol (Re5-1a-5659), con una participación del 36 %, localizados principalmente en áreas de mayor pendiente y altitud, asociadas a pastizales naturales y vegetación altoandina.

Finalmente, la laguna Piuray representa el 8.7 % del área total, identificada como cuerpo de agua permanente dentro del sistema de clasificación FAO (código WATER-6997). El mapa detallado de tipo de suelo, simbología y distribución espacial completa, se presenta en el Anexo Plano N° 05.

Tabla 51

Tipos de suelo en la cuenca Piuray

Clasificación:					
ZEE	**FAO**	**Código FAO**	**Descripción**	**Área (km2)**	**%**
Laguna	-	WATER-6997	Cuerpo de agua permanente	3.45	9%
Cuyo Miselaneo	REGOSOL	Re3-1a-5656	Regosol moderadamente profundo de relieve ondulado, apto para cultivos andinos.	21.89	55%
Pomacanchi	REGOSOL PARAMOSOL	Re5-1a-5659	Regosol-Paramosol delgado y pedregoso, típico de laderas altoandinas.	14.35	36%
		Total		39.69	100%

Nota. Elaboración propia

4.2.3.3. Mapa de pendientes de la cuenca Piuray

El análisis espacial del relieve de la cuenca Piuray evidencia una marcada heterogeneidad topográfica. Con base en el MDE Copernicus (12.5 m), se identificaron cinco rangos de pendiente cuya distribución superficial se presenta en la Tabla 51.

Los resultados muestran que las pendientes mayores al 40 % constituyen la clase predominante (29.47 %), concentrándose en los sectores montañosos que rodean la cuenca. Estas áreas corresponden principalmente a laderas escarpadas donde se intensifican los procesos de escorrentía y pérdida de suelo.

Las zonas con pendiente entre 0-10 % representan el 26.23 % del territorio y se ubican mayormente en las áreas inmediatas a la laguna e interfluvios suaves, donde el flujo superficial tiende a disminuir y mejora la infiltración.

Los rangos intermedios (10-20 %, 20-30 % y 30-40 %), que en conjunto abarcan el 44.30 % del área, conforman las zonas de transición entre las laderas abruptas y las áreas de relieve más suave. Estas son las zonas donde se desarrolla la mayor parte de la cobertura vegetal y actividades agropecuarias del entorno. El mapa detallado de pendientes, simbología y distribución espacial completa, se presenta en el Anexo Plano N° 06.

Tabla 52

Distribución de pendientes en la cuenca Piuray

Rango (%)	Área (km2)	Área (%)
0 - 10	10.41	26.2%
10 - 20	6.04	15.2%
20 - 30	6.26	15.8%
30 - 40	5.28	13.3%
> 40	11.70	29.5%
Total	39.69	100%

Nota. Elaboración propia

4.2.3.4. Unidades de respuesta hidrológica (HRU) generadas

Luego de aplicar los umbrales definidos para cada variable temática y procesar la intersección espacial dentro del entorno ArcSWAT, se obtuvo un total de 117 HRU distribuidas en las 8 subcuencas. El mapa detallado de las HRU generadas, junto con sus características y distribución espacial completa, se presenta en el **Anexo Plano N° 07** y mapa de subcuencas en el **Anexo Plano N° 03.**

4.2.3.5. Simulación hidrológica preliminar del modelo SWAT

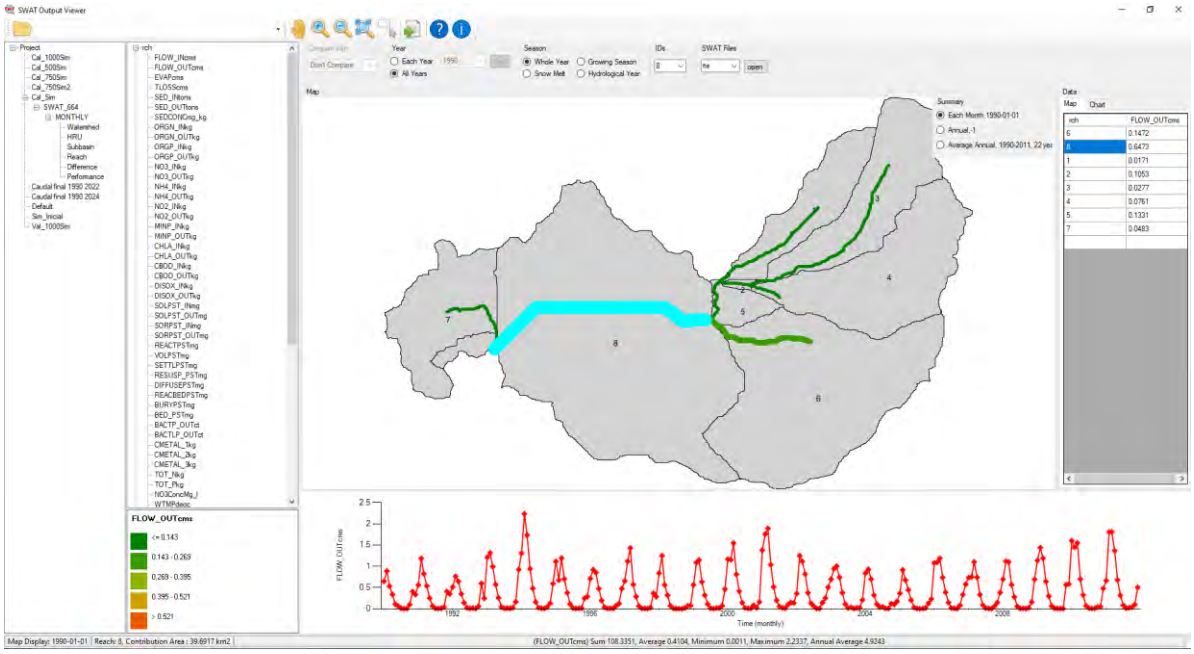
La exportación de resultados a través del SWAT Output Viewer permitió identificar la distribución espacial de los aportes de caudal por subcuenca y visualizar la serie temporal de caudales mensuales simulados entre 1990 y 2011.

Asimismo, la simulación preliminar permitió verificar la correcta configuración del modelo hidrológico, la conectividad entre las subcuencas y la consistencia de los procesos hidrológicos simulados. Esta etapa facilitó la identificación de posibles inconsistencias en los datos de entrada y sirvió como referencia para e

l posterior proceso de calibración mediante SWAT-CUP, en el cual se ajustaron los parámetros hidrológicos más sensibles para mejorar la concordancia entre los caudales de referencia y simulados.

Figura 109

Descargas medias mensuales preliminares del periodo 1990-2011



Nota. Elaboración propia en el software Swat Output Viewer

En la Figura 109 se aprecia el comportamiento hidrológico general, caracterizado por picos abruptos durante la estación lluviosa y descensos en la época seca, reflejando adecuadamente la dinámica climática altoandina de la cuenca.

4.2.3.6. Resultados de calibración del modelo

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante la calibración del modelo para el periodo 1990-2011, considerando el ajuste hidrológico, la evolución estadística por iteraciones y los parámetros óptimos alcanzados

4.2.3.6.1. Ajuste hidrológico durante la calibración del modelo

Los resultados de la calibración muestran que, a medida que se incrementó el número de simulaciones, la correspondencia entre la serie hidrológica de referencia (caudales de referencia) y los caudales simulados por ArcSWAT mejoró progresivamente. En la corrida inicial de 500 simulaciones se observa una mayor dispersión de los valores, principalmente durante los eventos de mayor caudal. Conforme aumentó el número de simulaciones, los puntos presentaron una distribución más cercana a la línea de ajuste, evidenciando una mejor

representación del comportamiento hidrológico de la cuenca. En la corrida final de 1000 simulaciones se obtuvo la mayor concentración de puntos alrededor de la línea de referencia, reflejando una mayor concordancia entre la serie utilizada para la calibración y los caudales generados por el modelo.

Figura 110

Diagrama de dispersión de la simulación inicial - sin calibración

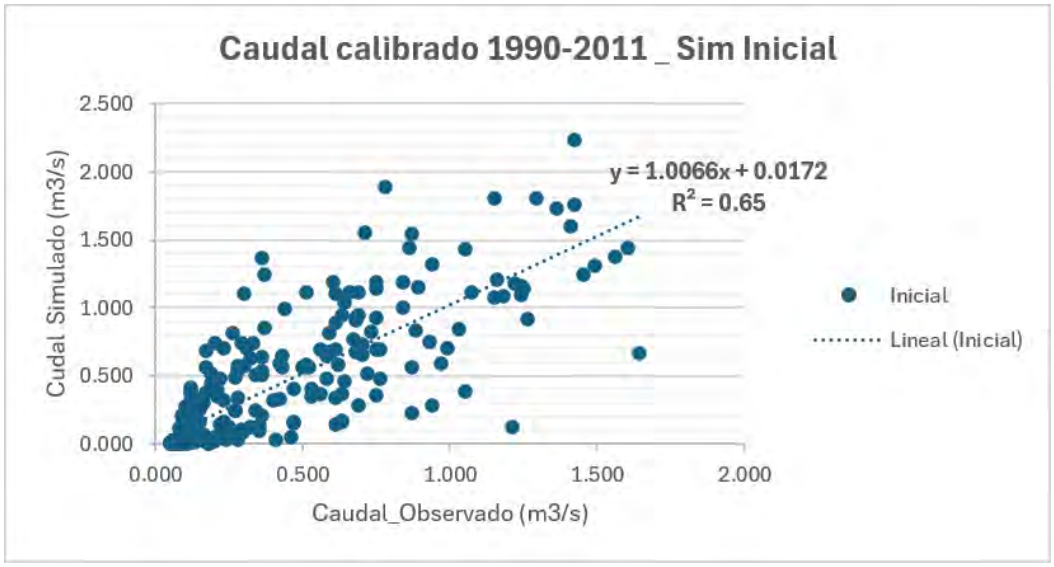


Figura 111

Diagrama de dispersión bajo 500 simulaciones

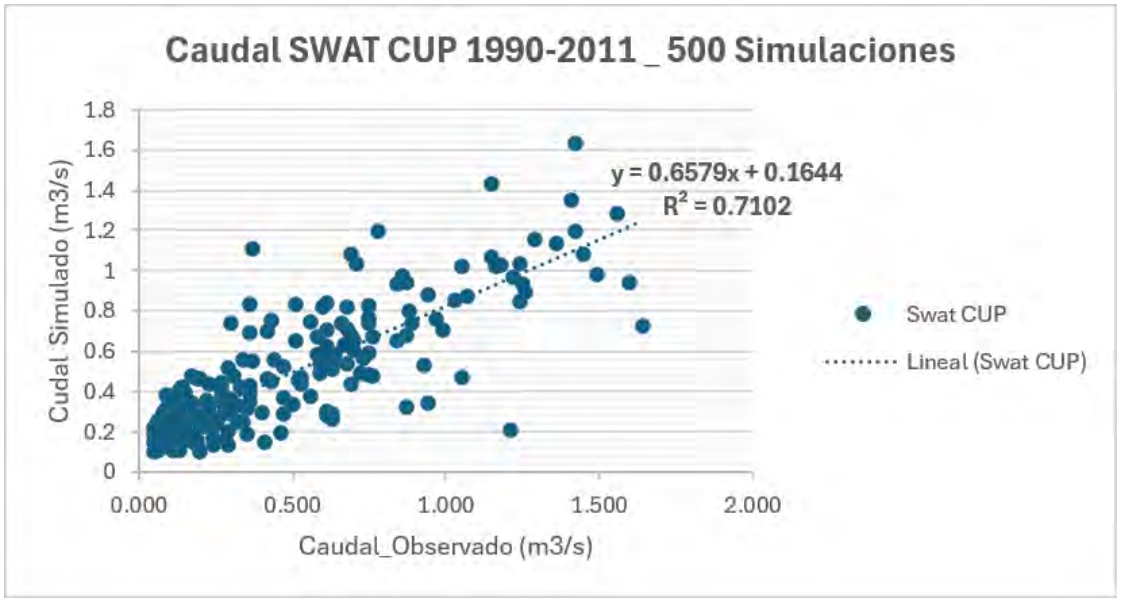


Figura 112

Diagrama de dispersión bajo 750 simulaciones

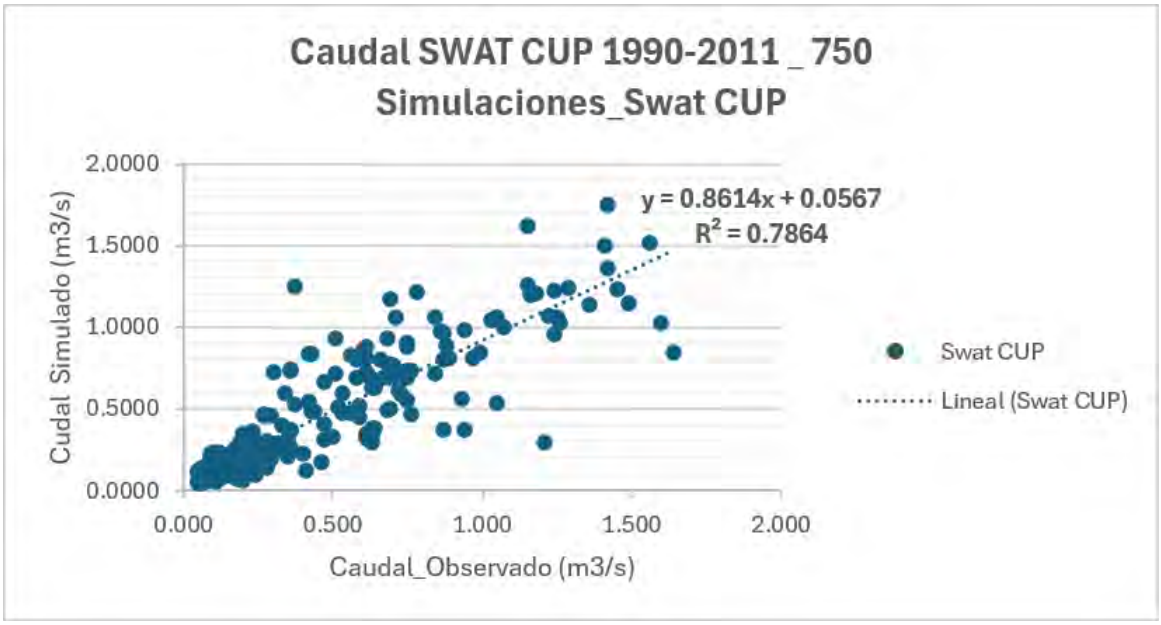
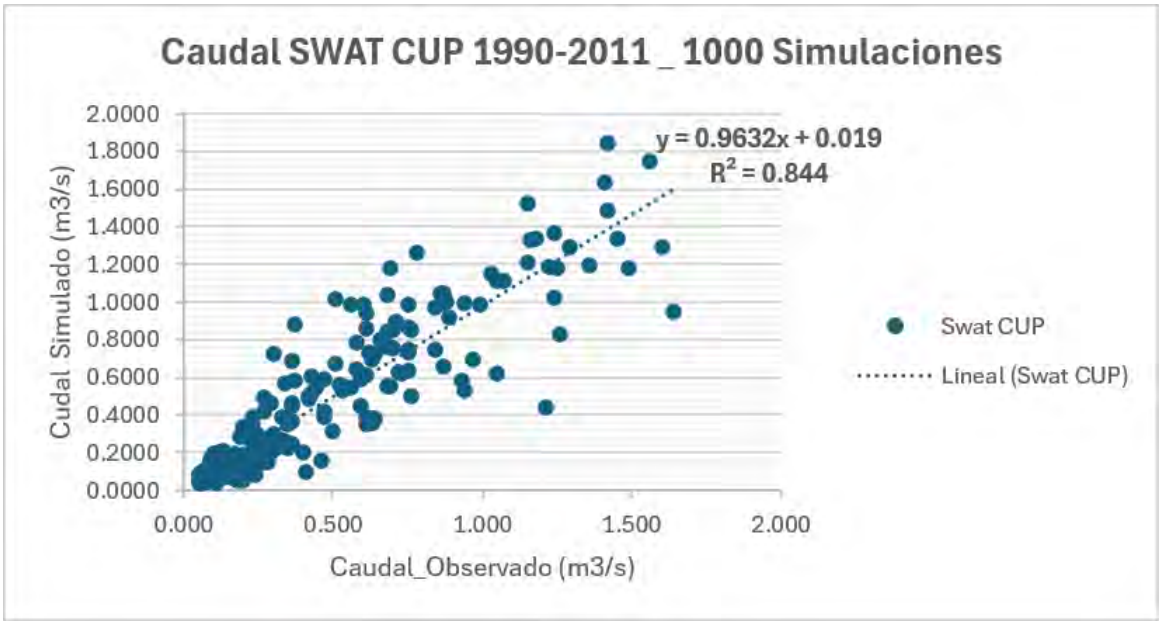


Figura 113

Diagrama de dispersión bajo 1000 simulaciones



Los hidrogramas superpuestos confirman esta secuencia de mejora durante el periodo 1990-2011, el modelo representa adecuadamente los aumentos de caudal en los meses lluviosos y la disminución marcada durante la temporada seca.

Figura 114

Hidrograma sim inicial

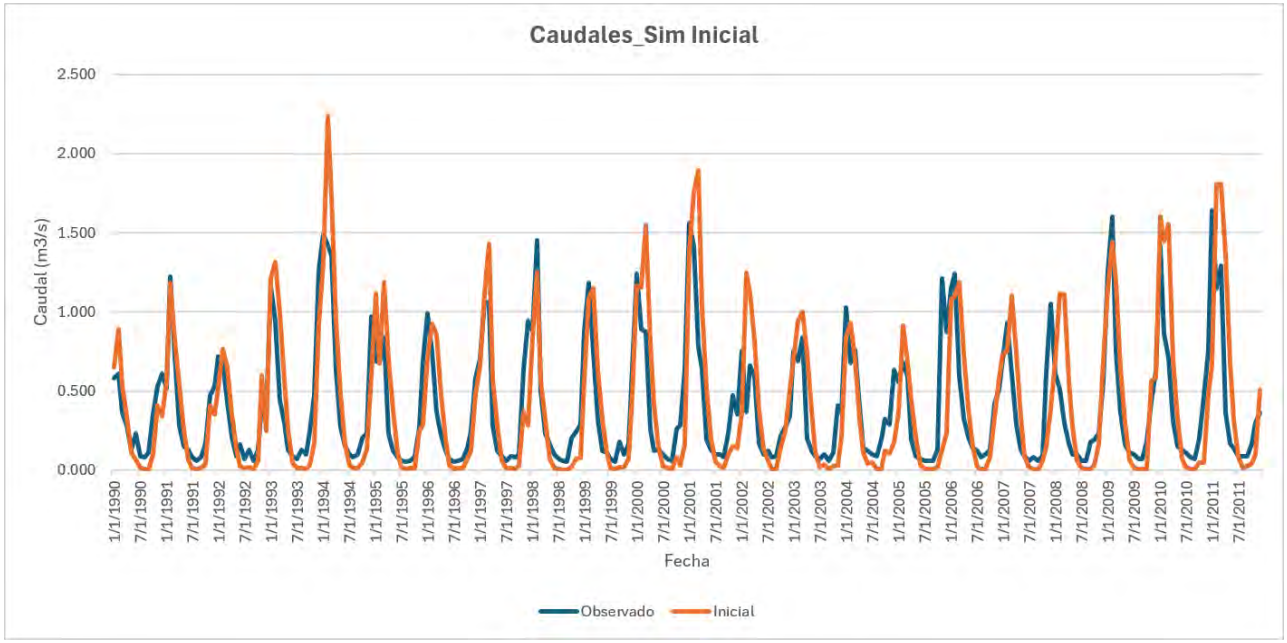


Figura 115

Hidrograma bajo 500 simulaciones

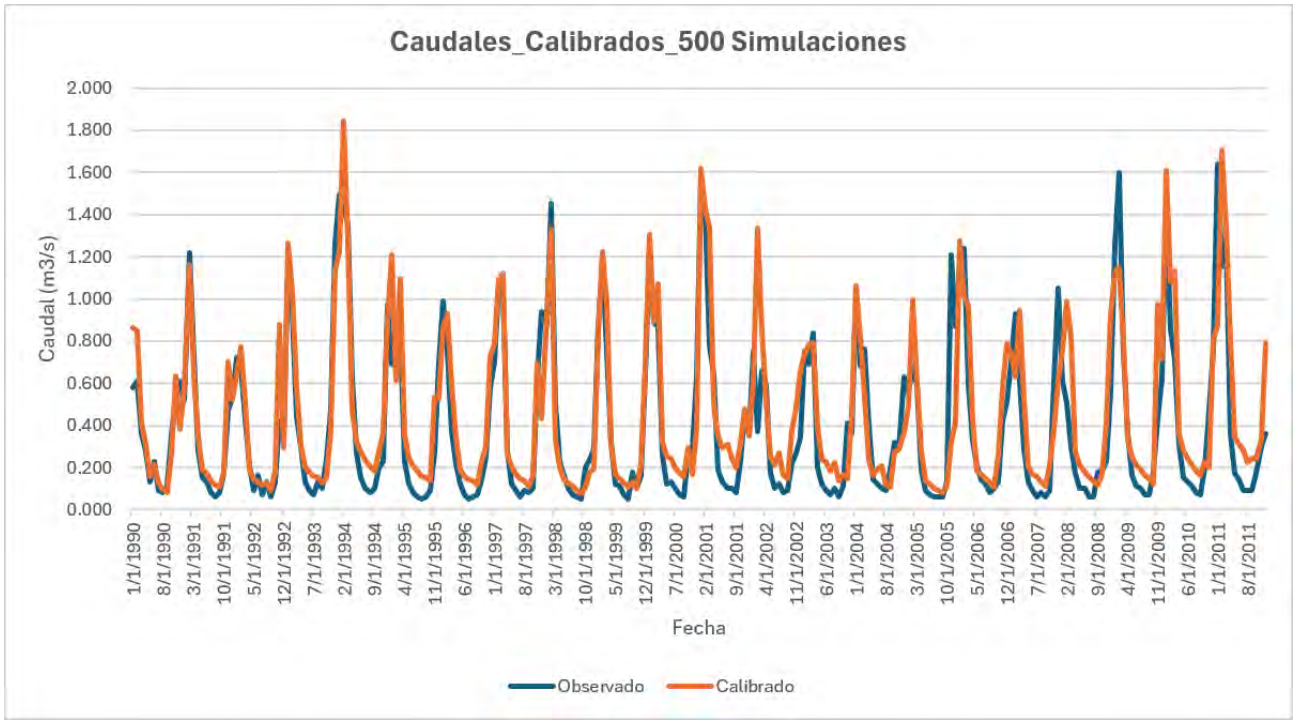


Figura 116

Hidrograma bajo 750 simulaciones

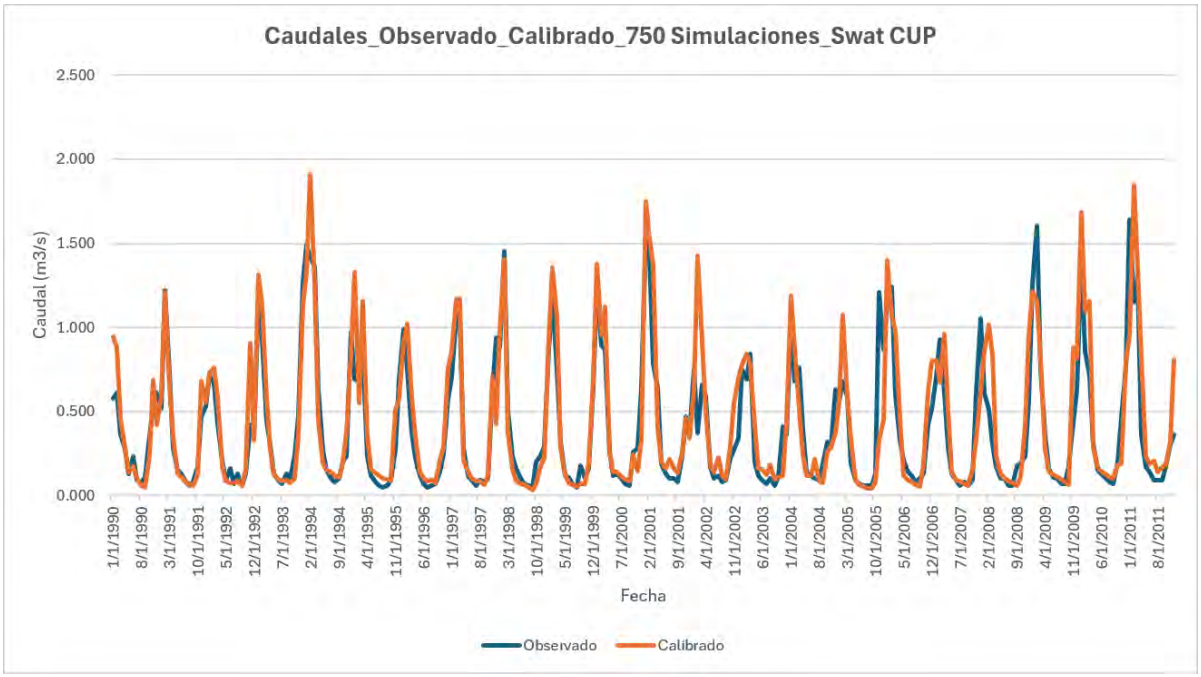
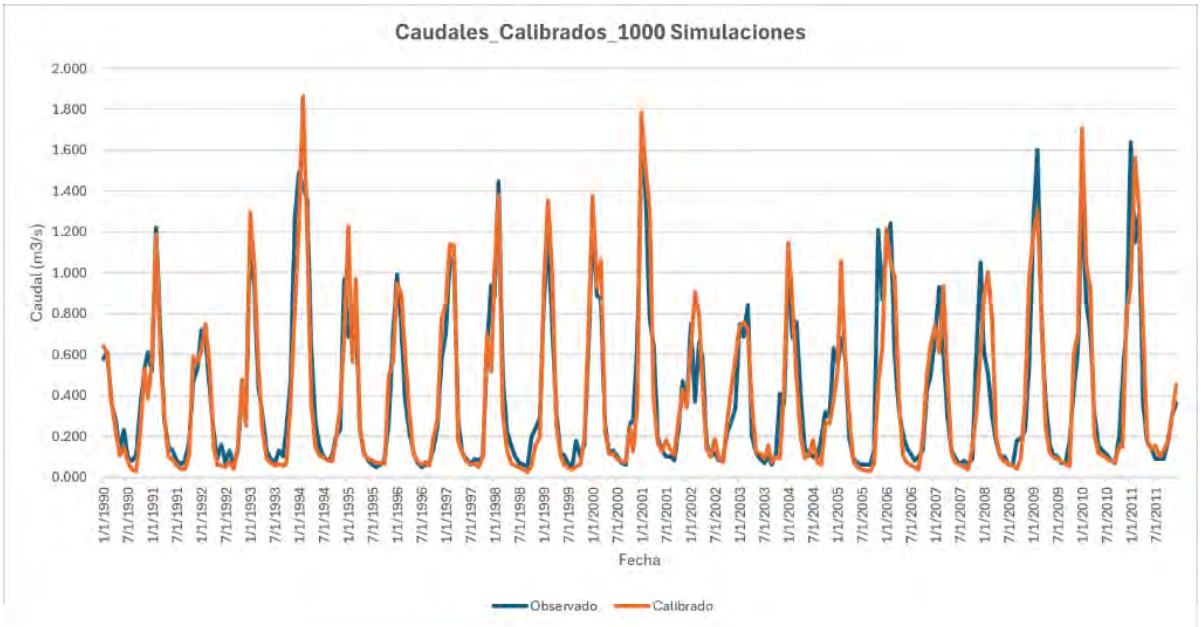


Figura 117

Hidrograma bajo 1000 simulaciones



En general, el proceso de calibración permitió mejorar progresivamente el desempeño del modelo y lograr una representación adecuada de la variación mensual de los caudales en la cuenca Piuray.

4.2.3.6.2. Evolución del desempeño estadístico por iteraciones SUFI-2

El desempeño del modelo mejoró de forma constante a medida que se incrementó el número de simulaciones en SWAT-CUP. Los indicadores estadísticos muestran que el ajuste inicial (500 simulaciones) era aceptable, pero todavía presentaba una menor eficiencia y un sesgo notable. Con 750 simulaciones, el modelo obtuvo valores más estables y cercanos a los criterios recomendados; y en la iteración final (1000 simulaciones) se alcanzaron los mejores resultados del proceso de calibración.

La siguiente tabla resume la evolución de los indicadores R^2, NSE y PBIAS durante cada etapa:

Tabla 53

Desempeño del modelo SWAT en cada etapa de calibración

Indicador	**Simulaciones**			
	Inicial	***500***	***750***	***1000***
R2	0.65	0.71	0.79	0.84
NSE	0.45	0.70	0.78	0.83
PBIAS	-5.08	-7.90	-0.65	-1.19

Nota. Elaboración propia

De la tabla 52 los resultados muestran una tendencia clara:

- El coeficiente R^2 incrementa de 0.71 a 0.84, acercándose progresivamente al rango considerado "**muy bueno**" según los criterios de evaluación.
- El NSE mejora de 0.70 a 0.83, pasando de un nivel "**bueno**" en las primeras iteraciones a un desempeño "**muy bueno**" en la calibración final.
- En PBIAS, los valores están dentro del intervalo recomendado (±10%), convergiendo hacia 0, lo que indica una reducción de la subestimación inicial registrada por el modelo; resultando al final con un desempeño "**muy bueno**".

En conjunto, esta evolución confirma que el procedimiento SUFI-2 permitió afinar el comportamiento del modelo de manera gradual, hasta alcanzar parámetros estadísticos que cumplen adecuadamente con los estándares de rendimiento para simulaciones hidrológicas.

4.2.3.6.3. Parámetros óptimos obtenidos en la calibración

En la iteración final del proceso de calibración mediante el algoritmo SUFI-2 (1000 simulaciones) se obtuvo el conjunto de parámetros que produjo el mejor desempeño estadístico del modelo. Estos valores permitieron alcanzar la mayor concordancia entre la serie de referencia utilizada para la calibración y los caudales simulados por ArcSWAT, mejorando la representación de la respuesta hidrológica de la cuenca tanto durante los periodos de mayores aportes como en las condiciones de flujo base. En consecuencia, los parámetros seleccionados fueron considerados como los valores óptimos para la simulación hidrológica de la cuenca Piuray y constituyen la configuración empleada en la etapa de validación del modelo.

La Tabla 54 resume los parámetros óptimos alcanzados en la calibración y su contribución al desempeño final del modelo.

Tabla 54

Parámetros óptimos obtenidos en la calibración

Sim_No.	500 sim N°381	Val actuales	Val mejorados	750 sim N°160	Val actuales	Val mejorados	1000 sim N°863	Val actuales	Val mejorados
1:R_CN2.mgt_AGRL	0.0291	75	77.1825	0.0113	77.1825	78.0547	0.0344	78.0547	80.7397
2:R_CN2.mgt_FRST	0.0104	83	83.8632	0.0418	83.8632	87.3687	0.0212	87.3687	89.2209
3:R_CN2.mgt_PAST	0.1025	85	93.7125	0.0389	93.7125	97.3579	-0.0098	97.3579	96.4038
4:R_CN2.mgt_URML	0.0338	82	84.7716	0.0865	84.7716	92.1043	-0.0145	92.1043	90.7688
5:V_ESCO.hru	0.993			0.993			0.9926		
6:V_EPCO.hru	0.8467			0.9341			0.9409		
7:V_GW_DELAY.gw	257.54			369.7333			464.3315		
8:V_ALPHA_BF.gw	0.1417			0.1222			0.0884		
9:V_GWQMN.gw	670.6			1115.5333			990.125		
10:V_GW_REVAP.gw	0.0368			0.1111			0.1222		
11:V_REVAPMN.gw	663.5			1000			930.025		
12:V_RCHRG_DP.gw	0.0677			0.1455			0.1329		
13:R_SOL_AWC(1).sol	0.0538	0.175	0.1844	0.0007	0.1844	0.1845	0.0786	0.1845	0.1990
14:R_SOL_AWC(2).sol	0.0178	0.175	0.1781	0.0918	0.1781	0.1945	0.1277	0.1945	0.2193
15:R_SOL_K(1).sol	1.4902	12.44	30.9781	1.0467	30.9781	63.4029	0.9215	63.4029	121.8286
16:R_SOL_K(2).sol	0.4069	8.25	11.6069	0.2003	11.6069	13.9318	0.3233	13.9318	18.4359
17:R_SOL_BD(1).sol	-0.0841	1.2	1.0991	-0.1135	1.0991	0.9743	-0.0404	0.9743	0.9350
18:R_SOL_BD(2).sol	-0.0925	1.3	1.1798	-0.0591	1.1798	1.1100	-0.065	1.1100	1.0379
19:V_CH_K2.rte	12.6			16.65			10.743		
20:V_CH_N2.rte	0.1631			0.2639			0.2639		
21:V_OV_N.hru	0.2083			0.1608			0.1903		

Sim_No.	500 sim N°381	Val actuales	Val mejorados	750 sim N°160	Val actuales	Val mejorados	1000 sim N°863	Val actuales	Val mejorados
22:V_SURLAG.bsn	3.761			7.124			8.4338		
23:V_CANMX.hru	0.675			2.6767			1.4174		
24:V_HRU_SLP.hru	0.1059			0.0733			0.0352		
goal_value	0.699725			0.77917			0.827017		
	NS			**NS**			**NS**		

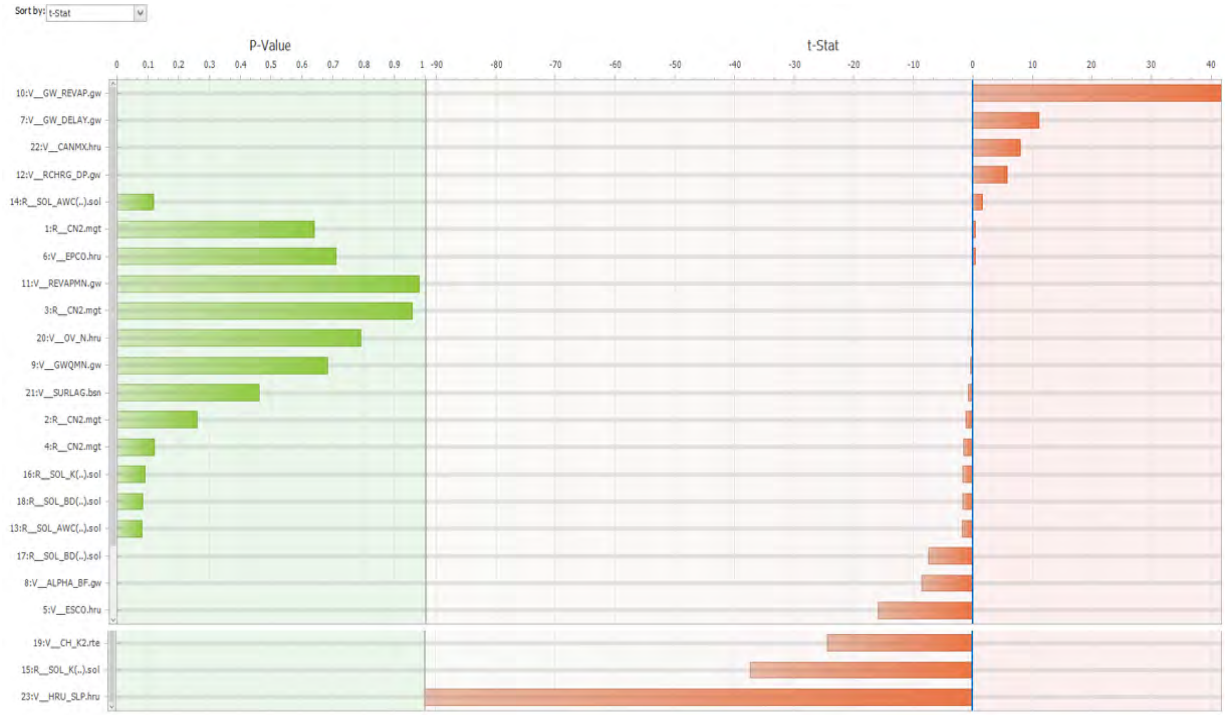
Nota. Elaboración propia

En términos hidrológicos, los valores ajustados reflejan cambios relevantes en componentes clave del balance hídrico.

En las interacciones también se pudo verificar que parámetros tuvieron mayor influencia en la simulación del caudal.

Figura 118

Sensibilidad global de los parámetros calibrados para la iteración final



En conjunto, estos valores calibrados proporcionaron el conjunto de condiciones más coherentes para representar el comportamiento hidrológico mensual del periodo 1990-2011, permitiendo iniciar la fase de validación con un modelo estable y bien ajustado.

4.2.3.7. Resultados de validación del modelo

4.2.3.7.1. Ajuste entre la serie de referencia y los caudales simulados durante la validación

La validación permitió evaluar la capacidad de los parámetros calibrados para representar el comportamiento hidrológico de la cuenca fuera del período empleado para el ajuste del modelo. Los resultados muestran una correspondencia adecuada entre la serie de referencia y los caudales simulados, alcanzándose un coeficiente de determinación de R^2 = 0.803. Aunque este valor es ligeramente menor al obtenido durante la calibración (R^2 = 0.844), la diferencia no es significativa y evidencia que el modelo conserva su capacidad predictiva, reproduciendo de manera consistente la dinámica hidrológica de la cuenca Piuray en un período independiente.

Figura 119

Diagrama de dispersión del caudal

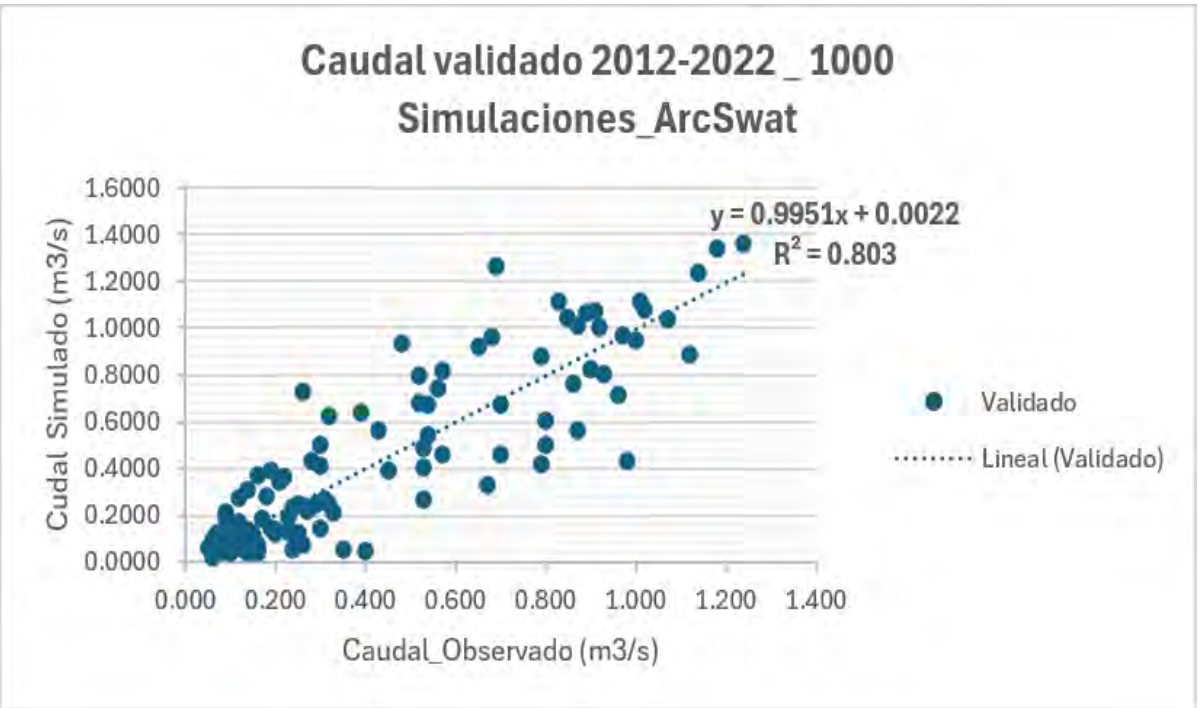
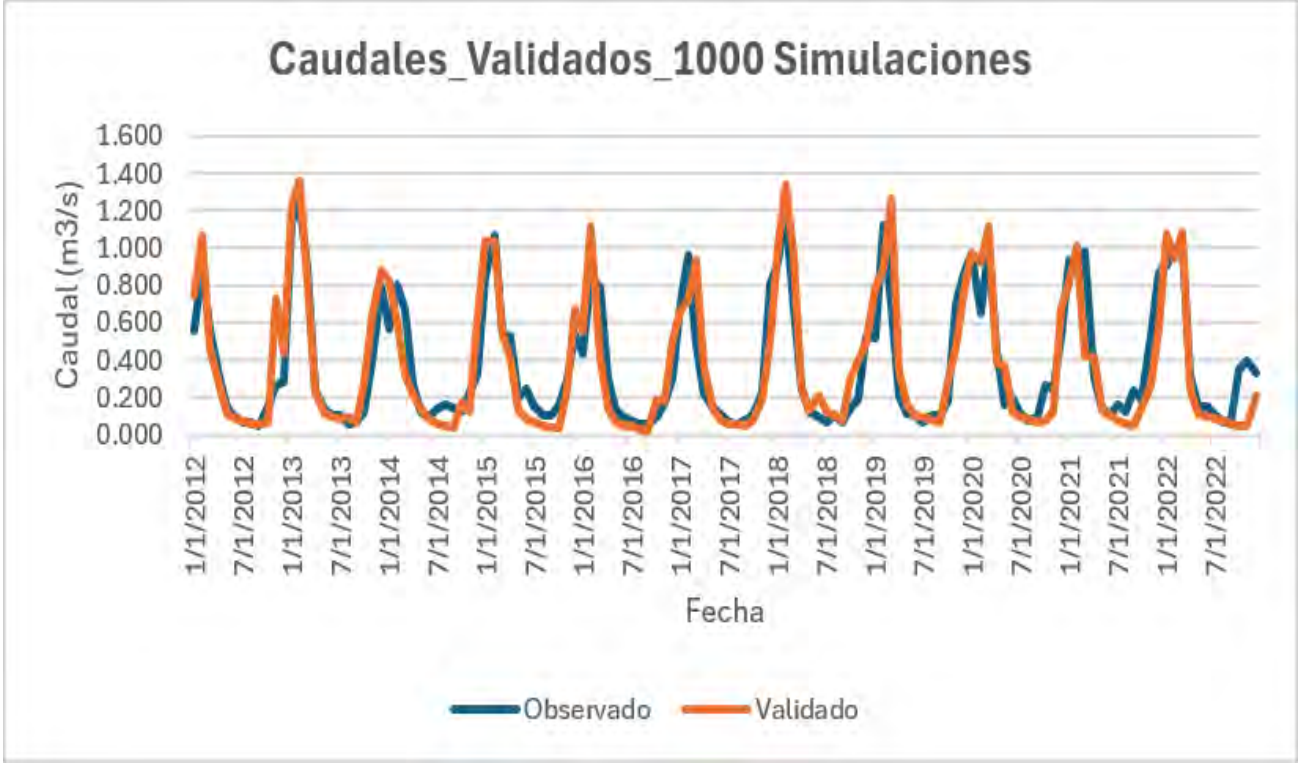


Figura 120

Hidrograma comparativo



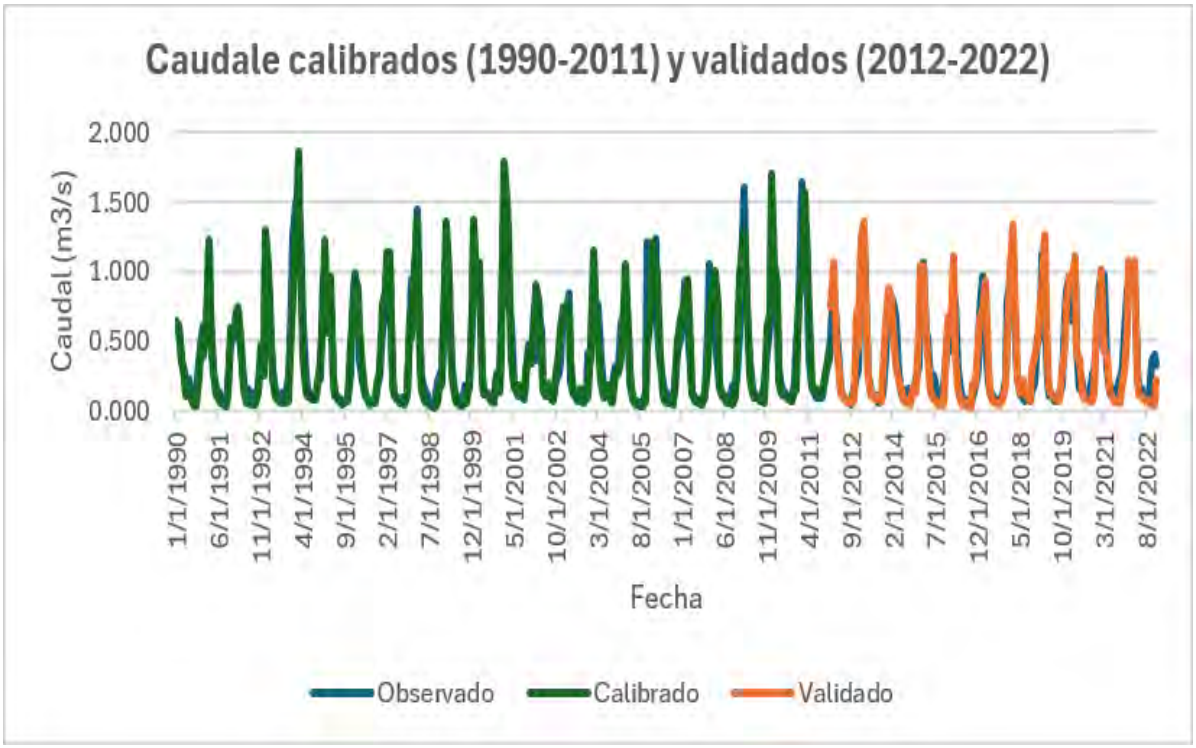
El hidrograma comparativo confirma la consistencia del ajuste. Los picos máximos entre enero y marzo se representan con buena correspondencia, mientras que los valores mínimos entre junio y octubre mantienen un comportamiento muy similar al observado. Las diferencias presentes en algunos picos altos son puntuales, pero la secuencia temporal, la amplitud y la estacionalidad del ciclo hidrológico se conservan de manera adecuada.

4.2.3.8. Comparación global entre calibración y validación

La comparación conjunta de los periodos de calibración (1990-2011) y validación (2012-2022) permite evaluar la estabilidad del modelo bajo condiciones hidrológicas distintas. En la Figura 121 se presenta el hidrograma combinado, donde se aprecia la coherencia temporal entre los caudales de referencia, calibrados y validados.

Figura 121

Hidrograma comparativo entre caudales observados, calibrados y validados.



El comportamiento general del modelo es consistente en ambos periodos, reproduce adecuadamente las crecientes y los descensos característicos de los meses secos, donde la forma del ciclo hidrológico y la sincronía de los eventos se mantienen.

Los indicadores estadísticos también reflejan esta estabilidad, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 55

Comparación de indicadores estadísticos entre calibración y validación

Periodo	R2	NSE	PBIAS (%)
Calibración (1990-2011)	0.84	0.83	-1.19
Validación (2012-2022)	0.80	0.76	-0.10

El modelo conserva valores de R^2, NSE y PBIAS dentro del rango considerado como "**muy bueno**". Esto confirma que el conjunto de parámetros calibrados es robusto y transferible, permitiendo al modelo reproducir de manera confiable la variabilidad mensual de la cuenca durante ambos periodos.

4.2.4. Resultados del balance hídrico

El balance hídrico desarrollado para la laguna Piuray permitió estimar las variaciones mensuales del almacenamiento durante el periodo 2000-2024 a partir de los aportes hídricos generados en la cuenca y las diferentes demandas de agua identificadas. Los resultados obtenidos fueron contrastados con las variaciones de almacenamiento derivadas de los registros históricos del nivel del espejo de agua, con el fin de evaluar la capacidad del balance hídrico para representar la dinámica del sistema.

4.2.4.1. Resultados del balance hídrico interno (oferta hídrica) simulado mediante ArcSWAT

El modelo ArcSWAT integró los procesos hidrológicos superficiales y subterráneos simulados para cada Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU), obteniendo como resultado el caudal total generado en el punto de control FLOW_OUT_8, ubicado en la salida de la cuenca Piuray. Este caudal representa la oferta hídrica producida por la cuenca e integra la contribución de la escorrentía superficial, el flujo lateral y el flujo base, constituyendo el resultado del balance hídrico interno del modelo y la principal entrada para el balance hídrico total de la cuenca Piuray.

Con el modelo ya calibrado y validado, se generó la serie completa de caudales simulados para el periodo 2000-2024. A partir de esta información se obtuvo el promedio mensual final, que representa el comportamiento hidrológico consolidado de la cuenca y constituye la base para los análisis posteriores.

Los caudales medios mensuales generados en este proceso se muestran en la siguiente tabla N°56 expresados en m3/s:

Tabla 56

Caudal de aporte hidrológico de la cuenca a la laguna Piuray - oferta hídrica

CAUDAL DE APORTE DE LA CUENCA (m3/s)												
AÑO	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
2000	1.38	0.93	1.07	0.23	0.11	0.12	0.09	0.08	0.07	0.24	0.13	0.35
2001	1.79	1.52	1.32	0.37	0.17	0.13	0.18	0.14	0.10	0.28	0.43	0.34
2002	0.63	0.91	0.79	0.45	0.14	0.10	0.19	0.09	0.07	0.27	0.43	0.58
2003	0.74	0.76	0.73	0.36	0.12	0.12	0.09	0.15	0.07	0.10	0.09	0.45
2004	1.15	0.85	0.49	0.20	0.09	0.10	0.18	0.07	0.06	0.27	0.26	0.38
2005	0.53	1.06	0.58	0.30	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03	0.06	0.45	0.64
2006	1.21	1.04	0.98	0.40	0.11	0.07	0.06	0.05	0.04	0.19	0.50	0.66
2007	0.74	0.61	0.94	0.48	0.11	0.07	0.06	0.05	0.04	0.14	0.32	0.62
2008	0.87	1.00	0.77	0.19	0.10	0.08	0.06	0.06	0.04	0.10	0.38	0.98
2009	1.19	1.30	0.81	0.24	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.60	0.69
2010	1.71	1.05	0.92	0.21	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.15	0.15	0.80
2011	0.93	1.56	1.32	0.72	0.18	0.14	0.15	0.10	0.13	0.18	0.29	0.45
2012	0.74	1.06	0.46	0.26	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06	0.07	0.72	0.43
2013	1.24	1.36	0.82	0.23	0.11	0.09	0.08	0.09	0.07	0.27	0.63	0.88
2014	0.81	0.60	0.33	0.21	0.14	0.09	0.06	0.05	0.04	0.16	0.12	0.62
2015	1.04	1.03	0.54	0.40	0.13	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.24	0.67
2016	0.57	1.12	0.42	0.15	0.06	0.05	0.05	0.03	0.02	0.19	0.18	0.50
2017	0.67	0.71	0.94	0.36	0.13	0.07	0.06	0.05	0.04	0.08	0.19	0.50
2018	1.00	1.34	0.97	0.24	0.13	0.21	0.12	0.11	0.07	0.30	0.39	0.49
2019	0.79	0.88	1.27	0.34	0.16	0.10	0.09	0.07	0.07	0.28	0.47	0.76
2020	0.97	0.93	1.12	0.39	0.38	0.12	0.10	0.08	0.07	0.08	0.12	0.68
2021	0.81	1.01	0.42	0.41	0.13	0.11	0.07	0.06	0.05	0.14	0.27	0.57
2022	1.08	0.96	1.08	0.25	0.12	0.10	0.08	0.08	0.06	0.05	0.05	0.22
2023	0.30	0.65	0.40	0.27	0.21	0.07	0.04	0.03	0.03	0.04	0.09	0.84
2024	0.20	0.48	0.47	0.25	0.09	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.93	0.62

Nota. Elaboración propia

La serie mensual evidencia un marcado comportamiento estacional. Los mayores caudales se registran entre diciembre y marzo, coincidiendo con la época lluviosa, mientras que durante junio y septiembre predominan los menores aportes debido a la reducción de las precipitaciones y a la mayor contribución relativa del flujo base proveniente del almacenamiento subterráneo. Esta serie constituye la oferta hídrica utilizada posteriormente para desarrollar el balance hídrico del vaso de la laguna Piuray.

4.2.4.2. Resultados del balance hídrico total (ΔV)

A partir del caudal generado mediante ArcSWAT se desarrolló el balance hídrico integral de la cuenca Piuray, incorporando las principales demandas antrópicas identificadas durante el estudio. Además de la extracción de agua realizada por EPS SEDACUSCO desde la laguna, se consideraron los caudales captados en manantiales, reservorios comunales y las demandas agrícolas ubicadas aguas arriba de la laguna. Es importante señalar que el caudal generado por ArcSWAT representa únicamente la respuesta hidrológica natural de la cuenca. En consecuencia, para estimar la variación real del almacenamiento de la laguna fue necesario incorporar las extracciones de agua efectuadas aguas arriba del cuerpo de agua, correspondientes a captaciones comunales, reservorios y demandas agrícolas, además de la extracción realizada por EPS SEDACUSCO. Estas demandas reducen el volumen efectivamente disponible para ingresar a la laguna y, por tanto, fueron integradas en el balance hídrico total desarrollado en la presente investigación.

El balance hídrico total fue calculado mediante la ecuación N.° 35, presentada en la metodología (Cap. 3.5.18.4), obteniéndose inicialmente el caudal neto mensual expresado en m^3/s. Posteriormente, estos valores fueron convertidos a volumen mensual para determinar la variación del almacenamiento de la laguna, expresada en MMC.

Los resultados del caudal neto mensual se presentan en la Tabla 57.

Tabla 57

Datos de balance hídrico total en la cuenca Piuray en m3/s 2000-2024

BALACEN HIDRICO TOTAL DE LA CUENCA PIURAY (m3/s)												
AÑO	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
2000	0.94	0.58	0.63	-0.04	-0.17	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.09	-0.06	0.01
2001	1.01	0.88	0.70	0.05	-0.16	-0.21	-0.20	-0.20	-0.20	-0.16	0.17	0.10
2002	0.41	1.12	0.61	0.21	-0.11	-0.18	-0.12	-0.16	-0.20	-0.14	0.13	0.43
2003	0.61	0.69	0.63	0.19	-0.17	-0.22	-0.23	-0.19	-0.20	-0.21	-0.15	0.12
2004	0.79	0.50	0.10	-0.06	-0.18	-0.22	-0.13	-0.20	-0.22	-0.18	-0.02	0.03
2005	0.18	0.45	0.20	0.03	-0.16	-0.21	-0.23	-0.23	-0.23	-0.19	-0.07	0.08
2006	0.76	0.51	0.48	0.22	-0.13	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.16	0.20	0.24
2007	0.38	0.29	0.37	0.19	-0.12	-0.19	-0.25	-0.25	-0.26	-0.19	-0.05	0.16
2008	0.35	0.48	0.43	-0.05	-0.14	-0.18	-0.23	-0.23	-0.23	-0.20	0.09	0.41
2009	0.66	0.57	0.36	0.04	-0.11	-0.15	-0.20	-0.20	-0.19	-0.18	0.29	0.37
2010	1.24	0.84	0.83	0.06	-0.12	-0.16	-0.21	-0.21	-0.21	-0.12	-0.02	0.26
2011	0.56	1.12	0.76	0.49	-0.02	-0.11	-0.14	-0.15	-0.16	-0.09	0.03	0.34
2012	0.33	0.62	0.20	0.00	-0.14	-0.20	-0.26	-0.26	-0.26	-0.22	0.10	0.57
2013	0.76	0.77	0.33	-0.02	-0.18	-0.21	-0.25	-0.25	-0.22	-0.14	0.30	0.48
2014	0.69	0.43	0.06	-0.06	-0.12	-0.20	-0.25	-0.26	-0.26	-0.16	-0.10	0.16
2015	0.46	0.62	0.24	0.05	-0.13	-0.20	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.09	0.19
2016	0.22	0.52	0.12	-0.11	-0.20	-0.25	-0.31	-0.32	-0.34	-0.23	-0.16	0.01
2017	0.19	0.16	0.52	0.11	-0.12	-0.23	-0.28	-0.30	-0.28	-0.22	-0.09	0.03
2018	0.45	0.78	0.87	-0.01	-0.13	-0.19	-0.24	-0.22	-0.24	-0.07	0.05	0.06
2019	0.36	0.27	0.76	0.08	-0.16	-0.24	-0.29	-0.30	-0.33	-0.16	0.26	0.58
2020	0.69	0.71	0.47	0.08	-0.10	-0.27	-0.35	-0.35	-0.34	-0.33	-0.25	0.19
2021	0.42	0.43	0.03	0.11	-0.15	-0.22	-0.30	-0.31	-0.30	-0.22	-0.14	0.15
2022	0.44	0.50	0.42	-0.07	-0.22	-0.29	-0.32	-0.33	-0.33	-0.31	-0.30	-0.14
2023	-0.05	0.09	0.04	0.02	-0.08	-0.20	-0.26	-0.28	-0.34	-0.28	-0.24	0.34
2024	-0.07	0.09	0.07	0.01	-0.20	-0.28	-0.32	-0.35	-0.36	-0.30	0.30	0.25

Nota. Elaboración propia.

Los valores obtenidos en la Tabla 57 representan el caudal neto resultante del balance hídrico total, después de considerar los aportes naturales generados por la cuenca y las extracciones correspondientes a las demandas identificadas. Los valores positivos indican que, durante el mes analizado, los aportes superaron las extracciones, mientras que los valores negativos representan un predominio de las salidas sobre los aportes. Para evaluar el efecto de este balance sobre el almacenamiento de la laguna, los caudales netos mensuales fueron convertidos a volumen mediante la consideración del número de días de cada mes, obteniéndose la variación mensual de almacenamiento expresada en millones de metros cúbicos (MMC), cuyos resultados se presentan en la Tabla 58.

Tabla 58

Datos de balance hídrico total en la cuenca Piuray en MMC 2000-2024

BALACEN HIDRICO TOTAL DE LA CUENCA PIURAY (MMC)												
AÑO	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
2000	2.52	1.39	1.68	-0.10	-0.45	-0.51	-0.55	-0.58	-0.56	-0.25	-0.16	0.03
2001	2.71	2.12	1.88	0.12	-0.44	-0.55	-0.54	-0.53	-0.53	-0.42	0.43	0.27
2002	1.11	2.72	1.64	0.54	-0.29	-0.46	-0.33	-0.42	-0.51	-0.38	0.34	1.14
2003	1.63	1.67	1.67	0.48	-0.47	-0.57	-0.61	-0.52	-0.52	-0.56	-0.38	0.31
2004	2.12	1.21	0.25	-0.16	-0.48	-0.56	-0.36	-0.54	-0.57	-0.49	-0.05	0.08
2005	0.48	1.08	0.55	0.08	-0.42	-0.55	-0.62	-0.61	-0.59	-0.51	-0.18	0.23
2006	2.05	1.23	1.28	0.57	-0.35	-0.52	-0.57	-0.58	-0.56	-0.42	0.52	0.65
2007	1.01	0.70	0.99	0.50	-0.32	-0.50	-0.67	-0.68	-0.67	-0.50	-0.12	0.43
2008	0.94	1.16	1.15	-0.12	-0.38	-0.45	-0.61	-0.61	-0.59	-0.53	0.24	1.09
2009	1.75	1.38	0.96	0.09	-0.30	-0.40	-0.53	-0.53	-0.50	-0.49	0.75	0.98
2010	3.32	2.04	2.21	0.17	-0.32	-0.42	-0.56	-0.55	-0.53	-0.33	-0.06	0.70
2011	1.50	2.72	2.05	1.26	-0.06	-0.30	-0.37	-0.41	-0.41	-0.25	0.07	0.90
2012	0.88	1.51	0.54	-0.01	-0.36	-0.53	-0.68	-0.70	-0.67	-0.60	0.25	1.53
2013	2.03	1.86	0.90	-0.06	-0.49	-0.55	-0.66	-0.66	-0.58	-0.36	0.78	1.30
2014	1.84	1.04	0.16	-0.16	-0.32	-0.53	-0.68	-0.69	-0.68	-0.43	-0.26	0.42
2015	1.23	1.50	0.64	0.13	-0.36	-0.53	-0.69	-0.69	-0.68	-0.69	-0.23	0.51
2016	0.59	1.25	0.32	-0.27	-0.53	-0.66	-0.82	-0.87	-0.87	-0.63	-0.42	0.03
2017	0.52	0.38	1.40	0.29	-0.33	-0.59	-0.76	-0.80	-0.73	-0.58	-0.23	0.07
2018	1.20	1.88	2.32	-0.01	-0.36	-0.48	-0.65	-0.59	-0.62	-0.20	0.13	0.17
2019	0.96	0.65	2.02	0.21	-0.42	-0.61	-0.76	-0.79	-0.85	-0.44	0.68	1.56
2020	1.86	1.71	1.26	0.21	-0.27	-0.69	-0.93	-0.94	-0.88	-0.88	-0.66	0.50
2021	1.12	1.05	0.09	0.28	-0.41	-0.58	-0.80	-0.83	-0.78	-0.60	-0.35	0.41
2022	1.19	1.20	1.14	-0.17	-0.59	-0.75	-0.85	-0.88	-0.85	-0.84	-0.77	-0.38
2023	-0.14	0.21	0.11	0.06	-0.21	-0.53	-0.70	-0.75	-0.87	-0.76	-0.61	0.91
2024	-0.19	0.21	0.19	0.04	-0.53	-0.72	-0.86	-0.92	-0.92	-0.81	0.77	0.67

Nota. Elaboración propia.

De las tablas 58 se observan diferencias interanuales importantes. Mientras que años como 2010 y 2011 presentan balances positivos relativamente elevados durante la temporada húmeda, años como 2022, 2023 y 2024 muestran una reducción en la magnitud de los excedentes y una mayor persistencia de déficits durante la época seca, evidenciando una menor disponibilidad hídrica en el sistema.

4.2.4.3. Resultados hidrológicos reportados por Lloclla y Ugarte (2018)

Con el propósito de contextualizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca Piuray, se presentan como referencia los resultados obtenidos por Lloclla y Ugarte (2018). En dicho estudio, el balance hídrico superficial fue estimado mediante el método tradicional de balance de masas, mientras que el balance hídrico subterráneo fue modelado mediante

MODFLOW. La integración de ambos permitió obtener el balance hídrico total de la microcuenca. Estos resultados no forman parte de la presente investigación y se incluyen únicamente como referencia para comprender la dinámica hidrológica del área de estudio.

Como referencia al estudio en cuencas altoandinas del departamento del Cusco, Lloclla y Ugarte (2018) estimaron el balance hídrico superficial. Los resultados obtenidos evidencian la variación mensual y anual de los aportes superficiales, constituyendo un ejemplo de los productos hidrológicos que el modelo es capaz de generar (Tablas 58 - 60).

Tabla 59

Resumen balance hídrico superficial en MMC

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2017	5.66	5.87	4.18	-0.70	-1.51	-1.24	-1.27	-1.33	-1.31	-1.04	1.45	4.25	13.01
2020	5.65	5.86	4.17	-0.71	-1.52	-1.24	-1.28	-1.34	-1.32	-1.05	1.43	4.24	12.89
2030	5.63	5.84	4.15	-0.73	-1.53	-1.25	-1.27	-1.34	-1.30	-1.03	1.40	4.24	12.82
2040	5.61	5.83	4.13	-0.75	-1.53	-1.25	-1.26	-1.34	-1.29	-1.01	1.36	4.25	12.75
2050	5.59	5.81	4.10	-0.77	-1.54	-1.25	-1.26	-1.33	-1.27	-1.00	1.33	4.25	12.67
2060	5.57	5.79	4.08	-0.79	-1.55	-1.26	-1.25	-1.33	-1.25	-0.98	1.30	4.25	12.58
2070	5.55	5.77	4.06	-0.81	-1.55	-1.26	-1.25	-1.33	-1.24	-0.96	1.26	4.25	12.49
2080	5.52	5.75	4.03	-0.83	-1.56	-1.26	-1.24	-1.33	-1.23	-0.95	1.23	4.25	12.38
2090	5.50	5.74	4.01	-0.86	-1.56	-1.27	-1.23	-1.33	-1.23	-0.93	1.19	4.25	12.27
2100	5.48	5.72	3.98	-0.88	-1.57	-1.27	-1.23	-1.33	-1.23	-0.92	1.16	4.26	12.15

Nota. Adaptado de Lloclla y Ugarte (2018).

Tabla 60

Resumen balance hídrico subterráneo en MMC

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2017	0.85	0.70	0.44	-0.62	-0.23	0.01	0.01	0.02	0.06	-1.16	-0.10	0.32	0.31
2020	0.85	0.70	0.44	-0.62	-0.23	0.01	0.01	0.02	0.06	-1.16	-0.10	0.32	0.31
2030	0.85	0.70	0.44	-0.62	-0.23	0.01	0.01	0.02	0.04	-1.16	-0.10	0.32	0.28
2040	0.85	0.70	0.44	-0.63	-0.23	0.00	0.01	0.02	0.03	-1.16	-0.11	0.32	0.25
2050	0.85	0.70	0.44	-0.63	-0.23	0.00	0.01	0.02	0.01	-1.16	-0.11	0.32	0.22
2060	0.85	0.70	0.44	-0.63	-0.23	0.00	0.01	0.02	-0.01	-1.16	-0.11	0.32	0.19
2070	0.85	0.70	0.44	-0.63	-0.23	0.00	0.00	0.02	-0.02	-1.16	-0.11	0.32	0.16
2080	0.85	0.69	0.44	-0.63	-0.23	0.00	0.00	0.01	-0.03	-1.16	-0.11	0.31	0.14
2090	0.84	0.69	0.43	-0.63	-0.24	0.00	0.00	0.01	-0.03	-1.17	-0.11	0.31	0.12
2100	0.84	0.69	0.43	-0.64	-0.24	0.00	0.00	0.01	-0.03	-1.17	-0.11	0.31	0.09

Nota. Adaptado de Lloclla y Ugarte (2018).

Tabla 61

Resumen balance hídrico total en MMC

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2017	6.51	6.57	4.62	-1.32	-1.74	-1.23	-1.26	-1.31	-1.25	-2.2	1.35	4.57	13.32
2020	6.5	6.56	4.61	-1.33	-1.75	-1.24	-1.27	-1.31	-1.26	-2.2	1.33	4.56	13.2
2030	6.48	6.54	4.59	-1.35	-1.76	-1.24	-1.26	-1.31	-1.26	-2.19	1.29	4.57	13.1
2040	6.46	6.52	4.57	-1.37	-1.76	-1.24	-1.26	-1.32	-1.26	-2.17	1.26	4.57	13
2050	6.44	6.51	4.54	-1.39	-1.77	-1.25	-1.25	-1.32	-1.26	-2.16	1.22	4.57	12.89
2060	6.42	6.49	4.52	-1.41	-1.78	-1.25	-1.25	-1.32	-1.26	-2.14	1.19	4.57	12.77
2070	6.39	6.47	4.49	-1.44	-1.78	-1.26	-1.24	-1.32	-1.26	-2.13	1.15	4.57	12.65
2080	6.37	6.45	4.47	-1.46	-1.79	-1.26	-1.24	-1.32	-1.26	-2.11	1.12	4.57	12.52
2090	6.34	6.43	4.44	-1.49	-1.8	-1.27	-1.23	-1.32	-1.26	-2.1	1.08	4.57	12.39
2100	6.32	6.41	4.41	-1.52	-1.81	-1.27	-1.23	-1.32	-1.26	-2.08	1.04	4.57	12.25

Nota. Adaptado de Lloclla y Ugarte (2018).

Como puede observarse, los resultados reportados por Lloclla y Ugarte (2018) presentan excedentes anuales positivos cercanos a 13 MMC durante los diferentes escenarios evaluados. Estos resultados se presentan únicamente como referencia hidrológica para la microcuenca Piuray y permiten contextualizar posteriormente la comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación.

4.2.4.4. Resultados de estudio hidrológico de la laguna piuray por SEDACUSCO

A continuación, se presentan los resultados del balance hídrico de la cuenca Piuray obtenidos en el Estudio Hidrológico de la laguna Piuray (2024), elaborado por EPS SEDACUSCO S.A. Dichos resultados representan el balance hídrico generada en la cuenca antes de descontar el caudal autorizado para el abastecimiento de agua potable de la ciudad del Cusco (0.30 m^3/s).

Tabla 62

Balance hídrico en la cuenca Piuray en m3/s 1990-2022

BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA (m3/s)												
AÑO	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
1990	0.58	0.61	0.36	0.28	0.13	0.23	0.09	0.08	0.11	0.35	0.53	0.61
1991	0.52	1.22	0.73	0.28	0.15	0.13	0.08	0.06	0.08	0.17	0.47	0.53
1992	0.72	0.67	0.43	0.21	0.09	0.16	0.07	0.13	0.06	0.13	0.42	0.34
1993	1.16	0.94	0.44	0.3	0.13	0.09	0.07	0.13	0.1	0.24	0.47	1.26
1994	1.49	1.42	1.36	0.63	0.27	0.15	0.1	0.08	0.1	0.2	0.23	0.97
1995	0.69	0.68	0.84	0.23	0.12	0.08	0.06	0.05	0.06	0.09	0.27	0.69
1996	0.99	0.75	0.37	0.22	0.12	0.07	0.05	0.06	0.07	0.14	0.25	0.58
1997	0.7	1.07	1.05	0.28	0.12	0.09	0.06	0.09	0.08	0.1	0.63	0.94
1998	0.88	1.45	0.5	0.23	0.16	0.1	0.07	0.06	0.05	0.2	0.24	0.29
1999	0.87	1.18	0.75	0.32	0.12	0.11	0.07	0.05	0.18	0.1	0.16	0.64
2000	1.24	0.89	0.87	0.26	0.12	0.13	0.1	0.07	0.06	0.26	0.28	0.63
2001	1.56	1.42	0.78	0.64	0.19	0.13	0.1	0.1	0.08	0.23	0.47	0.35
2002	0.75	0.37	0.66	0.59	0.17	0.1	0.12	0.08	0.09	0.22	0.27	0.34
2003	0.75	0.69	0.84	0.2	0.12	0.09	0.07	0.1	0.06	0.11	0.41	0.36
2004	1.03	0.68	0.76	0.4	0.14	0.12	0.1	0.09	0.19	0.32	0.29	0.63
2005	0.56	0.68	0.59	0.19	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06	0.13	1.21	0.87
2006	1.15	1.24	0.6	0.33	0.21	0.14	0.12	0.08	0.1	0.13	0.42	0.51
2007	0.7	0.93	0.61	0.29	0.13	0.09	0.06	0.08	0.06	0.09	0.61	1.05
2008	0.61	0.51	0.3	0.17	0.1	0.1	0.06	0.06	0.18	0.19	0.23	0.56
2009	1.25	1.6	0.75	0.36	0.16	0.11	0.1	0.07	0.07	0.18	0.43	0.62
2010	1.41	0.86	0.71	0.31	0.15	0.13	0.11	0.08	0.07	0.2	0.46	0.76
2011	1.64	1.15	1.29	0.36	0.17	0.14	0.09	0.09	0.09	0.17	0.3	0.36
2012	0.56	0.89	0.57	0.31	0.14	0.09	0.07	0.07	0.05	0.15	0.26	0.28
2013	1.14	1.24	0.9	0.24	0.13	0.1	0.1	0.06	0.07	0.12	0.39	0.79
2014	0.57	0.8	0.67	0.27	0.12	0.09	0.14	0.16	0.14	0.12	0.23	0.32
2015	0.85	1.07	0.54	0.53	0.2	0.25	0.15	0.1	0.1	0.16	0.29	0.54
2016	0.43	0.83	0.79	0.3	0.13	0.09	0.08	0.06	0.06	0.09	0.17	0.3
2017	0.7	0.96	0.48	0.22	0.14	0.1	0.07	0.06	0.08	0.1	0.23	0.8
2018	0.92	1.18	0.68	0.25	0.12	0.09	0.07	0.1	0.07	0.14	0.19	0.53
2019	0.52	1.12	0.69	0.21	0.11	0.1	0.07	0.1	0.1	0.18	0.7	0.86
2020	0.97	0.65	1.01	0.45	0.16	0.2	0.11	0.08	0.09	0.26	0.25	0.52
2021	0.93	0.87	0.98	0.3	0.14	0.1	0.16	0.12	0.24	0.19	0.53	0.87
2022	0.91	1	1.02	0.32	0.15	0.15	0.1	0.07	0.08	0.35	0.4	0.33

Nota. Adaptado de estudio hidrológico de la laguna piuray por SEDACUSCO (2024).

4.2.4.5. Análisis comparativo del balance hídrico

La comparación de los tres balances hídricos evidencia un comportamiento hidrológico estacional similar, caracterizado por un superávit hídrico durante los meses de diciembre a marzo, coincidente con la temporada de lluvias en la cuenca, y un déficit hídrico entre mayo y

octubre, periodo en el que disminuyen las precipitaciones y predominan las pérdidas por evapotranspiración. Este patrón se mantiene tanto en la presente investigación como en las investigaciones de referencia, lo que demuestra la influencia del régimen pluviométrico sobre la disponibilidad hídrica de la cuenca y de la laguna.

En la presente investigación (2000-2024), el balance hídrico muestra una tendencia hacia mayores déficits durante los meses de estiaje, alcanzando los valores mínimos entre julio y septiembre, lo que indica una reducción temporal del almacenamiento de agua en la laguna. Por su parte, el estudio de SEDACUSCO (1990-2022) presenta un comportamiento estacional similar; sin embargo, su balance hídrico no considera la extracción directa de 0.30 m^3/s realizada por EPS SEDACUSCO desde la laguna Piuray para el abastecimiento de agua potable. En la presente investigación, dicha extracción sí fue incorporada junto con las demás demandas identificadas en la cuenca, por lo que el balance obtenido representa las variaciones de disponibilidad hídrica considerando estas intervenciones. En contraste, la investigación de Lloclla y Ugarte (2018), realizada en 2018 con proyecciones hasta el año 2100, proyecta una disminución gradual del superávit hídrico y un incremento progresivo del déficit durante la época seca, evidenciando una reducción de la disponibilidad hídrica a largo plazo asociada a las condiciones climáticas futuras.

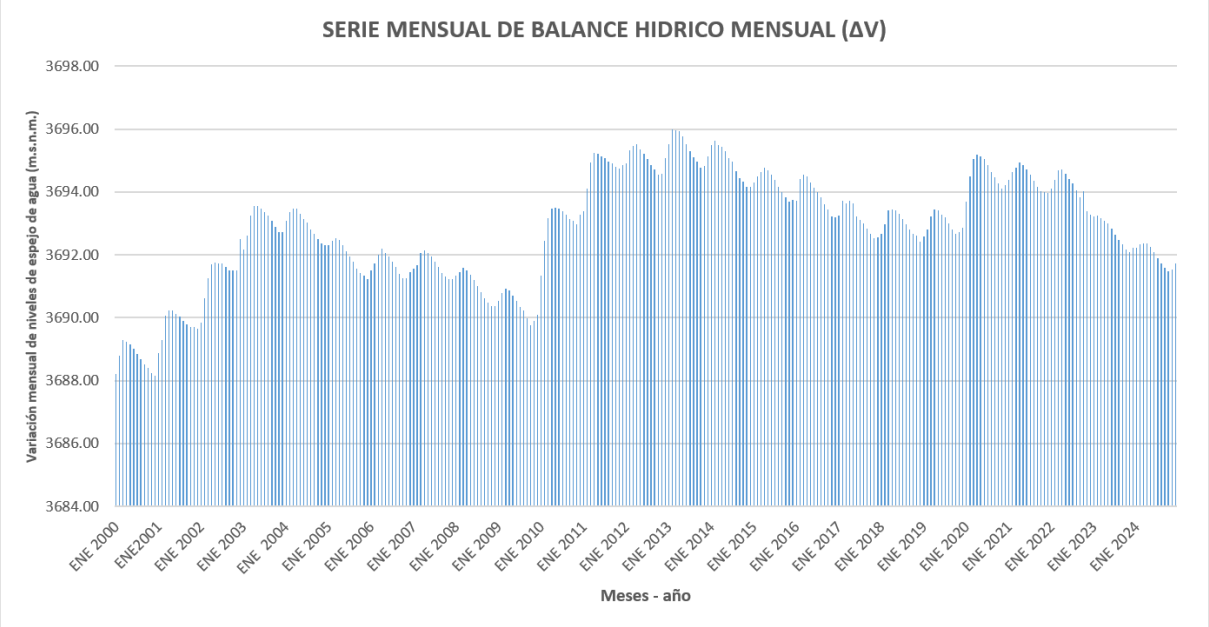
En conjunto, los tres estudios muestran una respuesta hidrológica consistente, donde la disponibilidad de agua depende principalmente de la estacionalidad de la precipitación. Asimismo, la tendencia decreciente observada en la investigación proyectada y los déficits registrados en la presente investigación sugieren que las variaciones en las condiciones climáticas podrían modificar la disponibilidad hídrica y la dinámica de almacenamiento de la laguna Piuray, resaltando la necesidad de fortalecer las estrategias de gestión y conservación de los recursos hídricos en la cuenca.

4.2.4.6. Variación temporal del del nivel y volumen de almacenamiento observado

La Figura 122 presenta la variación temporal del nivel del espejo de agua de la laguna Piuray durante el período 2000-2024, a partir de los registros históricos proporcionados por EPS SEDACUSCO S.A. En términos generales, se observa un comportamiento dinámico caracterizado por fluctuaciones temporales del nivel del espejo de agua.

Figura 122

Variación mensual de niveles de espejo de agua de la laguna Piuray (2000-2024)



Nota. Elaboración propia a partir de los niveles históricos del espejo de agua proporcionados por SEDACUSCO S.A.

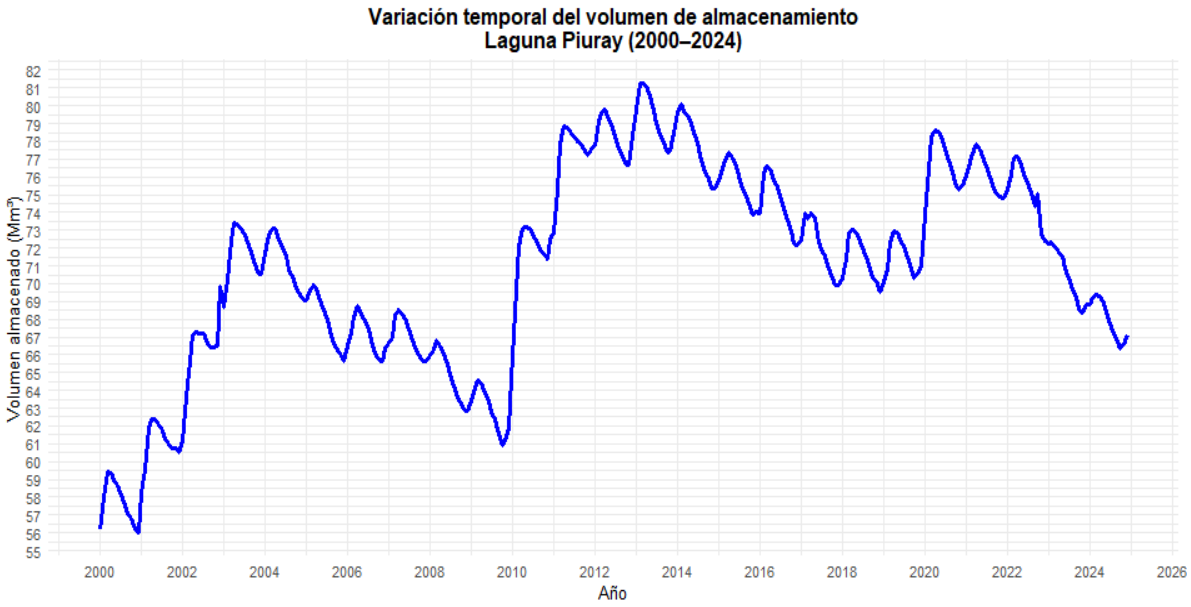
Los resultados muestran periodos de incremento y disminución del nivel del espejo de agua a lo largo de la serie analizada. Los mayores niveles se registran principalmente entre los años 2011 y 2014, mientras que los valores más bajos se concentran en los primeros años y hacia el final del período. Estos registros constituyen la información observada utilizada para estimar el volumen de almacenamiento mediante la relación cota-volumen obtenida del estudio batimétrico de la laguna.

Volumen de almacenamiento

A partir de los registros históricos del nivel del espejo de agua y la relación cota-volumen obtenida de la batimetría de la laguna, se estimó la variación temporal del volumen de almacenamiento durante el período 2000-2024. Esta transformación permitió obtener la serie mensual del volumen almacenado y evaluar su comportamiento a lo largo del periodo de estudio.

Figura 123

Variación temporal del volumen de almacenamiento en MMC de la laguna Piuray (2000 - 2024)



Nota. Elaboración propia en el software R 4.4.3, a partir de registros históricos del nivel del espejo de agua proporcionados por EPS SEDACUSCO S.A.

Los resultados muestran periodos de incremento y disminución del volumen almacenado a lo largo de la serie analizada, registrándose valores aproximados entre 56 Mm³ y 81 Mm³. Los mayores volúmenes se presentan entre los años 2012 y 2014, mientras que los menores valores corresponden principalmente a los primeros años del período de estudio. El registro histórico mensual de volúmenes almacenados utilizado en el presente análisis se presenta en el Anexo N° 42.

4.2.4.7. Comparación entre ΔV observado y ΔV estimado mediante balance hídrico.

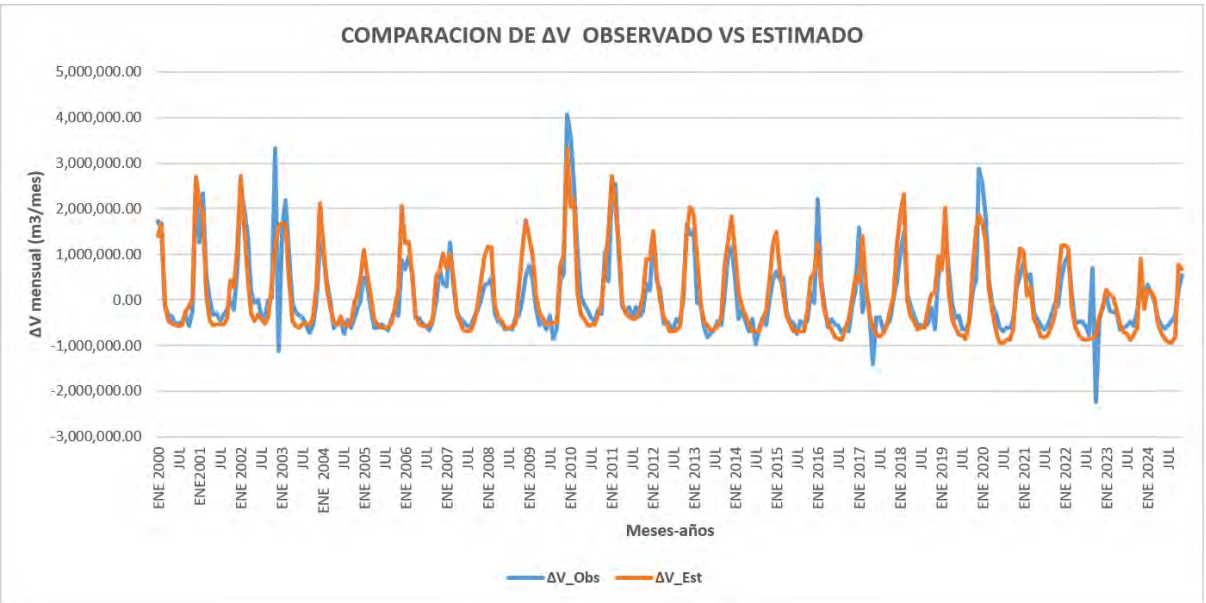
A partir de la serie mensual de volúmenes almacenados, se determinó la variación mensual del almacenamiento observado (ΔV observado) para el período 2000-2024, calculada como la diferencia entre el volumen almacenado de meses consecutivos. Esta variable permitió evaluar las ganancias y pérdidas mensuales de almacenamiento y compararlas con las variaciones estimadas mediante el balance hídrico.

Para facilitar la comparación entre ambas estimaciones, se representaron conjuntamente las series mensuales de ΔV observado y ΔV estimado durante el período 2000-2024. Esta representación permite identificar la correspondencia temporal entre los incrementos y disminuciones del almacenamiento y evaluar visualmente el comportamiento del balance hídrico respecto a las variaciones registradas en la laguna.

La Figura 124 muestra la comparación temporal entre ambas series. En términos generales, se observa que el balance hídrico reproduce adecuadamente el patrón estacional de ganancia y pérdida de almacenamiento registrado en la laguna. En esta representación, el valor $\Delta V = 0$ corresponde a una condición de equilibrio del almacenamiento, en la cual el volumen almacenado no experimenta variación durante el período analizado, debido a que los aportes hídricos compensan las salidas consideradas en el balance. Los valores positivos representan incrementos del volumen almacenado, mientras que los valores negativos indican una disminución del almacenamiento, es decir, pérdidas netas de agua respecto al volumen existente al inicio del mes. Los principales incrementos y descensos de volumen ocurren en períodos similares, evidenciando una respuesta consistente entre las variaciones observadas y las estimadas.

Figura 124

Comparación entre el ΔV observado y el ΔV estimado mediante balance hídrico (2000-2024)



Nota. Elaboración propia.

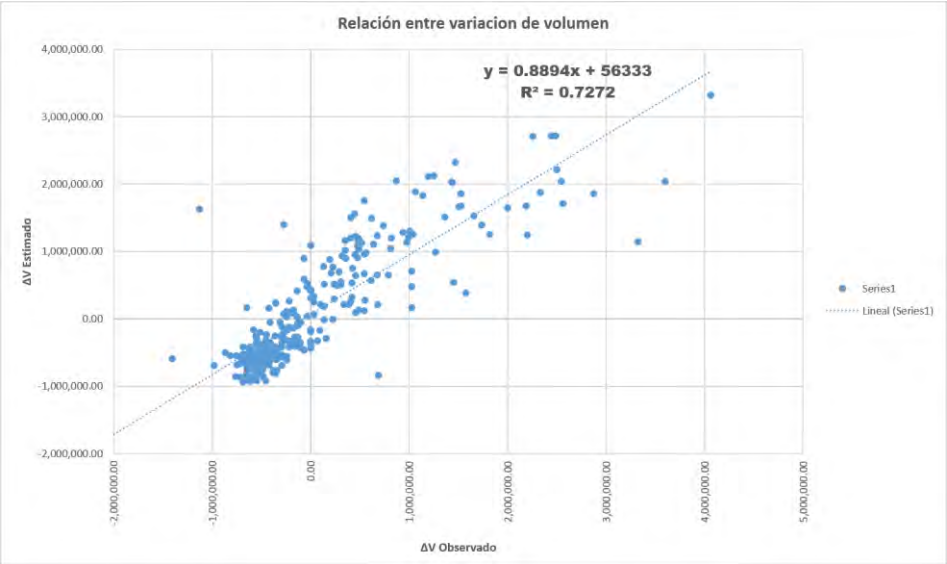
Con el propósito de cuantificar el grado de asociación entre ambas variables, se realizó un análisis de regresión lineal utilizando las variaciones mensuales observadas y simuladas del volumen de almacenamiento.

La regresión lineal permitió evaluar la correspondencia entre ambas series y determinar en qué medida las variaciones estimadas mediante el balance hídrico explican las variaciones observadas en el almacenamiento de la laguna. La relación se representó mediante un diagrama de dispersión y su respectiva recta de ajuste, cuyos resultados se muestran en la Figura 125.

La distribución de los puntos evidencia una relación lineal positiva entre ambas series, obteniéndose un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.727$ y $r = 0.85$. Este resultado indica que aproximadamente el 72.7 % de la variabilidad observada en la variación mensual del almacenamiento es explicada por el balance hídrico desarrollado para la laguna Piuray. Asimismo, la pendiente de la recta de ajuste próxima a la unidad refleja una correspondencia favorable entre los cambios de almacenamiento observados y los estimados.

Figura 125

Relación entre el ΔV observado y el ΔV estimado mediante balance hídrico



Nota. Elaboración propia.

En conjunto, los resultados muestran que el balance hídrico reproduce de manera satisfactoria la dinámica temporal del almacenamiento de la laguna Piuray, constituyendo una herramienta adecuada para representar las variaciones mensuales del volumen almacenado durante el período de estudio

Asimismo, la correspondencia observada entre ambas series evidencia que el balance hídrico desarrollado logra representar adecuadamente el comportamiento temporal del almacenamiento de la laguna Piuray, constituyendo una base consistente para el análisis hidrológico posterior.

4.2.5. Influencia de la precipitación y la temperatura en la variación del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray (2000-2024)

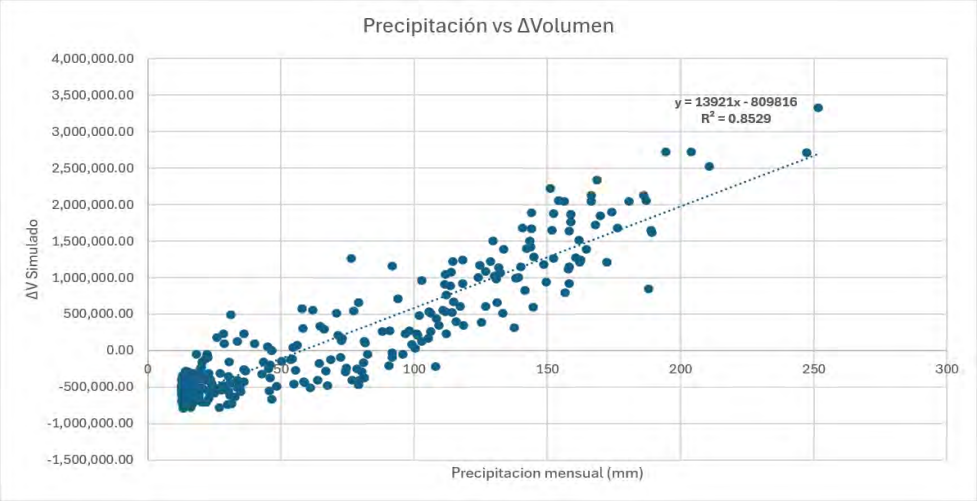
Para evaluar la influencia de las variables climáticas sobre la dinámica de almacenamiento de la laguna Piuray, se utilizaron series mensuales correspondientes al período 2000-2024. El análisis consideró la precipitación mensual acumulada en mm, la temperatura promedio mensual en °C y la variación mensual del volumen de almacenamiento o ΔV, obtenida a partir del balance hídrico desarrollado para la laguna (Anexo N°40).

4.2.5.1. Relación precipitación - ΔV

La Figura 126 muestra la relación entre la precipitación mensual y la variación mensual del volumen de almacenamiento (ΔV). Se observa una tendencia positiva claramente definida, evidenciando que los incrementos de precipitación se encuentran asociados a mayores ganancias de almacenamiento en la laguna.

Figura 126

Diagrama de dispersión entre precipitación mensual y variación mensual del volumen de almacenamiento (ΔV)



Nota. Elaboración propia

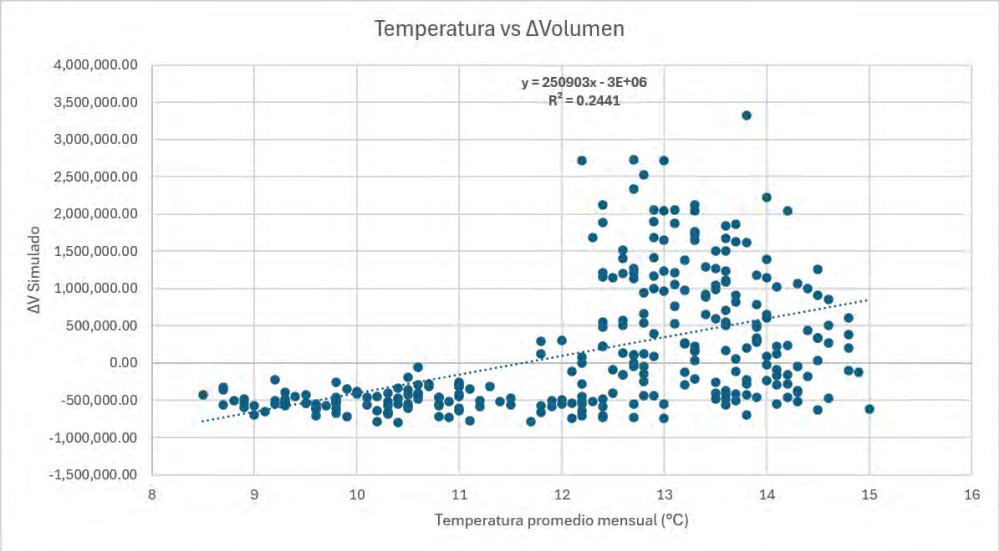
El análisis de regresión lineal presentó un coeficiente de Pearson de r = 0.923 y un R^2 = 0.8529, indicando que la precipitación explica el 85.29 % de la variabilidad de ΔV. Se observa una relación lineal positiva fuerte, evidenciando una mayor asociación del almacenamiento con la precipitación respecto a la temperatura.

4.2.5.2. Relación temperatura - ΔV

La relación entre la temperatura promedio mensual y la variación mensual del volumen de almacenamiento se presenta en la Figura 127. En comparación con la precipitación, la dispersión de los datos es considerablemente mayor y la tendencia observada resulta menos definida.

Figura 127

Diagrama de dispersión entre temperatura promedio mensual y variación mensual del volumen de almacenamiento (ΔV)



Nota. Elaboración propia

El análisis de regresión lineal presentó un coeficiente de Pearson de r = 0.494 y un R^2 = 0.2441, indicando que la temperatura explica el 24.41 % de la variabilidad de ΔV. Se observa una relación lineal positiva moderada, menor que la de la precipitación, lo que sugiere una participación indirecta de la temperatura en el almacenamiento, asociada principalmente a la evaporación y la estacionalidad climática.

4.2.6. Evaluación del desempeño y selección de modelos climáticos globales (GCM)

Con la finalidad de seleccionar los modelos climáticos con mejor desempeño para la cuenca Piuray, se evaluaron diez Modelos de Circulación General (GCM) pertenecientes al proyecto CMIP6. Los resultados de la evaluación estadística y la selección de modelos se presentan en los apartados siguientes.

4.2.6.1. Conjunto de modelos climáticos

Se evaluaron diez Modelos de Circulación General (GCM) pertenecientes al proyecto CMIP6, considerando los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los modelos analizados, junto con

su institución de origen, resolución espacial, variables climáticas y período de simulación, se presentan en la Tabla 63.

Tabla 63

Modelos Climáticos Globales (GCM) seleccionados - CMIP6 (Copernicus, escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5)

N.º	Modelo Climático (GCM)	País de Origen	Institución	Resolución Aproximada (° / km)	Variables Utilizadas	Escenarios Analizados	Periodo de Simulación (años)
1	**ACCESS-CM2**	Australia	CSIRO / Bureau of Meteorology	~1.2° (~130 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
2	**BCC-CSM2-MR**	China	Beijing Climate Center	~1.1° (~120 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
3	**CMCC-ESM2**	Italia	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici	~1.25° (~140 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
4	**CNRM-ESM2-1**	Francia	Météo-France / CERFACS	~1.4° (~155 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
5	**EC-Earth3-Veg-LR**	Europa	EC-Earth Consortium	~1.0° (~110 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
6	**INM-CM4-8**	Rusia	Institute for Numerical Mathematics	~2.0° (~220 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
7	**MIROC6**	Japón	University of Tokyo / JAMSTEC	~1.4° (~155 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
8	**MPI-ESM1-2-LR**	Alemania	Max Planck Institute for Meteorology	~1.9° (~210 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
9	**MRI-ESM2-0**	Japón	Meteorological Research Institute	~1.1° (~120 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100
10	**NorESM2-LM**	Noruega	Norwegian Climate Centre	~2.5° (~275 km)	P, Tmax, Tmin	SSP2-4.5 / SSP5-8.5	2015-2100

Nota. Elaboración propia con base en datos del Copernicus Climate Data Store (CDS, 2025).

4.2.6.2. Procesamiento de reducción de escala de los Modelos Climáticos Globales (MCG)

a. Datos de entrada

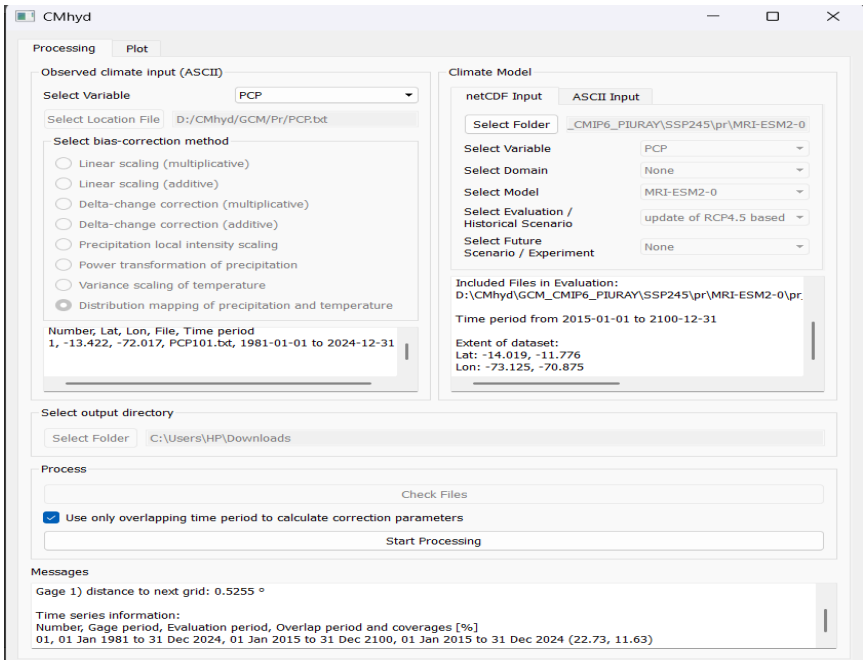
Las series históricas de precipitación y temperatura máxima y mínima observadas (1981-2024) fueron proporcionadas por el SENAMHI y el producto PISCO (1981-2016), ambas homogenizadas y validadas. Estas sirvieron como base de referencia para la calibración estadística de los GCM.

b. Software utilizado CMhyd

El proceso de corrección se ejecutó mediante el software CMhyd en este estudio se aplicó el método Quantile Mapping no paramétrico por su robustez frente a sesgos estacionales y su capacidad de conservar extremos.

Figura 128

Vista de la interfaz principal del software CMhyd utilizada para la corrección de sesgo de precipitación y temperatura.



Nota. Elaboración propia con base en el entorno del software CMhyd (2025), utilizado para la calibración estadística de modelos climáticos del consorcio CMIP6 descargados de Copernicus Climate Data Store.

4.2.6.3. Análisis estadístico de los modelos climaticos para precipitacion y temperatura, post-corrección

La evaluación estadística de los modelos climáticos regionalizados permitió cuantificar el grado de ajuste entre las series simuladas y los datos observados de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para el período 1981-2024. Los indicadores obtenidos para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 se presentan en las Tablas 64 y 65.

Tabla 64

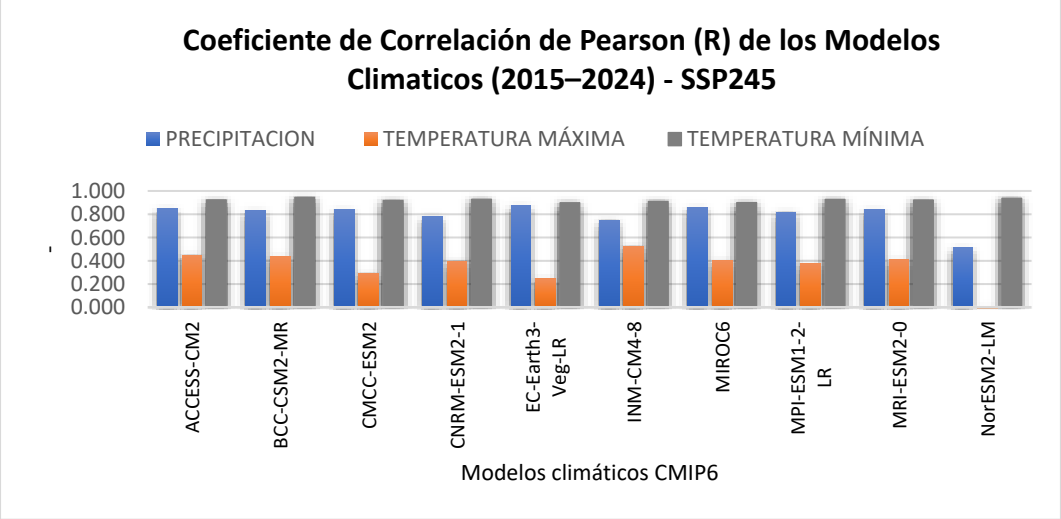
Indicadores de desempeño (PBIAS, RMSE y R) de los modelos climáticos escenario SSP2-4.5

SSP2-45									
MODELO CLIMATICO (GCM)	**PRECIPITACION**			**TEMPERATURA MÁXIMA**			**TEMPERATURA MÍNIMA**		
	PBIAS	**RMSE**	**R**	**PBIAS**	**RMSE**	**R**	**PBIAS**	**RMSE**	**R**
ACCESS-CM2	-8.699	5.133	0.845	0.001	0.210	0.449	0.007	0.236	0.924
BCC-CSM2-MR	-2.166	5.421	0.832	0.003	0.192	0.438	0.015	0.199	0.945
CMCC-ESM2	-1.836	5.326	0.843	0.119	0.234	0.293	0.361	0.244	0.918
CNRM-ESM2-1	-15.888	6.219	0.779	0.001	0.224	0.395	0.012	0.228	0.929
EC-Earth3-Veg-LR	-3.536	4.586	0.875	0.006	0.249	0.243	0.018	0.274	0.899
INM-CM4-8	22.816	10.565	0.749	0.096	0.195	0.525	0.172	0.258	0.910
MIROC6	-4.960	4.980	0.856	0.001	0.212	0.401	0.010	0.276	0.900
MPI-ESM1-2-LR	-8.530	5.749	0.818	0.002	0.242	0.376	0.015	0.230	0.927
MRI-ESM2-0	-0.406	5.206	0.841	0.004	0.217	0.409	0.013	0.238	0.923
NorESM2-LM	17.216	10.195	0.510	0.688	0.312	-0.007	1.207	0.216	0.937

Nota. Elaboración propia.

Figura 129

Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de los Modelos Climaticos - SSP245



Nota. Elaboración propia.

Tabla 65

Indicadores de desempeño (PBIAS, RMSE y R) de los modelos climáticos escenario SSP5-8.5

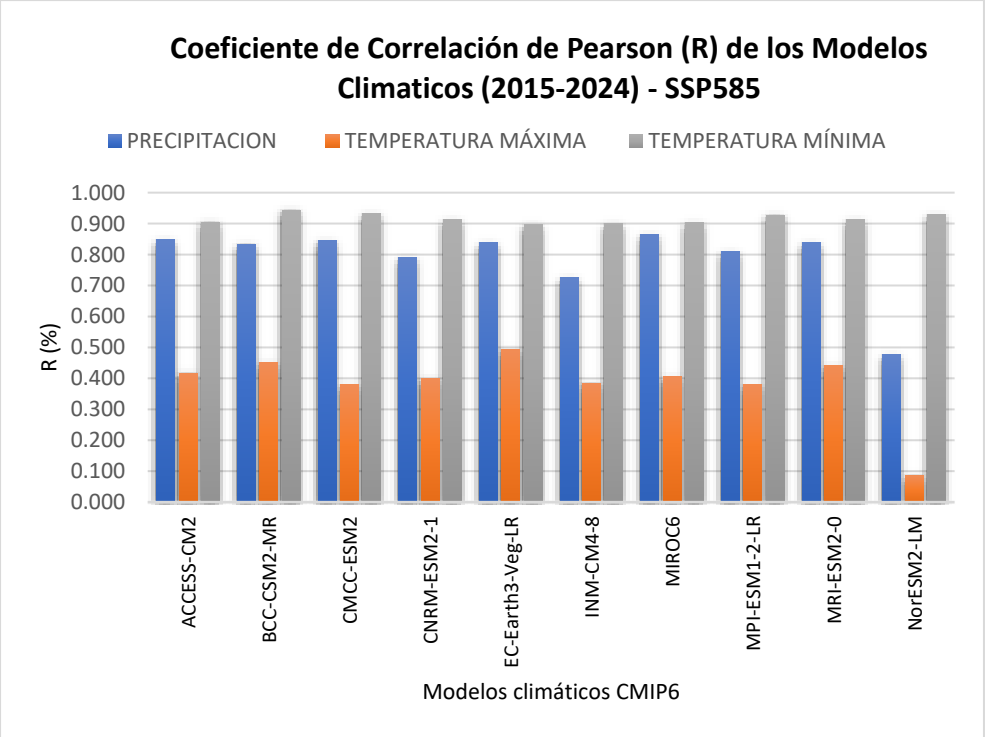
SSP5-85									
MODELO CLIMATICO (GCM)	**PRECIPITACION**			**TEMPERATURA MÁXIMA**			**TEMPERATURA MÍNIMA**		
	PBIAS	**RMSE**	**R**	**PBIAS**	**RMSE**	**R**	**PBIAS**	**RMSE**	**R**
ACCESS-CM2	-19.222	5.537	0.849	0.002	0.232	0.417	0.014	0.265	0.905
BCC-CSM2-MR	-0.897	5.548	0.834	0.001	0.195	0.450	0.014	0.201	0.944
CMCC-ESM2	-14.160	5.288	0.847	0.085	0.215	0.381	0.359	0.223	0.932

CNRM-ESM2-1	-4.409	6.077	0.791	-0.001	0.208	0.398	0.012	0.253	0.912
EC-Earth3-Veg-LR	-8.709	5.221	0.839	0.003	0.203	0.492	0.015	0.275	0.897
INM-CM4-8	20.126	11.267	0.726	0.112	0.222	0.384	0.279	0.273	0.901
MIROC6	-9.268	4.849	0.865	0.001	0.214	0.405	0.011	0.270	0.902
MPI-ESM1-2-LR	-9.977	5.860	0.810	0.005	0.232	0.381	0.014	0.229	0.927
MRI-ESM2-0	4.180	5.576	0.838	0.003	0.197	0.443	0.019	0.251	0.914
NorESM2-LM	15.442	11.211	0.478	0.883	0.295	0.085	1.133	0.230	0.930

Nota. Elaboración propia.

Figura 130

Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de los Modelos Climaticos - SSP5-85



Se observa que modelos como CNRM-ESM2-1 y MIROC6 reproducen adecuadamente el régimen unimodal con máximos en los meses de enero a marzo y mínimos entre junio y agosto, mientras que INM-CM4-8 y NorESM2-LM tienden a sobreestimar los valores en época seca.

4.2.6.4. Selección de modelos climáticos representativos

Como resultado de la evaluación estadística fueron seleccionados ocho modelos climáticos globales para el análisis de las proyecciones regionalizadas, debido a que presentaron el mejor desempeño respecto a las series observadas de precipitación y temperatura. Los modelos seleccionados se presentan en la Tabla 66.

Tabla 66

Modelos climáticos seleccionados para el análisis de proyecciones regionalizadas

Modelo Climático (GCM)	Institución/País
ACCESS-CM2	CSIRO, Australia
BCC-CSM2-MR	BCC, China
CMCC-ESM2	CMCC, Italia
CNRM-ESM2-1	CNRM, Francia
EC-Earth3-Veg-LR	EC-Earth Consortium, Europa
MIROC6	JAMSTEC, Japón
MPI-ESM1-2-LR	MPI, Alemania
MRI-ESM2-0	MRI, Japón

Nota. Elaboración propia a partir de datos del Copernicus Climate Data Store (2025) y del Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6).

Los modelos INM-CM4-8 (Rusia) y NorESM2-LM (Noruega) fueron descartados, debido a que presentaron coeficientes de correlación bajos en la comparación con los datos observados, lo cual sugiere una menor capacidad para representar con precisión las condiciones climáticas regionales.

La selección final de los ocho modelos asegura una representatividad climática robusta para el desarrollo de los análisis de proyección bajo los escenarios de concentración de gases de efecto invernadero SSP2-4.5 y SSP5-8.5, garantizando un equilibrio entre diversidad de procedencia y desempeño estadístico, conforme a las recomendaciones del IPCC (2021).

4.3. Resultados de simulación bajo escenarios de cambio climático

4.3.1. Análisis de las proyecciones climáticas regionalizadas

4.3.1.1. Modelos climáticos y escenarios utilizados

Las proyecciones climáticas regionalizadas obtenidas para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 fueron analizadas para el período 2025-2100, utilizando los ocho modelos climáticos seleccionados mediante la evaluación estadística presentada en el apartado anterior.

4.3.1.2. Representación gráfica de las proyecciones

Las Figuras 131 a 136 presentan la evolución temporal de la precipitación anual acumulada y de las temperaturas máxima y mínima medias anuales para el período histórico y

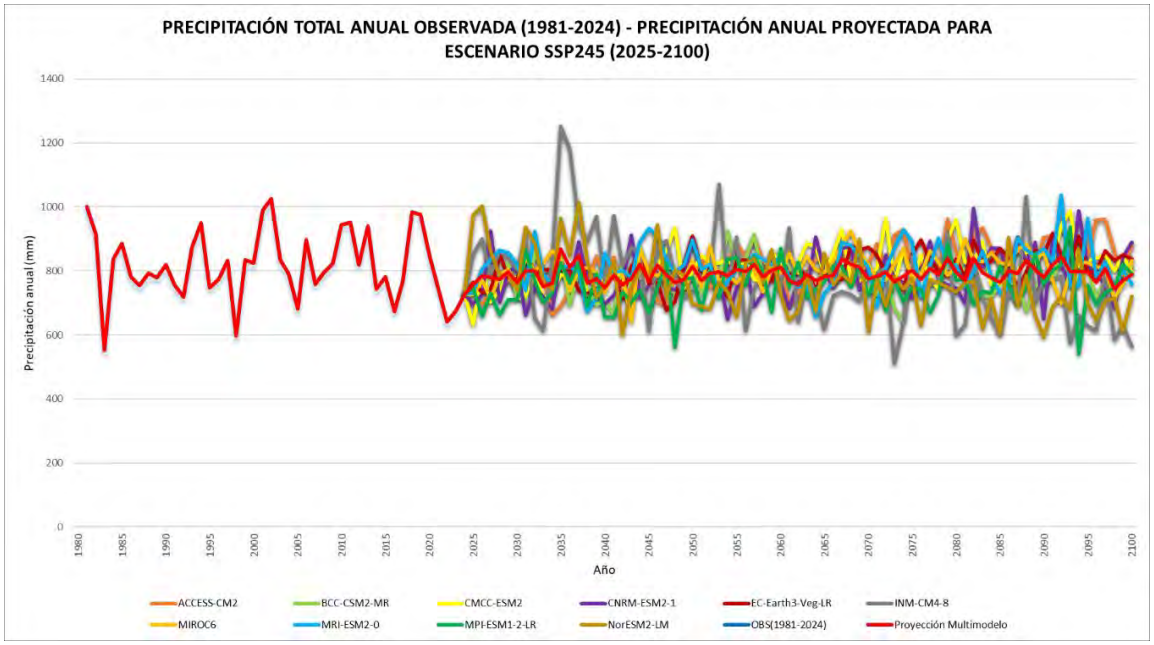
las proyecciones climáticas bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Escenario SSP2-4.5 (desarrollo intermedio)

Este escenario representa un camino de mitigación moderada, en el cual las políticas climáticas logran estabilizar parcialmente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura 131

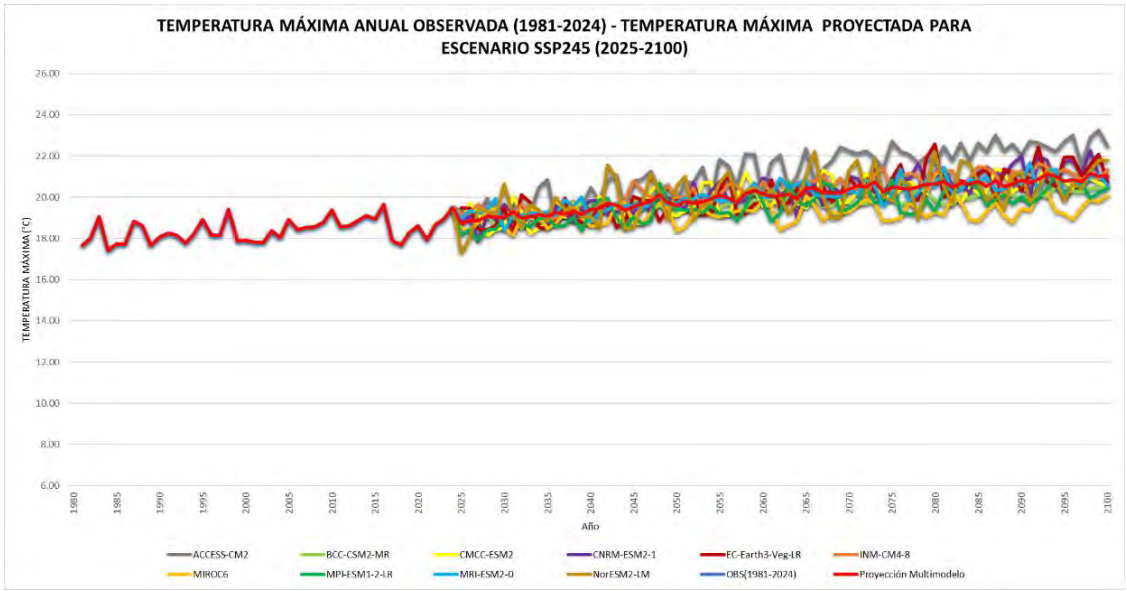
Proyección de la precipitación anual acumulada bajo el escenario SSP2-4.5 (1981-2100).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

Figura 132

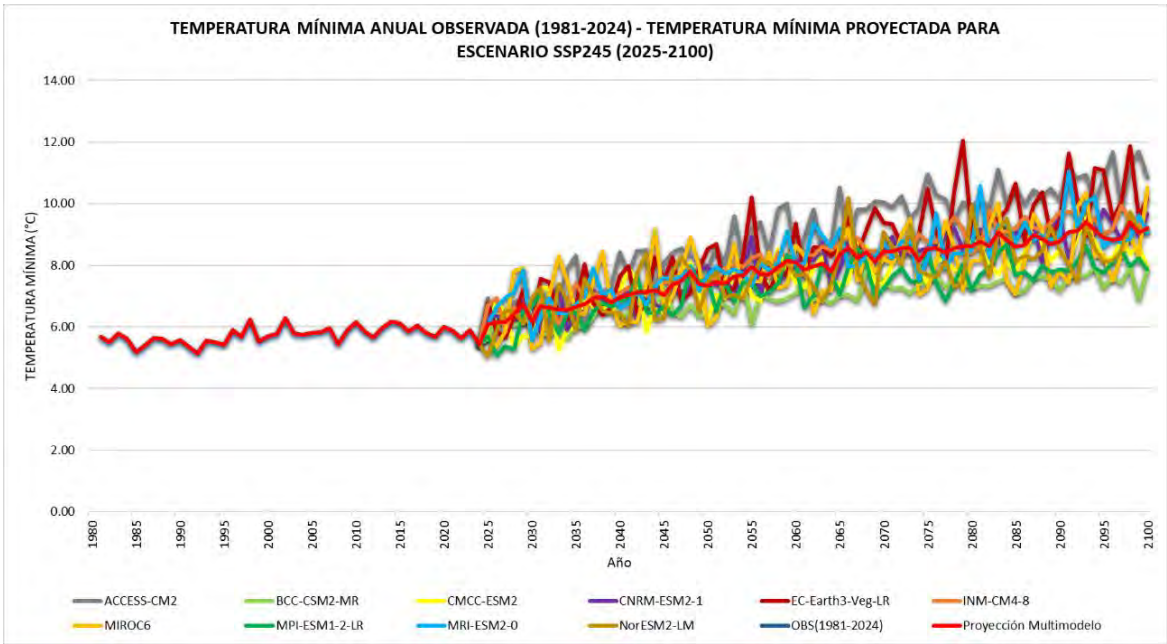
Proyección de la temperatura máxima media anual bajo el escenario SSP2-4.5 (1981-2100).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

Figura 133

Proyección de la temperatura mínima media anual bajo el escenario SSP2-4.5 (1981-2100).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

Los resultados para este escenario muestran una ligera tendencia al incremento de la temperatura máxima y mínima anual, estimada entre +1.5 y +2.0 °C hacia el periodo 2071-2100 respecto al promedio histórico 1981-2010. En cuanto a la precipitación anual, se observan variaciones espaciales y temporales con posibles incrementos moderados durante las próximas décadas, seguidas de una estabilización hacia fines de siglo.

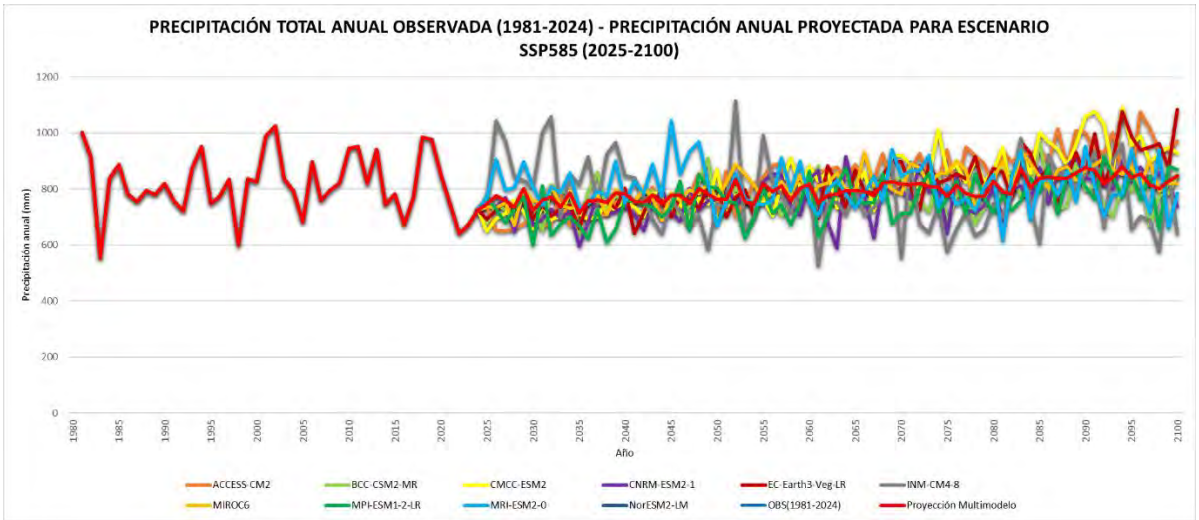
A diferencia del escenario SSP2-4.5, el escenario SSP5-8.5 permite evaluar la evolución de las variables climáticas bajo una trayectoria de mayores emisiones, lo que proporciona un escenario de contraste para analizar la magnitud de los cambios proyectados hacia finales del siglo XXI.

Escenario SSP5-8.5 (altas emisiones)

Este escenario SSP5-8.5 representa una trayectoria intensiva en carbono, con un crecimiento sostenido de las emisiones y dependencia de fuentes fósiles.

Figura 134

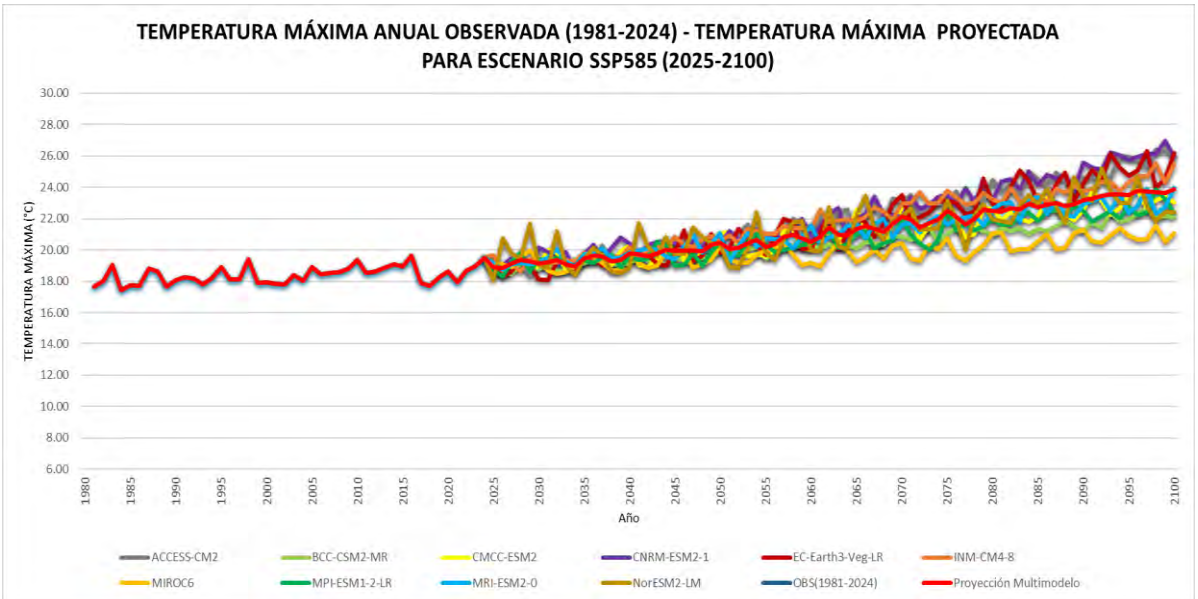
Proyección de la precipitación anual acumulada bajo el escenario SSP5-8.5 (1981-2100).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

Figura 135

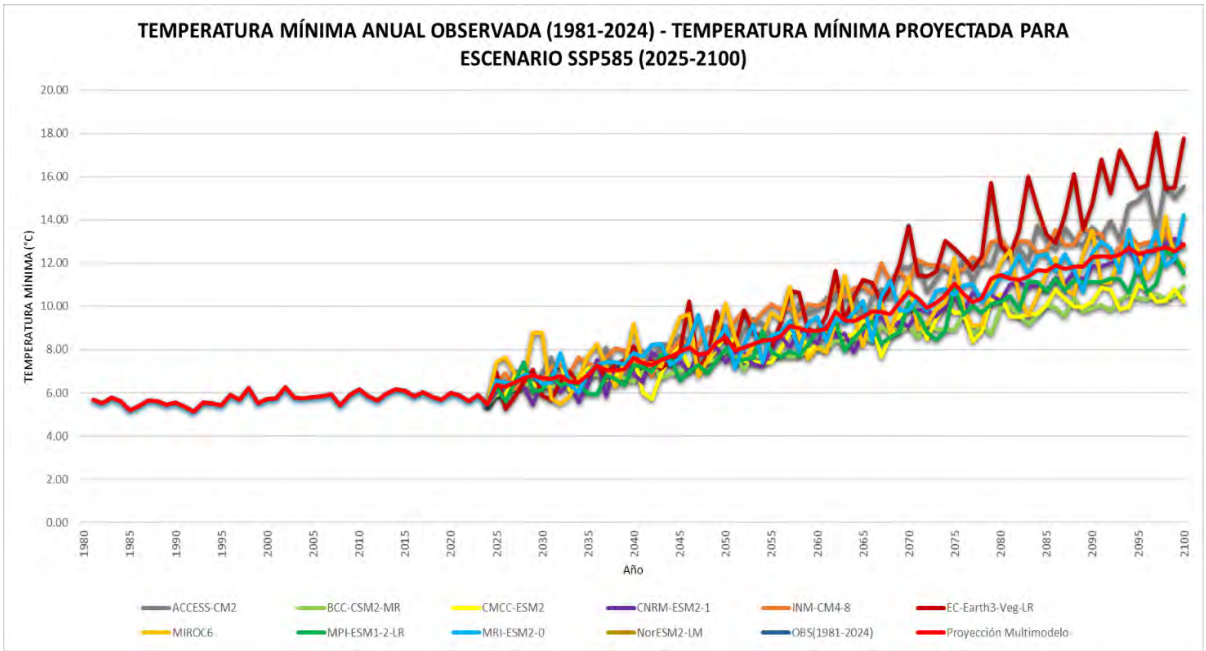
Proyección de la temperatura máxima media anual bajo el escenario SSP5-8.5 (1981-2100).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

Figura 136

Proyección de la temperatura mínima media anual bajo el escenario SSP5-8.5 (1981-2100).



Nota. Elaboración propia con datos CMIP6 - Copernicus (2025).

Bajo este escenario, las proyecciones indican un aumento significativo de la temperatura máxima anual entre +3.0 y +4.5 °C hacia finales del siglo XXI, acompañado de un incremento más pronunciado de la temperatura mínima (+3.5 a +5.0 °C). La variación interanual de la precipitación se presenta con episodios alternados de intensificación y disminución, lo que sugiere un posible incremento en la frecuencia de eventos extremos (sequías e inundaciones).

Estas representaciones permiten visualizar de forma integral las posibles alteraciones en el régimen climático de la región de estudio, identificando tendencias de incremento de temperatura y cambios en la distribución estacional de las precipitaciones, los cuales podrían tener implicaciones directas en la disponibilidad hídrica, los caudales de escorrentía y la recarga de cuerpos de agua naturales, como lagunas y ríos de montaña.

4.3.2. Proyección de precipitación, temperatura media y caudal.

4.3.2.1. Precipitación acumulada para el escenario SSP2-4.5

Bajo el escenario climático SSP2-4.5, la precipitación acumulada proyectada para la cuenca presenta una tendencia creciente a lo largo del siglo XXI. En el futuro cercano (2025-2050), se proyecta un incremento de 16.23 mm respecto al período histórico de referencia (2000-2024), equivalente a un aumento del 1.97 %. Para el futuro medio (2051-2075), el incremento alcanza los 45.22 mm (5.48 %), evidenciando una mayor disponibilidad potencial de precipitación en la cuenca.

Hacia el futuro lejano (2076-2100), la precipitación acumulada proyectada registra un incremento de 63.07 mm, correspondiente al 7.64 % respecto al período histórico. Estos resultados indican una tendencia progresiva al aumento de las precipitaciones bajo el escenario SSP2-4.5, sugiriendo una posible intensificación de los aportes hídricos en la cuenca de la laguna Piuray hacia finales del siglo.

Tabla 67

Variación proyectada de la precipitación acumulada bajo el escenario SSP2-4.5

PRECIPITACIÓN			
SSP2-4.5			
Proyección	**Periodo (años)**	**variación (mm)**	**Porcentaje (%)**
Futuro Cercano	2025-2050	16.23	1.97
Futuro Medio	2051-2075	45.22	5.48
Futuro Lejano	2076-2100	63.07	7.64

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.2. Temperatura media para el escenario SSP2-4.5

Las proyecciones de temperatura media bajo el escenario SSP2-4.5 evidencian un incremento progresivo a lo largo del periodo de estudio. En el futuro cercano (2025-2050) se proyecta un aumento de 0.77 °C, equivalente a un incremento del 6.25 %. Para el futuro medio (2051-2075), el incremento alcanza 1.80 °C (14.68 %), mientras que en el futuro lejano (2076-

2100) la temperatura media aumentaría hasta 2.49 °C, correspondiente al 20.29 %. Esta tendencia ascendente indica un calentamiento sostenido de la cuenca hacia finales del siglo.

Tabla 68

Variación proyectada de la temperatura media bajo el escenario SSP2-4.5

TEMPERATURA MEDIA			
SSP2-4.5			
Proyección	**Periodo (años)**	**variación (°C)**	**Porcentaje (%)**
Futuro Cercano	2025-2050	0.77	6.25
Futuro Medio	2051-2075	1.80	14.68
Futuro Lejano	2076-2100	2.49	20.29

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.3. Caudal medio para el escenario SSP2-4.5

Las proyecciones de caudal medio bajo el escenario SSP2-4.5 muestran incrementos respecto al período histórico de referencia (2000-2024) a lo largo de los tres horizontes de análisis. Para el futuro cercano (2025-2050), se proyecta un aumento de 0.063 m³/s, equivalente al 16.47 %. En el futuro medio (2051-2075), el incremento alcanza 0.073 m³/s (18.98 %), constituyendo el mayor aumento proyectado para este escenario. Por su parte, en el futuro lejano (2076-2100) el incremento proyectado es de 0.049 m³/s, correspondiente al 12.63 %.

Tabla 69

Variación proyectada de caudal medio bajo el escenario SSP2-4.5

CAUDAL			
SSP2-4.5			
Proyección	**Periodo (años)**	**variación (m3/s)**	**Porcentaje (%)**
Futuro Cercano	2025-2050	0.063	16.47
Futuro Medio	2051-2075	0.073	18.98
Futuro Lejano	2076-2100	0.049	12.63

Nota. Elaboración propia.

Los resultados indican que la cuenca mantendría una disponibilidad hídrica superior a la observada durante el período histórico, registrándose los mayores incrementos durante el futuro medio. A nivel mensual, los mayores caudales se proyectan durante la temporada húmeda, especialmente entre febrero y marzo, mientras que durante la época de estiaje los

incrementos son más moderados. Este comportamiento evidencia una respuesta positiva de la cuenca ante el incremento proyectado de las precipitaciones bajo el escenario SSP2-4.5.

Tabla 70

Proyeccion caudal medio mensual bajo escenario SSP2-4.5

Mes	Caudal Historico	Futuro Cercano	Futuro Medio	Futuro Lejano
	2000-2024	2025-2050	2051-2075	2076-2100
Enero	0.80	0.75	0.78	0.78
Febrero	0.88	0.91	0.95	0.93
Marzo	0.70	0.98	0.98	0.91
Abril	0.37	0.47	0.48	0.43
Mayo	0.18	0.29	0.30	0.27
Junio	0.12	0.21	0.22	0.19
Julio	0.11	0.17	0.17	0.15
Agosto	0.10	0.16	0.16	0.14
Setiembre	0.10	0.16	0.16	0.15
Octubre	0.16	0.22	0.21	0.20
Noviembre	0.37	0.42	0.41	0.39
Diciembre	0.54	0.63	0.67	0.66
	0.37	**0.45**	**0.46**	**0.43**

4.3.2.4. Precipitación acumulada para el escenario SSP5-8.5

Las proyecciones de precipitación acumulada bajo el escenario SSP5-8.5 muestran una tendencia creciente a lo largo del período analizado. En el futuro cercano (2025-2050), se proyecta un incremento de 1.64 mm respecto al período histórico de referencia (2000-2024), equivalente a un aumento del 0.20 %. Para el futuro medio (2051-2075), el incremento alcanza los 60.95 mm (7.38 %), evidenciando una mayor disponibilidad potencial de precipitación en la cuenca.

Hacia el futuro lejano (2076-2100), la precipitación acumulada proyectada registra un incremento de 118.78 mm, correspondiente al 14.38 % respecto al período histórico. Estos resultados indican una intensificación progresiva de las precipitaciones bajo el escenario SSP5-8.5, sugiriendo un aumento de los aportes hídricos hacia finales del siglo XXI.

Tabla 71

Variación proyectada de la precipitación acumulada bajo el escenario SSP5-8.5

PRECIPITACIÓN			
SSP5-8.5			
Proyección	**Periodo (años)**	**variación (mm)**	**Porcentaje (%)**
Futuro Cercano	2025-2050	1.64	0.20
Futuro Medio	2051-2075	60.95	7.38
Futuro Lejano	2076-2100	118.78	14.38

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.5. Temperatura media para el escenario SSP5-8.5

Las proyecciones de temperatura media bajo el escenario SSP5-8.5 muestran un incremento sostenido y progresivo a lo largo del horizonte de análisis. Para el futuro cercano (2025-2050), se estima un aumento de 1.03 °C, equivalente a un incremento del 8.40 %. En el futuro medio (2051-2075), la temperatura media se incrementaría en 2.84 °C (23.07 %), mientras que para el futuro lejano (2076-2100) se proyecta un aumento marcado de 4.93 °C, correspondiente al 40.12 %. Esta tendencia evidencia un escenario de calentamiento intensificado, con potenciales impactos sobre el balance hídrico y los procesos hidrológicos de la cuenca.

Tabla 72

Variación proyectada de la temperatura media bajo el escenario SSP5-8.5

TEMPERATURA MEDIA			
SSP5-8.5			
Proyección	**Periodo (años)**	**variación (°C)**	**Porcentaje (%)**
Futuro Cercano	2025-2050	1.03	8.40
Futuro Medio	2051-2075	2.84	23.07
Futuro Lejano	2076-2100	4.93	40.12

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.6. Caudal medio para el escenario SSP5-8.5

Bajo el escenario SSP5-8.5, las proyecciones de caudal medio muestran incrementos moderados respecto al período histórico de referencia (2000-2024). Para el futuro cercano (2025-2050), se proyecta un aumento de 0.007 m^3/s, equivalente al 1.85 %. En el futuro medio

(2051-2075), el incremento alcanza 0.019 m³/s (5.06 %), mientras que para el futuro lejano (2076-2100) se estima un aumento de 0.011 m³/s, correspondiente al 2.91 %.

Tabla 73

Variación proyectada de caudal medio bajo el escenario SSP5-8.5

CAUDAL			
SSP5-8.5			
Proyección	**Periodo (años)**	**variacion (m3/s)**	**Porcentaje (%)**
Futuro Cercano	2025-2050	0.007	1.85
Futuro Medio	2051-2075	0.019	5.06
Futuro Lejano	2076-2100	0.011	2.91

A nivel mensual, se observa una ligera tendencia al incremento de los caudales durante la temporada lluviosa, principalmente entre diciembre y marzo, mientras que durante los meses de estiaje las variaciones respecto al período histórico son menores. Si bien este escenario presenta incrementos proyectados de precipitación superiores a los observados en el escenario SSP2-4.5, los incrementos de caudal resultan más reducidos, lo que podría estar asociado al efecto del mayor incremento de temperatura proyectado para este escenario y su influencia sobre los procesos de evapotranspiración y balance hídrico de la cuenca.

Tabla 74

Proyección caudal medio mensual bajo escenario SSP2-4.5

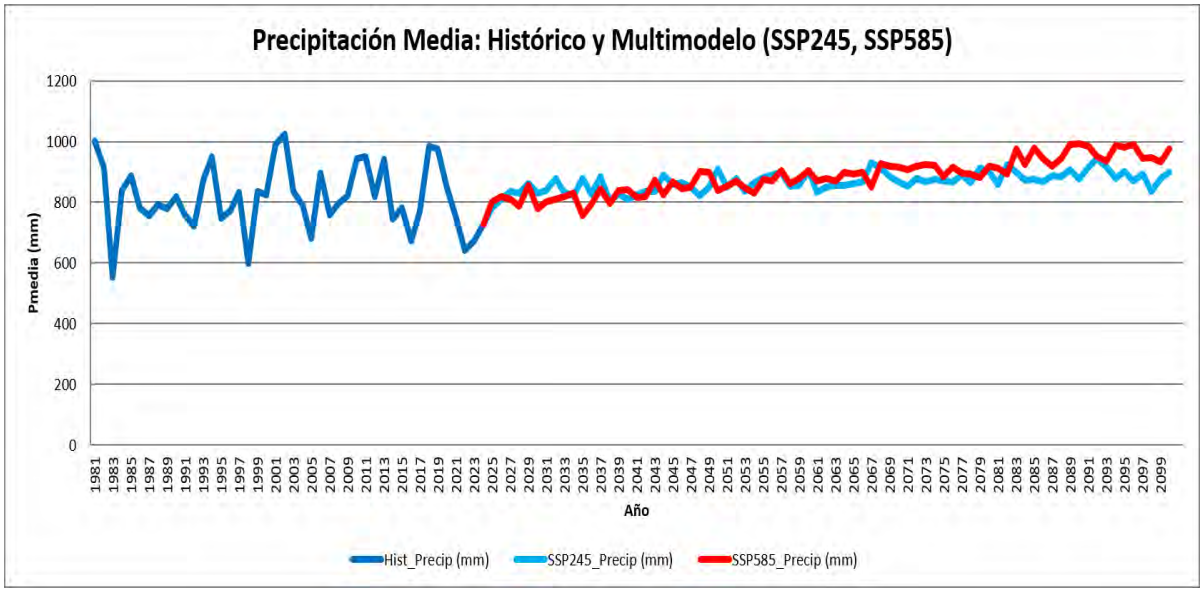
Mes	**Caudal Histórico**	**Futuro Cercano**	**Futuro Medio**	**Futuro Lejano**
	2000-2024	**2025-2050**	**2051-2075**	**2076-2100**
Enero	0.80	0.68	0.77	0.85
Febrero	0.88	0.81	0.88	0.95
Marzo	0.70	0.77	0.79	0.80
Abril	0.37	0.43	0.41	0.39
Mayo	0.18	0.24	0.23	0.18
Junio	0.12	0.17	0.17	0.13
Julio	0.11	0.14	0.14	0.11
Agosto	0.10	0.14	0.14	0.10
Setiembre	0.10	0.14	0.14	0.10
Octubre	0.16	0.20	0.18	0.14
Noviembre	0.37	0.36	0.35	0.32
Diciembre	0.54	0.62	0.64	0.67
	0.37	**0.39**	**0.40**	**0.40**

4.3.3. Tendencia de la precipitación anual

El análisis de tendencia de la precipitación anual se efectuó empleando los registros promedio de precipitación de la cuenca, obtenidos a partir de la integración espacial de las estaciones meteorológicas disponibles. Al igual que en el caso de la temperatura, se construyó una serie temporal representativa para el período histórico 1981-2016 y para las proyecciones climáticas correspondientes al intervalo 2025-2100, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Figura 137

Tendencia de la precipitación anual histórica y proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (1981-2100)



La Figura N° 137 muestra la evolución temporal de la precipitación anual para el período histórico y las proyecciones climáticas bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los resultados evidencian una tendencia creciente de la precipitación en ambos escenarios a lo largo del siglo XXI. Bajo el escenario SSP2-4.5 se observa un incremento gradual de la precipitación anual respecto al período histórico, mientras que el escenario SSP5-8.5 presenta una tendencia más pronunciada, especialmente hacia finales del siglo.

Asimismo, se aprecia que las diferencias entre ambos escenarios son reducidas durante las primeras décadas de proyección; sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo, el escenario SSP5-8.5 proyecta valores de precipitación superiores a los del escenario SSP2-4.5.

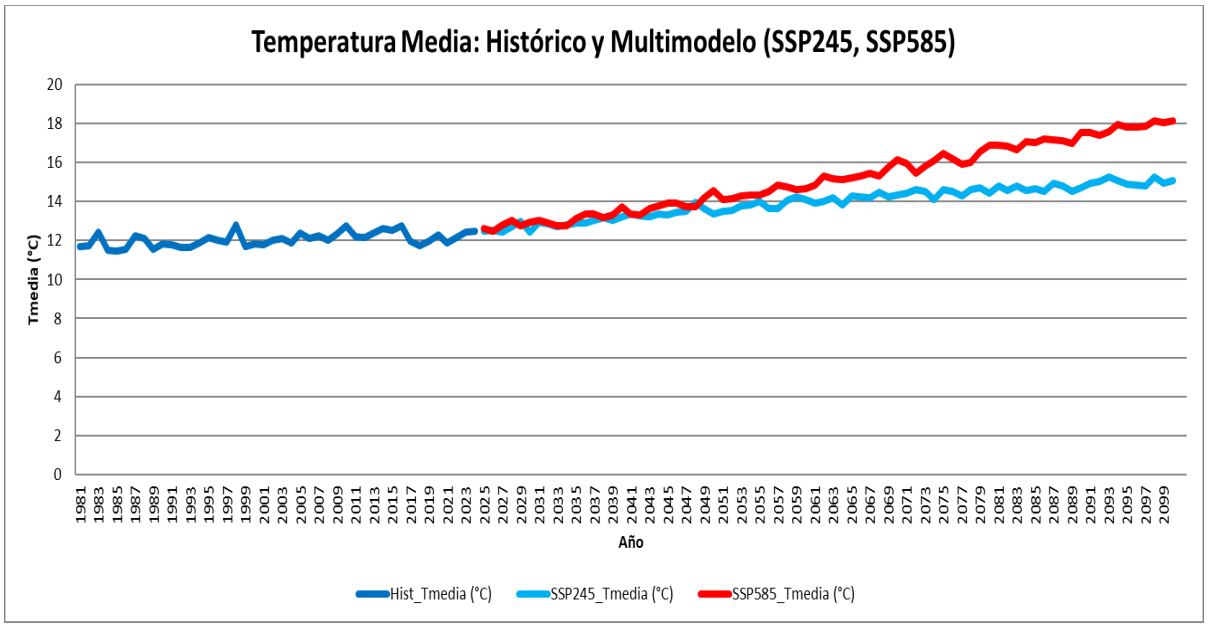
Estos resultados sugieren un incremento progresivo de los aportes pluviométricos en la cuenca de la laguna Piuray, con potenciales implicancias sobre la disponibilidad hídrica y la dinámica hidrológica futura del sistema.

4.3.4. Tendencia de la temperatura media anual

El análisis de tendencia de la temperatura media anual se realizó a partir de la información representativa de la cuenca, obtenida mediante el promedio de las temperaturas máximas y mínimas registradas en las estaciones meteorológicas disponibles. Posteriormente, se calculó el promedio espacial de todas las estaciones, generando una serie temporal continua y comparable con la utilizada en el análisis de precipitación. La evaluación considera el período histórico 1981-2016 y las proyecciones climáticas correspondientes al intervalo 2025-2100.

Figura 138

Tendencia de la temperatura media anual histórica y proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (1981-2100)



En la Figura N° 138 se presenta la evolución temporal de la temperatura media anual para los períodos histórico y proyectado bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los resultados evidencian una tendencia creciente de la temperatura en ambos escenarios, siendo

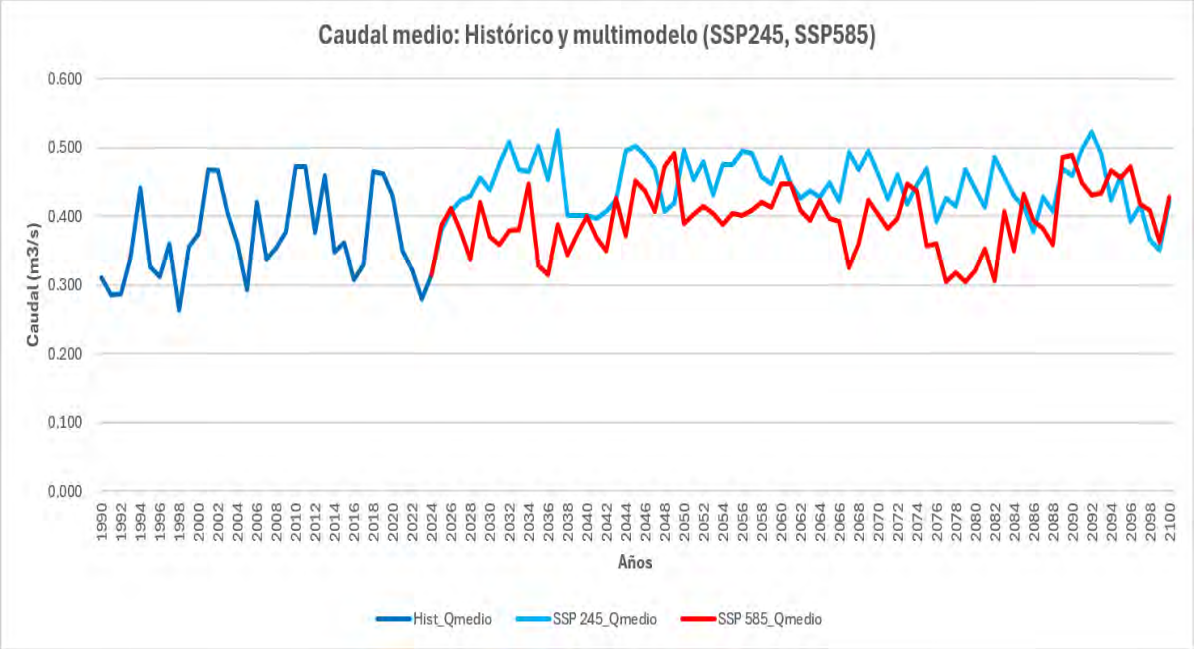
más pronunciada bajo el escenario SSP5-8.5, el cual muestra una mayor tasa de incremento térmico en comparación con el escenario SSP2-4.5.

4.3.5. Tendencia de caudal media anual

El análisis de la tendencia del caudal medio anual se realizó a partir de los caudales simulados mediante el modelo hidrológico SWAT para el período histórico y los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. La evaluación considera la evolución temporal de la oferta hídrica generada en la cuenca de aporte a la laguna Piuray para el período 1990-2100.

Figura 139

Tendencia del caudal media anual histórica y proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (1990-2100)



La Figura N° 139 muestra la evolución temporal del caudal medio anual para el período histórico y las proyecciones futuras bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los resultados evidencian que ambos escenarios mantienen valores de caudal medio superiores a los observados durante el período histórico, aunque con una marcada variabilidad interanual a lo largo del horizonte de proyección.

CAPÍTULO 5: DISCUSIONES

5.1. Variación de la precipitación y temperatura

Durante el periodo 2000-2024, la precipitación anual acumulada de la cuenca de la laguna Piuray presentó valores entre 641.87 mm y 1024.81 mm, con un promedio de 825.76 mm, mientras que la temperatura media anual aumentó aproximadamente 0.13 °C. Estos resultados evidenciaron una variabilidad interanual de la precipitación y una tendencia gradual de calentamiento en la cuenca. Este comportamiento coincidió con Bahamóndez Provoste (2021), quien identificó que las variaciones de precipitación y temperatura modificaron la superficie de lagos andinos de Chile, y con Lloclla y Ugarte (2018), quienes reportaron una tendencia creciente de la temperatura en la microcuenca Piuray.

De manera semejante, Moncada Chávez (2023) identificó en la laguna de Tota modificaciones en la temperatura, cambios en los patrones de precipitación y afectaciones en la disponibilidad del agua. Además, evidenció que las actividades agrícolas y ganaderas incrementaban la presión sobre el sistema lacustre. Este antecedente complementó los resultados obtenidos en Piuray, porque mostró que la dinámica de un cuerpo de agua debe analizarse considerando tanto los factores climáticos como las actividades humanas. En el caso de la laguna Piuray, las extracciones para abastecimiento poblacional constituyeron un componente relevante para interpretar la variación del almacenamiento, puesto que el volumen disponible no dependió únicamente de los aportes de precipitación.

Por otra parte, Mejía et al. (2022) determinaron que la variabilidad climática influyó en la dinámica de humedales altoandinos de los Andes venezolanos, aunque la respuesta fue diferente según las condiciones topográficas, morfológicas, edáficas y ambientales de cada sitio. Este resultado fue importante para la interpretación de la laguna Piuray, porque evidenció que la respuesta de los ecosistemas altoandinos frente a la variabilidad climática no es uniforme. En consecuencia, las variaciones observadas en Piuray no deben generalizarse a

todos los cuerpos de agua de la región sin considerar sus características físicas, los aportes hídricos y las condiciones de uso del recurso.

Las proyecciones CMIP6 mostraron, bajo el escenario SSP2-4.5, incrementos de precipitación de 1.97%, 5.48% y 7.64%, junto con aumentos de temperatura de 0.77 °C, 1.80 °C y 2.49 °C para los periodos 2025-2050, 2051-2075 y 2076-2100. Bajo el escenario SSP5-8.5, la precipitación aumentaría 0.20%, 7.38% y 14.38%, mientras que la temperatura se incrementaría 1.03°C, 2.84°C y 4.93°C. Aunque estos resultados proyectaron mayores precipitaciones, no significaron automáticamente una mayor disponibilidad hídrica, porque el almacenamiento también estaría condicionado por la evapotranspiración, las pérdidas y las extracciones para abastecimiento poblacional.

5.2. Variación del volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento de la laguna Piuray osciló entre 55.97 Mm3 y 81.30 Mm3 durante el periodo 2000-2024. Los mayores valores se registraron entre 2011 y 2014, seguidos por una reducción progresiva durante los últimos años. No obstante, el volumen aumentó de 56.19 Mm3 en enero de 2000 a 67.15Mm3 en diciembre de 2024, lo que representó un incremento de 10.96 Mm3, equivalente al 19.5%. Este resultado no indicó una tendencia creciente continua, sino un comportamiento oscilatorio condicionado por los aportes hídricos, la variabilidad climática y las extracciones de abastecimiento poblacional.

Estos resultados difirieron de Espinoza y Cuevas (2022), quienes identificaron una reducción de 7.9 hm3/año en la laguna Aricota. La diferencia podría estar relacionada con las características hidrológicas de cada laguna, los aportes hídricos y las demandas de agua. En cambio, existió coincidencia con Oyarzo y Cuevas (2022), quienes demostraron que las variaciones del nivel y volumen de un lago dependen de la interacción entre los componentes del balance hídrico. Por tanto, el aumento final observado en Piuray no garantizó una disponibilidad, especialmente frente a una posible mayor demanda de agua.

5.3. Relación entre las variables climáticas y el almacenamiento

La precipitación presentó una asociación positiva alta con la variación mensual del volumen, con r=0.923 y R^2=0.8529, mientras que la temperatura presentó una asociación positiva moderada, con r=0.494 y R^2=0.2441. Estos resultados indicaron que la precipitación presentó una mayor asociación lineal con la variación del almacenamiento que la temperatura. Este comportamiento coincidió con Arroyo Canales et al. (2021), quienes obtuvieron una relación de r=0.90 y R^2=81% entre precipitación y caudal, y con Bahamóndez Provoste (2021), quien identificó una relación importante entre la precipitación y la dinámica de lagos andinos.

Sin embargo, los valores de r y R^2 expresaron asociación estadística y no demostraron por sí solos causalidad. Por ello, el resultado R^2=0.8529 no significó que la precipitación fuera la única causa de la variación del almacenamiento. El volumen de la laguna también dependió de las salidas de agua, las pérdidas por evapotranspiración y las extracciones para consumo humano. En consecuencia, la precipitación fue la variable climática con mayor asociación con el almacenamiento, pero la disponibilidad hídrica dependió del equilibrio entre la oferta y la demanda de agua.

5.4. Implicancia para la gestión hídrica

Los resultados mostraron que el cambio climático podría modificar las condiciones climáticas y la dinámica de almacenamiento de la laguna Piuray. Aunque las proyecciones indicaron incrementos de precipitación, también mostraron un aumento progresivo de la temperatura, principalmente bajo el escenario SSP5-8.5. Por ello, la gestión de la laguna no debe basarse únicamente en el aumento de las lluvias, sino también en el seguimiento de la temperatura, la evapotranspiración, los caudales, los niveles, el volumen almacenado y las extracciones para abastecimiento poblacional. En este sentido, resulta necesario fortalecer el monitoreo hidrometeorológico y la gestión integrada de la cuenca para evaluar la disponibilidad hídrica futura.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

1. El análisis realizado permitió determinar que las variaciones climáticas se asociaron con el comportamiento del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray durante el periodo 2000-2024. La precipitación presentó la mayor asociación estadística con la variación del almacenamiento, con un coeficiente de Pearson de r=0.923 y un coeficiente de determinación de R^2=0.8529, mientras que la temperatura presentó una asociación positiva moderada, con r=0.494 y R^2=0.2441. Estos resultados indicaron que la precipitación estuvo más estrechamente relacionada con las variaciones de ΔV durante el periodo analizado; sin embargo, el almacenamiento no dependió exclusivamente de los aportes de precipitación, debido a que también estuvo condicionado por las extracciones para abastecimiento poblacional y por las pérdidas asociadas a las condiciones térmicas. En consecuencia, el impacto del cambio climático en la laguna Piuray no debía interpretarse únicamente como un aumento o disminución de las lluvias, sino como una modificación del balance entre los aportes de agua, las pérdidas y la demanda de consumo. Por tanto, se concluyó que las variaciones climáticas estuvieron relacionadas con la dinámica de almacenamiento de la laguna Piuray, pero el aumento proyectado de la precipitación no garantizó por sí solo una mayor disponibilidad de agua ni una condición permanente de seguridad hídrica.
2. Entre 2000 y 2024, la cuenca de la laguna Piuray experimentó una notable variabilidad pluvial, con precipitaciones anuales entre 641.87 mm y 1024.81 mm (promedio de 825.76 mm) junto a un calentamiento gradual de 0.13 °C en su temperatura media. Las proyecciones al año 2100 indican que tanto la lluvia como la temperatura continuarán en aumento: el escenario moderado (SSP2-4.5) contempla incrementos de precipitación de 1.97% a 7.64% y alzas térmicas de 0.77

°C a 2.49 °C, mientras que el escenario severo (SSP5-8.5) proyecta aumentos pluviométricos de 0.20% a 14.38% y elevaciones de temperatura de 1.03 °C a 4.93 °C. Sin embargo, este mayor volumen de precipitaciones no se traducirá automáticamente en una mayor disponibilidad hídrica para la cuenca, ya que el aumento térmico incrementará las pérdidas del sistema y, sumado a la creciente demanda poblacional, neutralizará los beneficios de las lluvias, generando mayor incertidumbre sobre la seguridad hídrica futura.

3. El volumen de almacenamiento de la laguna Piuray presentó una variabilidad temporal durante el periodo 2000-2024, con valores comprendidos entre 55.97 Mm3 y 81.30 Mm3, y un volumen promedio de 70.97 Mm3. La serie mostró fases alternadas de incremento y disminución, relacionadas con la variabilidad de los aportes hídricos y con las extracciones destinadas al abastecimiento poblacional. Entre enero de 2000 y diciembre de 2024, el volumen pasó de 56.19 Mm3 a 67.15 Mm3, lo que representó un incremento neto de 10.96 Mm3, equivalente al 19.5% respecto al volumen inicial. Sin embargo, este incremento neto no representó una tendencia creciente continua ni una condición permanente de mayor disponibilidad hídrica. Durante los años 2011-2014 se registraron los máximos de almacenamiento, alcanzándose hasta 81.30 Mm3, después de lo cual se observó una reducción progresiva durante la última década analizada. Por ello, la diferencia positiva entre el volumen inicial y final describió únicamente el estado de la laguna en esos dos momentos y no resumió por sí sola toda la dinámica del periodo. Además, el volumen almacenado estuvo condicionado no solamente por la precipitación, sino también por las extracciones para consumo humano y por las pérdidas del sistema. En consecuencia, se determinó que la laguna Piuray presentó un comportamiento temporal oscilatorio, con un incremento neto de 19.5% entre el

inicio y el final del periodo, pero sin una tendencia sostenida de crecimiento que permitiera considerar garantizada la disponibilidad de agua

4. Durante el periodo 2000-2024, la precipitación presentó la mayor asociación estadística con la variación del volumen de almacenamiento de la laguna Piuray, con un coeficiente de Pearson de r=0.923 y un coeficiente de determinación de R^2 =0.8529. Estos resultados indicaron una relación lineal positiva alta entre ambas variables y mostraron que el 85.29% de la variabilidad de ΔV estuvo estadísticamente asociada con la precipitación en el análisis realizado. En cambio, la temperatura presentó una relación positiva moderada, con r=0.494 y R^2=0.2441, lo que indicó que el 24.41% de la variabilidad de ΔV estuvo estadísticamente asociada con esta variable. La mayor magnitud de la asociación entre precipitación y ΔV indicó que los cambios del almacenamiento respondieron con mayor correspondencia estadística a las variaciones de precipitación que a las de temperatura durante el periodo estudiado. No obstante, estos coeficientes no demostraron por sí solos una relación causal ni significaron que la precipitación explicara completamente el comportamiento del almacenamiento. La variación del volumen también estuvo vinculada con las extracciones para abastecimiento poblacional y con otros componentes del balance hídrico que deben considerarse al interpretar la disponibilidad del recurso. En consecuencia, se determinó que la precipitación presentó una asociación mayor con la variación del almacenamiento que la temperatura, pero el comportamiento final de la laguna Piuray dependió del balance entre los aportes de agua, las pérdidas y la demanda de consumo.

CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema permanente de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca de la laguna Piuray que permita registrar de manera continua variables como precipitación, temperatura, evaporación, caudales afluentes y niveles de espejo de agua, con la finalidad de fortalecer la evaluación de la disponibilidad hídrica y mejorar la toma de decisiones para la gestión del recurso.
2. Realizar actualizaciones periódicas de los estudios batimétricos de la laguna Piuray, con una frecuencia máxima de cinco años, a fin de verificar posibles cambios en la capacidad de almacenamiento, procesos de sedimentación y variaciones morfológicas que puedan afectar la disponibilidad futura de agua.
3. Incorporar escenarios de cambio climático basados en proyecciones CMIP6 dentro de los instrumentos de planificación y gestión hídrica de la cuenca, considerando especialmente los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, con el propósito de anticipar posibles alteraciones en la oferta de agua durante las próximas décadas.
4. Fortalecer las estrategias de conservación y protección de las zonas de recarga hídrica de la cuenca de la laguna Piuray, promoviendo acciones de recuperación de cobertura vegetal, control de actividades antrópicas y manejo sostenible del territorio para preservar los procesos naturales de infiltración y regulación hídrica.
5. Optimizar la gestión de la demanda de agua destinada al abastecimiento poblacional de la ciudad del Cusco y comunidades beneficiadas mediante programas de uso eficiente del recurso hídrico, reducción de pérdidas en los sistemas de distribución y fortalecimiento de las medidas de ahorro de agua, especialmente durante períodos de déficit hídrico.

CAPÍTULO 8: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie* (8. reimpr). Limusa Noriega Ed.

Arnold, J. G., Neitsch, S. L., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2009). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*.

Arroyo Canales, E. M., Bazán Vásquez, L. D., & Catay Ordoñez, J. (2021). *Influencia del cambio climático y uso del suelo en la capacidad de regulación hídrica en la microcuenca medio bajo Mantaro del departamento de Huancavelica, periodo 2015—2020* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10340

Aybar, C., Fernadez Palomino, C. A., Huerta, A., Lavado, W., vega, F., & Obando, O. F. (2025). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day | Request PDF. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/334748009_Construction_of_a_high-resolution_gridded_rainfall_dataset_for_Peru_from_1981_to_the_present_day

Bahamóndez Provoste, C. F. (2021). *Cambio climático y su efecto sobre los cuerpos de agua de Chile Central: Variación interanual superficial de los lagos andinos (32°S-36°S) entre 1984 y 2020* [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188022

Calixto Flores, R., & Silva Mar, Ma. de los Á. (2023). *Educacion-ambiental-agua-y-cambio*. https://www.uv.mx/bdh/files/2023/11/Educacion-ambiental-agua-y-cambio.pdf

Chapman, D. V. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Second Edition* (2nd ed). Taylor & Francis Group.

Chereque Moran, W. (1989). *Hidrologia para estudiantes de ingenieria civil*.

Chihuan Castro, K. N. (2020). *Impacto del cambio climático en el humedal de Pucush Uclo-Chupaca durante el periodo 1989- 2019* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8774

Chow, V. T. (1994). *Ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf*. https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf

CMIP. (2023, abril 11). *Descripción general del CMIP: Proyecto de intercomparación de modelos acoplados*. https://wcrp-cmip.org/cmip-overview/

CMNUCC. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf

Copernicus Climate Data Store. (2025). Copernicus Climate Data Store. https://cds.climate.copernicus.eu/

Espinoza Aranciaga, E. (2022). *Modelamiento matemático y uso de S.I.G para la estimación de la reducción del volumen de agua en la Laguna Aricota, Región Tacna* [Universidad Nacional del Callao]. https://repositorio.unac.edu.pe/item/094ee901-32ff-4cd7-98b5-1bd59d909c5e

FAO. (s. f.). *World Reference Base | FAO SOILS PORTAL | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado 1 de septiembre de 2025, de https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/world-reference-base/en/

Fuentes Junco, J. D. J. A. (2004). *ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS: CASO DE ESTUDIO DEL PARQUE NACIONAL PICO DE TANCÍTARO*.

Gasirabo, A., Xi, C., Kurban, A., Liu, T., Baligira, H. R., Umuhoza, J., Umugwaneza, A., & Dufatanye Edovia, U. (2023). SWAT model calibration for hydrological modeling using concurrent methods, a case of the Nile Nyabarongo River basin in Rwanda. *Frontiers in Water*, *5*. https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1268593

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476

Geosolutions. (2023, abril 26). Imágenes Satelitales—Conceptos Básicos. *Geosolutions Consulting*. https://www.geosolutionsconsulting.com/tecnologia/conceptos-basicos-de-las-imagenes-satelitales/

Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, *4*(2), 135-143. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135)

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (First edition). McGraw-Hill Education.

Horton, R. E. (1945). *Caracteristicas de la cuenca de drenaje*.

IPCC. (s. f.-a). *AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis — IPCC*. Recuperado 1 de septiembre de 2025, de https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/

IPCC. (s. f.-b). *Español—IPCC*. Recuperado 30 de septiembre de 2025, de https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/

IPCC (Ed.). (2023). Summary for Policymakers. En *Climate Change 2021 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3-32). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896.001

Khoi, D. N., & Thom, V. T. (2015). Parameter uncertainty analysis for simulating streamflow in a river catchment of Vietnam. *Global Ecology and Conservation*, *4*, 538-548. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.10.007

Kogut, P. (2021, noviembre 9). *Teledetección: Tipos Y Aplicaciones De Los Sensores Remotos*. https://eos.com/es/blog/teledeteccion/

Krause, P., Boyle, D. P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences, 5*, 89-97. https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005

Landsat Science. (s. f.). Recuperado 1 de septiembre de 2025, de https://landsat.gsfc.nasa.gov/

Márquez, A. (2021). *¿Qué es un AFLUENTE? - Definición, nombres y más*. ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-afluente-3264.html

Mejía, J. F., González, J. D., & Albarrán, A. (2022). Influencia de la variabilidad climática en los pantanos altoandinos de la microcuenca Miguaguó Andes venezolanos. *Revista de Ciencias Ambientales, 56*(2), 38-62. https://doi.org/10.15359/rca.56/2.3

MINAM. (2018). *MAPA NACIONAL DE COSISTEMAS DEL PERÚ*. https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2018/Diciembre/21/RM-440-2018-MINAM.pdf

MINAM. (2019). *Definiciones-Conceptuales-de-los-Ecosistemas_del Perú*. https://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/Definiciones-Conceptuales-de-los-Ecosistemas_version-final2.pdf

Moncada Chávez, N. E. (2023). *Análisis Socio-ecológico en Relación con el Cambio Climático para la Laguna de Tota, Aquitania, Boyacá*. http://repository.unad.edu.co/handle/10596/58137

Monsalve Sáenz, G. (2005). *Hidrología en la ingenieria* (2a ed.).

NASA. (2025, agosto 15). *NASA Earth Observatory—Home* [Text.Article]. NASA Earth Observatory. https://earthobservatory.nasa.gov/

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, *10*(3), 282-290. https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6

Neitsch, Arnold, Kiniry, Williams, & King. (2005). *Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua*. https://swat.tamu.edu/media/46964/swat2005-theo-doc-spanish.pdf

Ordóñez Gálvez, J. J. (2012). *Cartilla técnica: ¿Que es cuenca Hidrografica?* (1a ed). Sociedad Geográfica de Lima : Foro Peruano para el Agua.

Oyarzo Paniagua, C. (2022). *Efectos del cambio climático en la evolución de los niveles de agua de Lago Ranco* [Universidad Andrés Bello]. https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/50860

Pérez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de ingeniería. Departamento de metereologia e hidrología.

Santa Cruz Castello, J. F., Burneo de la Rocha, M. L., & Quiñones Pareja, P. (2022). *Cambio-climatico-e-Impactos-Diferenciados*. https://fovida.org.pe/wp-content/uploads/2022/06/Cambio-climatico-e-Impactos-Diferenciados.pdf

Sarría, F. A. (s. f.). *Sistemas de Información Geográfica*.

Siabi, E. K., Awafo, E. A., Kabo-bah, A. T., Derkyi, N. S. A., Akpoti, K., Mortey, E. M., & Yazdanie, M. (2023). Assessment of Shared Socioeconomic Pathway (SSP) climate scenarios and its impacts on the Greater Accra region. *Urban Climate*, *49*, 101432. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101432

Strahler, A. N. (1964). *Análisis cuantitativo de la geomorfología de cuencas hidrográficas*.

SWAT. (2010). *Swat2005-tutorial-spanish*. https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf

USACE. (2018). *Engineering and Design. Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs:* Defense Technical Information Center. https://doi.org/10.21236/ADA402460

USGS. (2025, julio 11). *¿Cuáles son las designaciones de banda de los satélites Landsat?* | *Servicio Geológico de Estados Unidos*. https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites

Villodas, R. (2008). *Hidrología 1 y 2*.

Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Tecnológica de Costa Rica.

WWEE. (s. f.). *WETechData*. WATER WEATHER ENERGY ECOSYSTEM. Recuperado 30 de septiembre de 2025, de https://www.2w2e.com/home/SwatplusCup

ANEXOS

Anexo 1. *Matriz de consistencia*

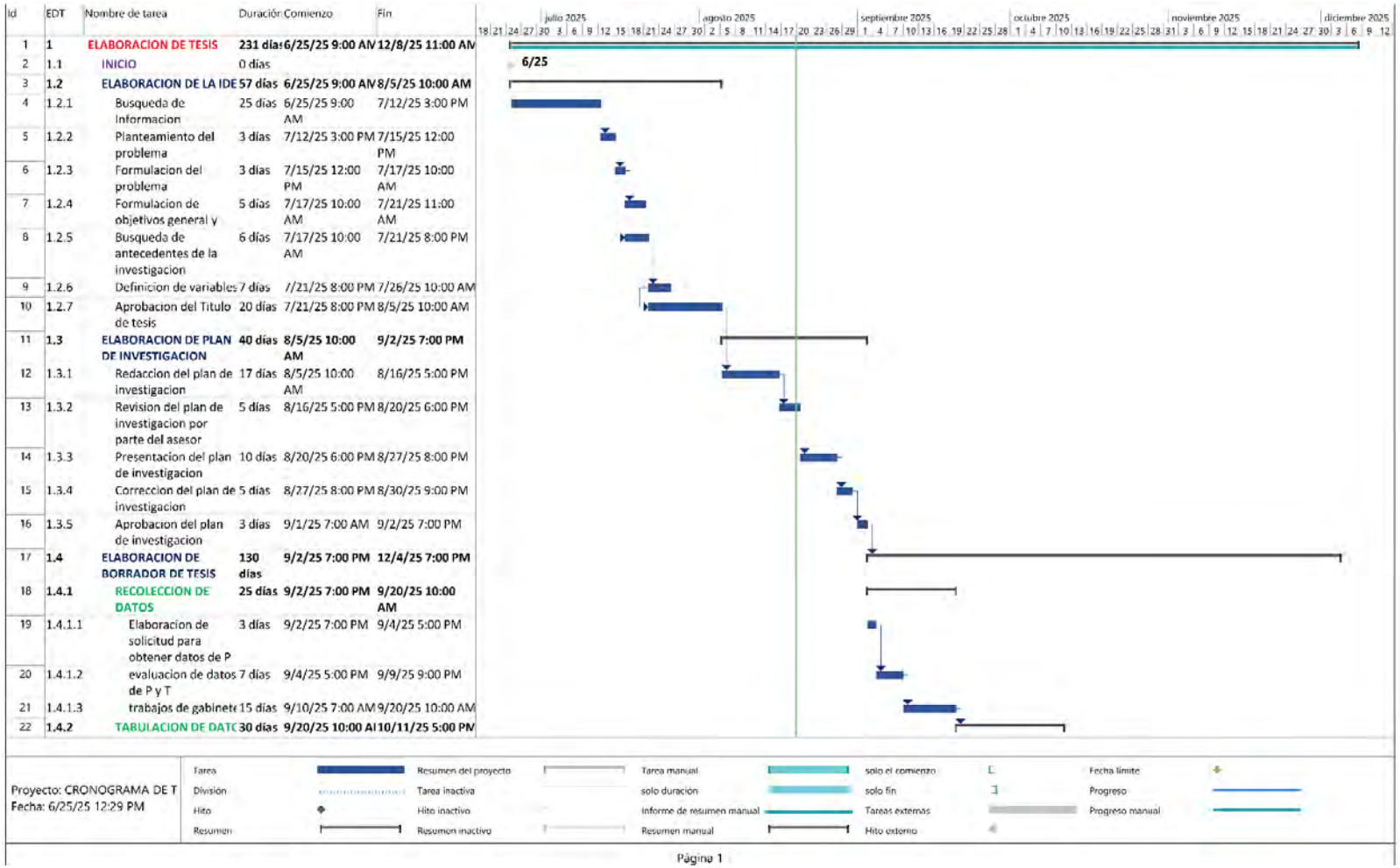
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título de Investigación: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	NDICADORES	METODOLOGIA	POBLACION
A. PROBLEMA GENERAL	**A. OBJETIVOS GENERALES**	**A. HIPÓTESIS GENERAL**					
¿Cuál es el grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la Laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024?	Determinar el grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la Laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024.	El grado de impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la Laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024 es significativo.	**X1: Cambio climático**	**Parametros de cambio climático**	Temperatura Precipitación	**Enfoque de investigacion** Cuantitativa	**Población y Muestra:** *Población:* Todos los registros cuantitativos de precipitación (mm), temperatura (°C), evaporación y volumen de almacenamiento (m³) de la laguna de Piuray durante 2000-2024.
B. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	**B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**B. HIPÓTESIS ESPECÍFICA**				**Diseño de Investigación:** No experimental de Tipo Longitudinal.	
1. ¿Cuál es la variación de la precipitacion y temperatura por el cambio climatico en la laguna de Piuray entre los años 2000-2024?	1. Determinar la variación de la precipitacion y temperatura por el cambio climatico en la laguna de Piuray entre los años 2000-2024.	1. La temperatura y la precipitacion del cambio climático en la laguna de Piuray presentan notable variación temporal entre los años 2000-2024.		**Volumen de agua (m3)**	Caudales simulados		*Muestra:* Subconjunto de la población compuesto por las series temporales disponibles y validadas de precipitación, temperatura, evaporación y volumen de la laguna en 2000-2024.
2. ¿Cuál es la variación espacio temporal del volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024?	2. Determinar la variación espacio temporal del volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray entre los años 2000 y 2024.	2. El volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray presenta una tendencia de decrecimiento entre los años 2000 y 2024.	**Y1: Volumen de Almacenamiento**		Altura media mensual		
				Nivel de espejo de agua (m)		**Nivel de investigacion:** Descriptivo correlacional	
3. ¿Cuál es el grado de correlacion entre la precipitación, temperatura y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray entre los años 2000 y 2024?	3. Determinar el grado de correlacion entre la precipitación, temperatura y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray entre los años 2000 y 2024.	3. El grado de correlacion entre la precipitación, temperatura y el volumen de almacenamiento de la laguna Piuray es significativo entre los años 2000 y 2024.			Variación de Nivel		

CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Anexo 2. *Cronograma de Realización de Tesis - Parte 1.*

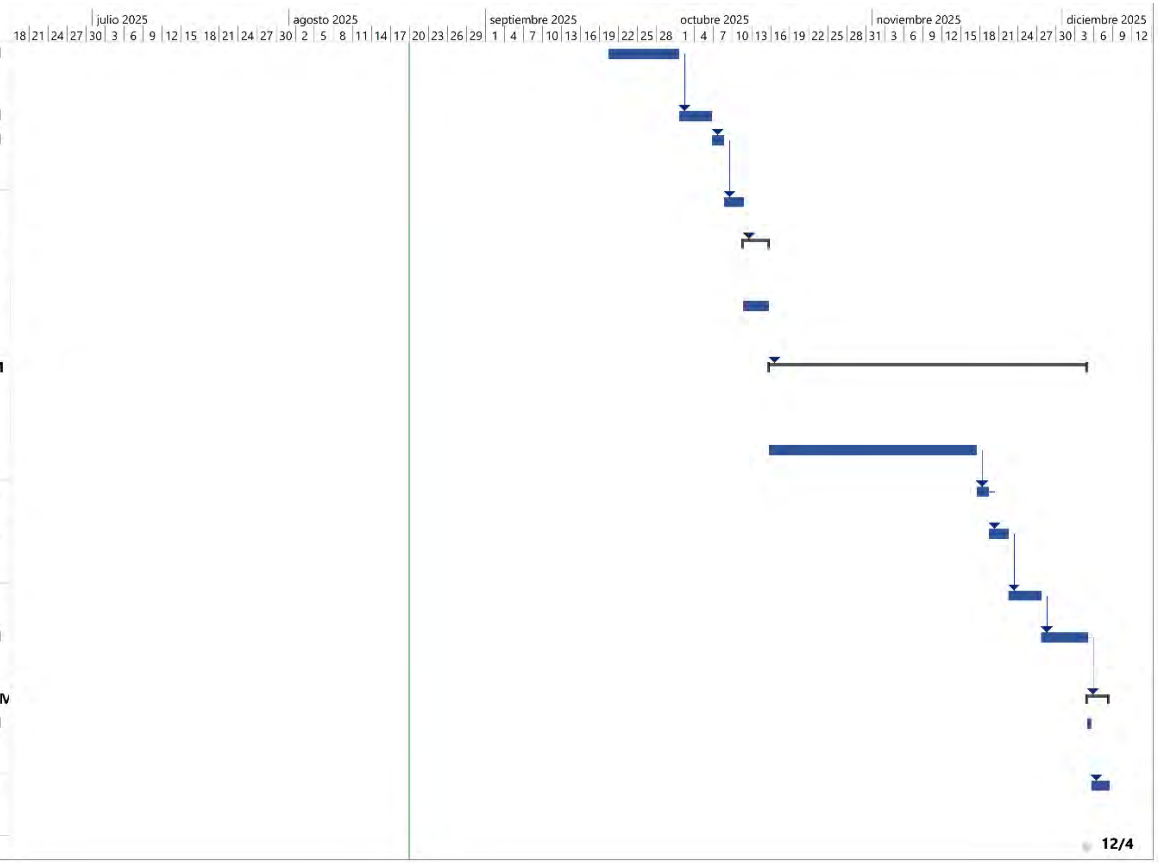


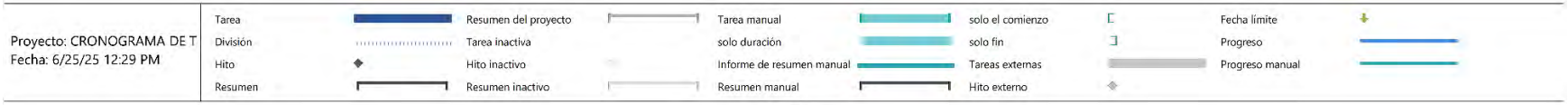
Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	1	ELABORACION DE TESIS	231 días	6/25/25 9:00 AM	12/8/25 11:00 AM
2	1.1	INICIO	0 días		
3	1.2	ELABORACION DE LA IDE	57 días	6/25/25 9:00 AM	8/5/25 10:00 AM
4	1.2.1	Busqueda de Informacion	25 días	6/25/25 9:00 AM	7/12/25 3:00 PM
5	1.2.2	Planteamiento del problema	3 días	7/12/25 3:00 PM	7/15/25 12:00 PM
6	1.2.3	Formulacion del problema	3 días	7/15/25 12:00 PM	7/17/25 10:00 AM
7	1.2.4	Formulacion de objetivos general y	5 días	7/17/25 10:00 AM	7/21/25 11:00 AM
8	1.2.5	Busqueda de antecedentes de la investigacion	6 días	7/17/25 10:00 AM	7/21/25 8:00 PM
9	1.2.6	Definicion de variables	7 días	7/21/25 8:00 PM	7/26/25 10:00 AM
10	1.2.7	Aprobacion del Titulo de tesis	20 días	7/21/25 8:00 PM	8/5/25 10:00 AM
11	1.3	ELABORACION DE PLAN DE INVESTIGACION	40 días	8/5/25 10:00 AM	9/2/25 7:00 PM
12	1.3.1	Redaccion del plan de investigacion	17 días	8/5/25 10:00 AM	8/16/25 5:00 PM
13	1.3.2	Revision del plan de investigacion por parte del asesor	5 días	8/16/25 5:00 PM	8/20/25 6:00 PM
14	1.3.3	Presentacion del plan de investigacion	10 días	8/20/25 6:00 PM	8/27/25 8:00 PM
15	1.3.4	Correccion del plan de investigacion	5 días	8/27/25 8:00 PM	8/30/25 9:00 PM
16	1.3.5	Aprobacion del plan de investigacion	3 días	9/1/25 7:00 AM	9/2/25 7:00 PM
17	1.4	ELABORACION DE BORRADOR DE TESIS	130 días	9/2/25 7:00 PM	12/4/25 7:00 PM
18	1.4.1	RECOLECCION DE DATOS	25 días	9/2/25 7:00 PM	9/20/25 10:00 AM
19	1.4.1.1	Elaboracion de solicitud para obtener datos de P	3 días	9/2/25 7:00 PM	9/4/25 5:00 PM
20	1.4.1.2	evaluacion de datos de P y T	7 días	9/4/25 5:00 PM	9/9/25 9:00 PM
21	1.4.1.3	trabajos de gabinete	15 días	9/10/25 7:00 AM	9/20/25 10:00 AM
22	1.4.2	TABULACION DE DATO	30 días	9/20/25 10:00 AM	10/11/25 5:00 PM

Nota. Elaboración propia

Anexo 3. *Cronograma de Realización de Tesis - parte 2.*

Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
23	1.4.2.1	Modelacion con los datos en software SWAT	15 días	9/20/25 10:00 AM	10/1/25 1:00 PM
24	1.4.2.2	Analisis de Resultad	7 días	10/1/25 2:00 PM	10/6/25 6:00 PM
25	1.4.2.3	Revision de los resultados por el asesor	3 días	10/6/25 6:00 PM	10/8/25 4:00 PM
26	1.4.2.4	Verificacion de los Resultados	5 días	10/8/25 4:00 PM	10/11/25 5:00 PM
27	**1.4.3**	**ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS**	**5 días**	**10/11/25 5:00 PM**	**10/15/25 6:00 PM**
28	1.4.3.1	Elaboracion de informe con los resultados	5 días	10/11/25 5:00 PM	10/15/25 6:00 PM
29	**1.4.4**	**REDACCION Y PRESENTACION DEL BORRADOR FINAL DE TESIS**	**70 días**	**10/15/25 6:00 PM**	**12/4/25 7:00 PM**
30	1.4.4.1	Redaccion del borrador final	45 días	10/15/25 6:00 PM	11/17/25 1:00 PM
31	1.4.4.2	Revision de antiplagio	3 días	11/17/25 2:00 PM	11/19/25 11:00 AM
32	1.4.4.3	Revision del Informe final de tesis por el asesor	5 días	11/19/25 11:00 AM	11/22/25 12:00 PM
33	1.4.4.4	Presentacion de borrador final	7 días	11/22/25 12:00 PM	11/27/25 5:00 PM
34	1.4.4.5	Elaboracion de materiales audiovisuales	10 días	11/27/25 5:00 PM	12/4/25 7:00 PM
35	**1.5**	**SUSTENTACION DE TESIS**	**4 días**	**12/4/25 7:00 PM**	**12/8/25 11:00 AM**
36	1.5.1	Presentacion y sustentacion ante el jurado	1 día	12/4/25 7:00 PM	12/5/25 1:00 PM
37	1.5.2	Absolucion de correcciones y entrega final	3 días	12/5/25 2:00 PM	12/8/25 11:00 AM
38	1.5.3	FIN	0 días		





Nota. Elaboración propia

PRESUPUESTO DE INVESTIGACIÓN

Anexo 4. *Presupuesto.*

PRESUPUESTO			
RECURSOS Y SERVICIOS	**COSTO**		
1. Tramites administrativos	**Cantidad**	**Costo unitario**	**costo parcial**
Derecho de tramite documentario por investigación	2.00	S/ 500.00	S/ 1,000.00
2. Búsqueda de Información			
Libros de metodología de investigación	3.00	S/ 100.00	S/ 300.00
Datos meteorológicos	0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
Datos satelitales	0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
Datos batimétricos	0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
3. Trabajo de Campo			
Viajes a la laguna de Piuray	2.00	S/ 20.00	S/ 40.00
Hojas bond para toma de datos (100 und)	1.00	S/ 0.05	S/ 5.00
Alimentación	2.00	S/ 50.00	S/ 100.00
4. Materiales de campo y gabinete			
Lapiceros	6.00	S/ 5.00	S/ 30.00
Resaltadores	6.00	S/ 3.50	S/ 21.00
Pizarra acrilica	2.00	S/ 30.00	S/ 60.00
Plumones	6.00	S/ 4.50	S/ 27.00
4. Capacitacion			
Cursos de dominio de softwares	2.00	S/ 1,206.00	S/ 2,412.00
5. Procesamiento de Datos			
Uso de software Civil 3D (licencia estudiantil)	0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
Uso de ArcGIS + SWAT (licencia)	2.00	S/ 375.11	S/ 750.22
USB	2.00	S/ 60.00	S/ 120.00
Laptop	2.00	S/ 4,000.00	S/ 8,000.00
6. Análisis y Modelado			
Computadora (gastos de energía)	3.00	S/ 50.00	S/ 150.00
Internet	3.00	S/ 50.00	S/ 150.00
7. Redacción de la Tesis			
Impresión de borrador (180 páginas)	3.00	S/ 0.30	S/ 90.00
Empastado de la tesis final	3.00	S/ 20.00	S/ 60.00
8. Otros			
Gastos imprevistos	1.00	S/ 300.00	S/ 300.00
	TOTAL		**S/ 13,615.22**

Nota. Elaboración propia

REGISTROS DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

Anexo 5. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Granja Kayra*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-GRANJA KAYRA

ESTACIÓN: GRANJA KAYRA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** SAN JERONIMO
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 33' 24.700" S
ALTITUD: 3365 msnm	**LONGITUD:** 71° 52' 29.798" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30	922.90
1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60	786.80
1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20	483.70
1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80	800.50
1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40	728.30
1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70	569.10
1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60	630.60
1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70	725.50
1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	15.70	60.70	88.50	653.30
1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50	641.10
1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00	682.40
1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00	609.30
1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50	799.90
1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90	798.40
1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60	560.00
1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60				369.60
1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40	805.30
1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90		1.60	4.30	49.80	49.70	58.90	493.90
1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50	543.10
2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00	652.00
2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40	864.10
2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40	822.10
2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80	713.70
2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90	632.00
2005	140.80		120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50	508.30
2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20	856.30
2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.40	72.40	88.40	621.40
2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90	592.40
2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90	525.50
2010	268.60	168.50	129.20	16.60	1.30	0.10	1.40	4.70	8.20	63.60	40.40	174.10	876.70
2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20	740.50
2012	70.50	157.90	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50	679.60
2013	187.30	137.20	75.50	13.00	6.40	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40	796.60
2014	161.90	116.50	40.00	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	82.20	37.50	155.90	660.70
2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00	687.00
2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80	548.10
2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70	609.70
2018	154.76	162.50	146.27	20.30	0.20	16.00	11.60	7.10	9.10	84.82	80.75	95.00	788.40
2019	127.80	117.20	171.40	30.00	28.20	1.50	3.70	0.00	9.80	82.40	111.70	154.40	838.10
2020	126.70	156.40	80.20			0.00	8.20	1.00	5.60	7.50	46.60	138.20	570.40
2021	154.40	127.00	75.70	90.50	8.70	10.70	0.00	4.30	1.50	46.10	101.60	106.10	726.60
2022	214.40	107.20	142.20	12.90	1.00	0.50	0.00	2.50	21.90	1.20	29.30	54.60	587.70
2023	96.20	106.20	66.10	42.50	45.80	0.00	0.00	5.70	13.40	21.80	120.60	147.00	665.30
2024	73.60	87.30	133.50	56.20	14.80	0.10	0.50	0.00					366.00

NÚMERO	44	43	44	43	43	44	43	44	43	42	42	42
PROM.	148.76	123.97	100.11	40.27	7.11	4.47	3.37	4.83	15.36	47.07	76.95	114.08
MÁXIMO	268.60	184.60	173.90	108.90	45.80	31.80	27.10	21.40	45.90	114.60	201.50	201.50
MÍNIMO	70.50	58.70	22.60	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.20	23.10	54.60
DES. EST.	46.72	31.67	38.40	23.99	8.54	6.67	5.69	5.14	11.40	28.02	36.58	33.47

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Anexo 6. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Granja Kayra*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-GRANJA KAYRA

ESTACIÓN: GRANJA KAYRA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** SAN JERONIMO
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 33' 24.700" S
ALTITUD: 3219 msnm	**LONGITUD:** 71° 52' 29.798" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30	922.90
1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60	786.80
1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20	483.70
1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80	800.50
1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40	728.30
1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70	569.10
1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60	630.60
1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70	725.50
1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	15.70	60.70	88.50	653.30
1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50	641.10
1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00	682.40
1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00	609.30
1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50	799.90
1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90	798.40
1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60	560.00
1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	70.72	75.49	126.09	641.90
1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40	805.30
1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90	493.90
1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50	543.10
2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00	652.00
2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40	864.10
2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40	822.10
2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80	713.70
2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90	632.00
2005	140.80	135.83	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50	644.13
2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20	856.30
2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.40	72.40	88.40	621.40
2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90	592.40
2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90	525.50
2010	268.60	168.50	129.20	16.60	1.30	0.10	1.40	4.70	8.20	63.60	40.40	174.10	876.70
2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20	740.50
2012	70.50	157.90	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50	679.60
2013	187.30	137.20	75.50	13.00	6.40	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40	796.60
2014	161.90	116.50	40.00	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	82.20	37.50	155.90	660.70
2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00	687.00
2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80	548.10
2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70	609.70
2018	154.76	162.50	146.27	20.30	0.20	16.00	11.60	7.10	9.10	84.82	80.75	95.00	788.40
2019	127.80	117.20	171.40	30.00	28.20	1.50	3.70	0.00	9.80	82.40	111.70	154.40	838.10
2020	126.70	156.40	80.20	69.83	1.24	0.00	8.20	1.00	5.60	7.50	46.60	138.20	641.47
2021	154.40	127.00	75.70	90.50	8.70	10.70	0.00	4.30	1.50	46.10	101.60	106.10	726.60
2022	214.40	107.20	142.20	12.90	1.00	0.50	0.00	2.50	21.90	1.20	29.30	54.60	587.70
2023	96.20	106.20	66.10	42.50	45.80	0.00	0.00	5.70	13.40	21.80	120.60	147.00	665.30
2024	73.60	87.30	133.50	56.20	14.80	0.10	0.50	0.00	33.82	50.69	68.68	71.88	591.07

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	148.76	124.24	100.11	40.94	6.97	4.47	3.29	4.83	15.78	47.69	76.73	113.39	
MÁXIMO	268.60	184.60	173.90	108.90	45.80	31.80	27.10	21.40	45.90	114.60	201.50	201.50	
MÍNIMO	70.50	58.70	22.60	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.20	23.10	54.60	
DES. EST.	46.72	31.35	38.40	24.12	8.49	6.67	5.65	5.14	11.60	27.60	35.74	33.35	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Anexo 7. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Perayoc*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-PERAYOC

ESTACIÓN: PERAYOC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CUSCO
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 31' 0.998" S
ALTITUD: 3365 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 1.001" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	218.10	73.00	119.20	69.20	0.60	4.20	0.00	12.40	46.70	105.00	112.10	133.90	894.40
1982	205.90	118.70	159.50	67.90	0.00	1.40	3.80	9.80	58.00	68.00	171.90	150.40	1015.30
1983	154.30	96.40	60.80	23.80	8.60	36.05	0.70	0.00	2.30	37.50	60.35	172.40	653.20
1984	219.85	172.80	88.60	82.10	0.20	6.80	0.20	19.30	21.80	126.05	82.60	110.20	930.50
1985	121.90	143.00	123.50	64.20	19.10	17.90	3.10	6.10	39.10	70.30	128.10	146.40	882.70
1986	103.20	114.10	154.80	95.40	6.80	0.00	3.30	10.60	10.80	35.60	115.10	87.50	737.20
1987	311.60	106.00	81.20	35.10	5.90	13.60	14.20	0.00	13.00	60.50	121.20	164.90	927.20
1988	228.80	144.50	250.50	40.90	4.00	0.00	0.00	0.00	19.40	59.50	57.70	154.50	959.80
1989	213.40	147.40	198.50	54.70	4.10	14.90	0.00	6.30	15.50	92.80	72.40	72.50	892.50
1990	309.40	89.40	62.50	105.90	11.80	33.70	0.00	6.80	18.30	105.90	109.10	105.70	958.50
1991	117.10	236.40	152.00	44.80	14.00	7.90	1.00	0.00	31.60	116.60	104.80	116.20	942.40
1992	154.80	142.10	95.60	18.50	10.00	6.50	21.50	33.50	9.10	68.70	124.90	66.60	751.80
1993	251.90	123.20	93.20	34.50	3.40	0.00	1.80	22.70	6.90	97.40	100.90	220.00	955.90
1994	196.40	220.90	232.60	60.50	15.20	0.00	0.00	0.00	21.00	44.50	64.20	165.00	1020.30
1995	127.00	90.60	137.80	26.10	1.70	0.30	3.10	0.00	52.00	20.10	27.50	124.00	610.20
1996	169.00	87.40	48.60	28.90	9.70	0.60	0.00	9.80	16.00	61.20	66.00	168.00	665.20
1997	137.20	105.10	145.40	75.30	3.20	0.00	0.00	11.10	13.40	35.50	126.00	178.70	830.90
1998	155.30	163.20	54.30	34.80	3.80	3.40	0.00	6.20	2.20	84.90	70.60	69.40	648.10
1999	165.00	96.70	104.00	50.70	10.20	6.00	0.00	0.00	57.90	24.80	52.70	119.20	687.20
2000	234.90	117.11	113.10	9.40	1.80	3.50	2.40	6.70	24.60	53.00	53.80	90.70	711.01
2001	295.00	155.40	160.90	34.20	5.90	0.00	22.40	11.90	19.20	69.70	73.20	102.90	950.70
2002	184.90	179.80	203.70	25.40	6.90	2.20	32.50	6.00	14.40	73.80	114.70	129.30	973.60
2003	216.60	156.90	153.20	95.30	2.80	7.10	0.00	13.10	9.80	23.50	38.80	127.80	844.90
2004	203.00	149.00	89.50	30.40	3.40	20.60	9.60	10.00	32.70	34.90	51.70	94.20	729.00
2005	118.80	122.40	108.50	35.70	1.10	0.00	1.00	3.10	6.50	36.90	66.60	57.80	558.40
2006	196.30	122.30	126.50	73.90	0.00	6.80	0.00	5.50	18.60	77.80	67.40	162.90	858.00
2007	139.50	86.90	113.50	68.60	13.00	0.00	4.30	0.80	6.10	74.30	103.80	77.70	688.50
2008	120.10	137.90	80.70	5.30	6.50	2.50	3.10	6.70	14.60	106.50	54.90	128.80	667.60
2009	122.30	117.30	55.30	25.50	0.80	0.00	0.00	3.00	11.00	24.70	199.30	129.90	689.10
2010	339.10	213.30	166.30	25.40	6.60	0.00	45.30	10.60	7.20	84.10	49.50	244.10	1191.50
2011	98.70	245.20	180.70	66.70	0.50	0.04	4.50	0.00	34.50	25.80	97.07	62.80	816.51
2012	59.40	118.80	70.20	51.40	3.80	3.60	0.20	1.40	14.40	16.80	107.40	178.40	625.80
2013	160.20	181.40	112.50	29.20	8.10	12.20	2.50	17.30	19.70	120.00	94.22	199.80	957.12
2014	177.40	125.10	47.00	64.10	19.30	0.00	2.60	12.80	17.60	79.00	17.60	170.90	733.40
2015	165.70	145.00	86.80	70.18	20.60	4.40	9.10	12.10	28.80	20.40	70.10	157.40	790.58
2016	100.10	182.70	59.20	45.70	11.20	0.20	9.70	1.30	22.60	77.40	33.60	93.10	636.80
2017	126.20	133.80	176.00	48.50	22.50	5.80	1.30	11.40	17.60	60.50	67.70	125.60	796.90
2018	172.20	174.40	160.50	33.70	3.00	16.30	16.30	14.60	18.20	77.60	74.20	80.30	841.30
2019	113.70	123.50	133.50	25.70	22.60	4.10	4.20	0.00	5.60	66.20	137.50	210.25	846.85
2020													0.00
2021													0.00
2022	194.20	147.00	159.40	12.60	0.00	0.00	0.00	2.80	5.00	12.70	21.00	53.80	608.50
2023	47.00	94.60	78.80	55.60	22.20	0.00	0.00	7.10	20.10	23.00	52.10	146.60	547.10
2024		110.50	144.40	147.00	23.20	0.00	8.00						433.10

NÚMERO	41	42	42	42	42	42	42	41	41	41	41	41
PROM.	174.28	138.36	122.45	49.83	8.05	5.78	5.52	7.63	20.09	62.28	83.28	130.50
MÁXIMO	339.10	245.20	250.50	147.00	23.20	36.05	45.30	33.50	58.00	126.05	199.30	244.10
MÍNIMO	47.00	73.00	47.00	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	12.70	17.60	53.80
DES. EST.	66.12	41.04	50.53	28.66	7.25	8.58	9.54	7.21	14.14	31.53	39.23	46.83

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 8. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Perayoc*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-PERAYOC

ESTACIÓN: PERAYOC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CUSCO
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 31' 0.998" S
ALTITUD: 3365 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 1.001" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	218.10	73.00	119.20	69.20	0.60	4.20	0.00	12.40	46.70	105.00	112.10	133.90	894.40
1982	205.90	118.70	159.50	67.90	0.00	1.40	3.80	9.80	58.00	68.00	171.90	150.40	1015.30
1983	154.30	96.40	60.80	23.80	8.60	36.05	0.70	0.00	2.30	37.50	60.35	172.40	653.20
1984	219.85	172.80	88.60	82.10	0.20	6.80	0.20	19.30	21.80	126.05	82.60	110.20	930.50
1985	121.90	143.00	123.50	64.20	19.10	17.90	3.10	6.10	39.10	70.30	128.10	146.40	882.70
1986	103.20	114.10	154.80	95.40	6.80	0.00	3.30	10.60	10.80	35.60	115.10	87.50	737.20
1987	311.60	106.00	81.20	35.10	5.90	13.60	14.20	0.00	13.00	60.50	121.20	164.90	927.20
1988	228.80	144.50	250.50	40.90	4.00	0.00	0.00	0.00	19.40	59.50	57.70	154.50	959.80
1989	213.40	147.40	198.50	54.70	4.10	14.90	0.00	6.30	15.50	92.80	72.40	72.50	892.50
1990	309.40	89.40	62.50	105.90	11.80	33.70	0.00	6.80	18.30	105.90	109.10	105.70	958.50
1991	117.10	236.40	152.00	44.80	14.00	7.90	1.00	0.00	31.60	116.60	104.80	116.20	942.40
1992	154.80	142.10	95.60	18.50	10.00	6.50	21.50	33.50	9.10	68.70	124.90	66.60	751.80
1993	251.90	123.20	93.20	34.50	3.40	0.00	1.80	22.70	6.90	97.40	100.90	220.00	955.90
1994	196.40	220.90	232.60	60.50	15.20	0.00	0.00	0.00	21.00	44.50	64.20	165.00	1020.30
1995	127.00	90.60	137.80	26.10	1.70	0.30	3.10	0.00	52.00	20.10	27.50	124.00	610.20
1996	169.00	87.40	48.60	28.90	9.70	0.60	0.00	9.80	16.00	61.20	66.00	168.00	665.20
1997	137.20	105.10	145.40	75.30	3.20	0.00	0.00	11.10	13.40	35.50	126.00	178.70	830.90
1998	155.30	163.20	54.30	34.80	3.80	3.40	0.00	6.20	2.20	84.90	70.60	69.40	648.10
1999	165.00	96.70	104.00	50.70	10.20	6.00	0.00	0.00	57.90	24.80	52.70	119.20	687.20
2000	234.90	117.11	113.10	9.40	1.80	3.50	2.40	6.70	24.60	53.00	53.80	90.70	711.01
2001	295.00	155.40	160.90	34.20	5.90	0.00	22.40	11.90	19.20	69.70	73.20	102.90	950.70
2002	184.90	179.80	203.70	25.40	6.90	2.20	32.50	6.00	14.40	73.80	114.70	129.30	973.60
2003	216.60	156.90	153.20	95.30	2.80	7.10	0.00	13.10	9.80	23.50	38.80	127.80	844.90
2004	203.00	149.00	89.50	30.40	3.40	20.60	9.60	10.00	32.70	34.90	51.70	94.20	729.00
2005	118.80	122.40	108.50	35.70	1.10	0.00	1.00	3.10	6.50	36.90	66.60	57.80	558.40
2006	196.30	122.30	126.50	73.90	0.00	6.80	0.00	5.50	18.60	77.80	67.40	162.90	858.00
2007	139.50	86.90	113.50	68.60	13.00	0.00	4.30	0.80	6.10	74.30	103.80	77.70	688.50
2008	120.10	137.90	80.70	5.30	6.50	2.50	3.10	6.70	14.60	106.50	54.90	128.80	667.60
2009	122.30	117.30	55.30	25.50	0.80	0.00	0.00	3.00	11.00	24.70	199.30	129.90	689.10
2010	339.10	213.30	166.30	25.40	6.60	0.00	45.30	10.60	7.20	84.10	49.50	244.10	1191.50
2011	98.70	245.20	180.70	66.70	0.50	0.04	4.50	0.00	34.50	25.80	97.07	62.80	816.51
2012	59.40	118.80	70.20	51.40	3.80	3.60	0.20	1.40	14.40	16.80	107.40	178.40	625.80
2013	160.20	181.40	112.50	29.20	8.10	12.20	2.50	17.30	19.70	120.00	94.22	199.80	957.12
2014	177.40	125.10	47.00	64.10	19.30	0.00	2.60	12.80	17.60	79.00	17.60	170.90	733.40
2015	165.70	145.00	86.80	70.18	20.60	4.40	9.10	12.10	28.80	20.40	70.10	157.40	790.58
2016	100.10	182.70	59.20	45.70	11.20	0.20	9.70	1.30	22.60	77.40	33.60	93.10	636.80
2017	126.20	133.80	176.00	48.50	22.50	5.80	1.30	11.40	17.60	60.50	67.70	125.60	796.90
2018	172.20	174.40	160.50	33.70	3.00	16.30	16.30	14.60	18.20	77.60	74.20	80.30	841.30
2019	113.70	123.50	133.50	25.70	22.60	4.10	4.20	0.00	5.60	66.20	137.50	210.25	846.85
2020	153.61	221.23	56.18	81.14	0.68	0.02	1.34	3.38	28.75	21.58	125.07	138.40	831.38
2021	214.73	182.43	82.92	70.30	4.59	6.91	0.39	0.86	1.04	57.49	48.76	114.74	785.16
2022	194.20	147.00	159.40	12.60	0.00	0.00	0.00	2.80	5.00	12.70	21.00	53.80	608.50
2023	47.00	94.60	78.80	55.60	22.20	0.00	0.00	7.10	20.10	23.00	52.10	146.60	547.10
2024	101.64	110.50	144.40	147.00	23.20	0.00	8.00	0.00	19.85	93.96	139.18	48.67	836.40
NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	173.08	141.25	120.04	51.01	7.80	5.67	5.31	7.21	19.85	61.97	84.71	128.46	
MÁXIMO	339.10	245.20	250.50	147.00	23.20	36.05	45.30	33.50	58.00	126.05	199.30	244.10	
MÍNIMO	47.00	73.00	47.00	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	12.70	17.60	48.67	
DES. EST.	65.09	42.46	50.66	28.54	7.19	8.43	9.37	7.15	14.01	31.42	39.63	46.89	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 9. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Pisac.*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-PISAC

ESTACIÓN: PISAC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** PISAC
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 24' 56.999" S
ALTITUD: 2950 msnm	**LONGITUD:** 71° 50' 57.998" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	97.95	178.34	89.72	31.42	9.34	4.24	15.32	3.00	15.40	63.50	118.10	117.92	744.25
1982	276.41	68.45	236.21	195.41	25.54	8.01	1.02	15.11	19.91	30.14	104.55	18.73	999.49
1983	5.13	31.14		29.85	0.01	2.03	11.16	6.13	13.32	18.55	30.55	34.02	181.89
1984	103.53							16.53	8.10	46.66	71.42	13.64	259.88
1985	140.66	205.51	194.52	64.34	8.31	0.00	0.00	5.11	27.96	108.14	131.23	25.02	910.80
1986	27.82	118.93	134.02	38.53	12.51	0.00	2.15	3.38	4.04	2.12	8.31	11.80	363.61
1987	276.30	45.96	24.63	13.35	0.01	14.63	9.12	0.02	0.01	8.23		38.82	431.08
1988	96.12	99.62	193.41	52.41	2.03	0.00	0.00	0.00	2.30	12.03	13.74	85.91	557.57
1989	116.33	94.83	111.51	25.92	8.06	0.02	3.02	9.25	7.24	20.52	20.22	27.15	444.07
1990	76.75	45.63	20.33	82.60	6.25	38.46	0.01	3.02	8.40	44.12	99.42	115.01	540.00
1991	76.23	101.73	64.56	31.40	11.54	8.01	0.00	2.05	2.03	50.75	61.41	65.44	475.15
1992	81.03	45.42	31.71	22.62	0.03	26.03		13.33	4.02	32.00	91.80	73.00	420.99
1993	178.91	82.93	12.46	36.05	8.25	4.20	8.25	14.25	3.02	18.23	87.04	109.85	563.44
1994	167.20	118.00	151.63	59.83	5.31	0.01	0.02	0.05	12.44	52.62	13.22	158.60	738.93
1995	98.91	79.53	80.01	7.20	4.22	0.01	0.01	0.02	12.23	24.20	18.21	51.60	376.15
1996	117.60	69.31	44.42	69.32	12.15	0.00	0.03	21.61		52.52	47.51		434.47
1997			99.50	4.10	2.90	0.00	0.00	20.10	18.10	13.50	108.90	97.80	364.90
1998	129.80	98.70	38.20	21.60	4.20	3.00	0.00	0.80	13.50	64.00	50.90	51.30	476.00
1999	93.20	122.30	51.50	28.30	4.90		2.60	0.00	30.00	17.70	40.20	105.90	496.60
2000	159.80	105.40	58.70	2.20	9.10	3.70	0.00	2.00	4.40	41.60	11.00	70.60	468.50
2001	211.20	136.40	152.20	19.90	12.10	0.00	19.40	5.60	8.00	50.00	77.40	102.00	794.20
2002	90.60	161.40	106.10	35.80	6.60	4.30	46.60	3.30	10.90	39.40	91.60	127.90	724.50
2003	114.40	108.70	110.70	15.80	4.40	6.80	0.00	23.60	4.00	31.70	18.30	120.90	559.30
2004	149.90	109.20	95.60	15.80	2.00	16.40	10.30	6.90	32.50	25.90	43.00	94.30	601.80
2005	127.00	76.90	69.10	29.60	0.00	0.00	1.50	3.70	4.10	18.00	50.50	58.60	439.00
2006	170.70	82.20	125.00	34.50	0.00	30.00	0.00	14.30	5.20	42.70	69.70	117.10	691.40
2007	102.70	55.80	135.80	42.10	7.60	0.00	1.70	0.00	4.90	32.70	66.90	83.30	533.50
2008	154.30	151.50	61.50	8.50	5.90	3.60	0.70	3.20	9.80	46.80	64.10	133.90	643.80
2009	89.90	89.40	66.20	14.10	0.20	0.00	3.10	0.80	20.40	8.20	118.10	115.30	525.70
2010	270.10	145.10	155.80	6.00	6.50	1.10	1.40	11.40	1.80	72.70	26.30	204.20	902.40
2011	100.70	170.60	109.20	32.90	6.80	7.00	8.60	0.60	27.90	26.20	48.00	139.50	678.00
2012	67.00	157.00	54.20	30.10	1.20	0.00	0.80	0.50	24.10	8.60	127.00	146.80	617.30
2013	104.80	153.50	68.10	23.30	10.70	5.40	4.10	15.80	5.60	132.00	52.90	170.10	746.30
2014	143.80	82.60	68.70	50.00	12.80	0.00	1.30	1.50	22.90	28.20	12.50	105.80	530.10
2015	78.00	49.80	28.30	35.50	12.50	0.00	26.80	3.60	13.10	7.40	20.60	51.80	327.40
2016	51.80	84.50	19.70	10.00	22.50	1.20	7.30	0.00	14.10	72.90	27.10	98.20	409.30
2017	66.40	52.50	116.20	54.80	12.90	3.20	0.80	5.50	9.00	24.60	40.80	61.90	448.60
2018	124.30	121.10	107.00	32.60	3.90	14.20	13.60	15.00	11.80	85.70	92.60	69.40	691.20
2019	115.30	77.70	126.00	19.30	17.60	0.50	9.10	0.00	4.80	53.10	97.20	106.90	627.50
2020	136.10	107.60	87.90			0.40	0.90	0.00	0.10	17.10	27.60	88.30	466.00
2021	90.50	92.80	40.40	24.30	6.90	2.70	0.00	2.30	2.60	30.10	87.80	66.30	446.70
2022	108.30	43.40	106.40	1.30	1.10	0.20	0.00	1.50	14.60	0.60	19.60	72.40	369.40
2023	55.20	32.10	68.90	25.60	44.60	0.00	0.60	1.40	13.10	13.70	89.40	117.00	461.60
2024	46.80	90.00	72.90	21.00	7.10	2.90	2.00	0.10					242.80

NÚMERO	43	42	42	42	42	42	42	44	42	43	42	42
PROM.	118.36	98.66	90.21	33.32	8.11	5.05	5.08	5.83	11.23	36.96	59.45	88.67
MÁXIMO	276.41	205.51	236.21	195.41	44.60	38.46	46.60	23.60	32.50	132.00	131.23	204.20
MÍNIMO	5.13	31.14	12.46	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.60	8.31	11.80
DES. EST.	59.33	42.17	51.07	31.57	8.20	8.62	8.91	6.79	8.59	27.75	36.71	43.85

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 10. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Pisac.*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-PISAC

ESTACIÓN: PISAC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** PISAC
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 24' 56.999" S
ALTITUD: 2950 msnm	**LONGITUD:** 71° 50' 57.998" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	97.95	178.34	89.72	31.42	9.34	4.24	15.32	3.00	15.40	63.50	118.10	117.92	744.25
1982	276.41	68.45	236.21	195.41	25.54	8.01	1.02	15.11	19.91	30.14	104.55	18.73	999.49
1983	5.13	31.14	59.19	29.85	0.01	2.03	11.16	6.13	13.32	18.55	30.55	34.02	241.08
1984	103.53	123.72	54.07	20.00	2.93	2.25	0.03	16.53	8.10	46.66	71.42	13.64	462.88
1985	140.66	205.51	194.52	64.34	8.31	0.00	0.00	5.11	27.96	108.14	131.23	25.02	910.80
1986	27.82	118.93	134.02	38.53	12.51	0.00	2.15	3.38	4.04	2.12	8.31	11.80	363.61
1987	276.30	45.96	24.63	13.35	0.01	14.63	9.12	0.02	0.01	8.23	75.88	38.82	506.96
1988	96.12	99.62	193.41	52.41	2.03	0.00	0.00	0.00	2.30	12.03	13.74	85.91	557.57
1989	116.33	94.83	111.51	25.92	8.06	0.02	3.02	9.25	7.24	20.52	20.22	27.15	444.07
1990	76.75	45.63	20.33	82.60	6.25	38.46	0.01	3.02	8.40	44.12	99.42	115.01	540.00
1991	76.23	101.73	64.56	31.40	11.54	8.01	0.00	2.05	2.03	50.75	61.41	65.44	475.15
1992	81.03	45.42	31.71	22.62	0.03	26.03	14.52	13.33	4.02	32.00	91.80	73.00	435.51
1993	178.91	82.93	12.46	36.05	8.25	4.20	8.25	14.25	3.02	18.23	87.04	109.85	563.44
1994	167.20	118.00	151.63	59.83	5.31	0.01	0.02	0.05	12.44	52.62	13.22	158.60	738.93
1995	98.91	79.53	80.01	7.20	4.22	0.01	0.01	0.02	12.23	24.20	18.21	51.60	376.15
1996	117.60	69.31	44.42	69.32	12.15	0.00	0.03	21.61	17.89	52.52	47.51	54.65	507.01
1997	123.13	28.32	99.50	4.10	2.90	0.00	0.00	20.10	18.10	13.50	108.90	97.80	516.35
1998	129.80	98.70	38.20	21.60	4.20	3.00	0.00	0.80	13.50	64.00	50.90	51.30	476.00
1999	93.20	122.30	51.50	28.30	4.90	0.17	2.60	0.00	30.00	17.70	40.20	105.90	496.77
2000	159.80	105.40	58.70	2.20	9.10	3.70	0.00	2.00	4.40	41.60	11.00	70.60	468.50
2001	211.20	136.40	152.20	19.90	12.10	0.00	19.40	5.60	8.00	50.00	77.40	102.00	794.20
2002	90.60	161.40	106.10	35.80	6.60	4.30	46.60	3.30	10.90	39.40	91.60	127.90	724.50
2003	114.40	108.70	110.70	15.80	4.40	6.80	0.00	23.60	4.00	31.70	18.30	120.90	559.30
2004	149.90	109.20	95.60	15.80	2.00	16.40	10.30	6.90	32.50	25.90	43.00	94.30	601.80
2005	127.00	76.90	69.10	29.60	0.00	0.00	1.50	3.70	4.10	18.00	50.50	58.60	439.00
2006	170.70	82.20	125.00	34.50	0.00	30.00	0.00	14.30	5.20	42.70	69.70	117.10	691.40
2007	102.70	55.80	135.80	42.10	7.60	0.00	1.70	0.00	4.90	32.70	66.90	83.30	533.50
2008	154.30	151.50	61.50	8.50	5.90	3.60	0.70	3.20	9.80	46.80	64.10	133.90	643.80
2009	89.90	89.40	66.20	14.10	0.20	0.00	3.10	0.80	20.40	8.20	118.10	115.30	525.70
2010	270.10	145.10	155.80	6.00	6.50	1.10	1.40	11.40	1.80	72.70	26.30	204.20	902.40
2011	100.70	170.60	109.20	32.90	6.80	7.00	8.60	0.60	27.90	26.20	48.00	139.50	678.00
2012	67.00	157.00	54.20	30.10	1.20	0.00	0.80	0.50	24.10	8.60	127.00	146.80	617.30
2013	104.80	153.50	68.10	23.30	10.70	5.40	4.10	15.80	5.60	132.00	52.90	170.10	746.30
2014	143.80	82.60	68.70	50.00	12.80	0.00	1.30	1.50	22.90	28.20	12.50	105.80	530.10
2015	78.00	49.80	28.30	35.50	12.50	0.00	26.80	3.60	13.10	7.40	20.60	51.80	327.40
2016	51.80	84.50	19.70	10.00	22.50	1.20	7.30	0.00	14.10	72.90	27.10	98.20	409.30
2017	66.40	52.50	116.20	54.80	12.90	3.20	0.80	5.50	9.00	24.60	40.80	61.90	448.60
2018	124.30	121.10	107.00	32.60	3.90	14.20	13.60	15.00	11.80	85.70	92.60	69.40	691.20
2019	115.30	77.70	126.00	19.30	17.60	0.50	9.10	0.00	4.80	53.10	97.20	106.90	627.50
2020	136.10	107.60	87.90	31.06	3.61	0.40	0.90	0.00	0.10	17.10	27.60	88.30	500.67
2021	90.50	92.80	40.40	24.30	6.90	2.70	0.00	2.30	2.60	30.10	87.80	66.30	446.70
2022	108.30	43.40	106.40	1.30	1.10	0.20	0.00	1.50	14.60	0.60	19.60	72.40	369.40
2023	55.20	32.10	68.90	25.60	44.60	0.00	0.60	1.40	13.10	13.70	89.40	117.00	461.60
2024	46.80	90.00	72.90	21.00	7.10	2.90	2.00	0.10	12.17	66.08	59.73	139.59	520.37

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	118.47	97.63	88.69	32.96	7.89	4.88	5.18	5.83	11.40	37.63	59.83	89.05	
MÁXIMO	276.41	205.51	236.21	195.41	44.60	38.46	46.60	23.60	32.50	132.00	131.23	204.20	
MÍNIMO	5.13	28.32	12.46	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.60	8.31	11.80	
DES. EST.	58.64	42.71	50.37	30.89	8.07	8.46	8.86	6.79	8.45	27.78	35.94	43.83	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 11. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Urubamba.*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-URUBAMBA

ESTACIÓN: URUBAMBA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** URUBAMBA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** URUBAMBA
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 19' 23.200" S
ALTITUD: 2863 msnm	**LONGITUD:** 72° 7' 44.821" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	37.80	27.20	9.40	11.00	0.00	0.00	0.00	6.80	11.80	32.80	32.60	40.90	210.30
1982	29.00	21.00	18.20	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	11.60	13.60	16.70	129.70
1983	12.60	5.20	13.60	2.20	5.80	1.20	0.00	0.00	0.00	2.40	12.40	21.40	76.80
1984	32.10	76.40	53.80	39.30	0.00	6.00	0.00	26.40	4.20	81.80			320.00
1985						7.90	2.10	2.80	14.60	33.30	64.10	109.20	234.00
1986	53.70	56.20	56.50	41.50	14.00	0.00	0.00	5.00	4.00	13.50	57.50	49.50	351.40
1987	102.50	83.70	35.50	1.00	3.00	7.50	17.00	0.00	14.00	27.50	88.00	100.00	479.70
1988	115.50	77.50	126.50	43.00	4.50	0.00	0.00	0.00	17.00	25.50	25.00	88.00	522.50
1989	102.00	90.00	103.90	50.50	13.30	9.50	0.50	0.00	26.50	46.00	25.00	99.00	566.20
1990	133.50	99.30	26.00	33.00	6.00	40.00	0.00	9.50	6.00	52.60	44.00	69.30	519.20
1991	52.50	125.50	82.50	39.50	2.00	10.00	0.00		11.50	32.50	82.00	56.50	494.50
1992	95.50	77.30	40.50	9.50	0.00	40.50	0.00	32.00	1.50	22.50	60.00	27.00	406.30
1993	128.00	82.00	57.50	39.00	2.00	0.00	2.50	28.00	4.00	30.00	79.00	120.00	572.00
1994	117.00	96.60	110.00	34.50	2.00				23.50	51.50	29.50	151.50	616.10
1995	72.20	42.10	81.30	10.90	2.20	1.00	0.30	0.00	14.50	35.10	55.00	95.50	410.10
1996	88.40	77.50	50.60	53.60	13.20	0.40	0.10	11.60	5.00	35.10	46.90	73.80	456.20
1997	88.60	124.70	98.50	8.50	2.30		0.00	8.30	6.20	10.10	73.00	84.90	505.10
1998	54.70	73.20	26.70	10.40	4.00	0.70	0.00	0.40	1.70	22.20	49.70	47.00	290.70
1999	124.20	122.30	66.10	29.60	17.50	0.80	0.10	0.00	23.70	20.30	52.20	125.50	582.30
2000	172.00	92.90	87.30	6.50	6.40	8.80	0.80	0.10	15.60	63.90	19.70	76.00	550.00
2001	167.20	86.90	102.20	7.20	8.40	0.00	16.90	11.60	10.00	72.90	64.20	62.10	609.60
2002	126.30	117.80	78.30	50.10	5.80	5.00	62.70	1.80	2.50	64.50	52.10	135.50	702.40
2003	96.90	74.30	124.30	12.90	4.30	8.40	1.20	18.00	1.00	31.70	32.50	94.40	499.90
2004	123.90	87.20	75.30	15.20	1.50	30.60	21.50	10.30	6.20	39.90	34.50	78.70	524.80
2005	47.60	97.00	62.70	20.80		0.00	1.60	1.90	11.70	10.90	51.10	82.00	387.30
2006	111.80	92.80	68.90	33.50	0.00	1.90	0.00	4.00	9.60	50.10	64.60	82.00	519.20
2007	56.80	77.10	82.60	42.40	4.60	0.00	1.90	0.10	0.00	57.40	61.00	74.30	458.20
2008	98.30	83.20	72.20	4.60	7.10	2.80	0.60	3.10	3.90	35.50	104.20	121.40	536.90
2009	152.00	114.10	63.70	10.90	6.30	0.10	2.70	1.60	8.90	4.60	128.40	76.90	570.20
2010	188.20	129.70	101.30	13.20	2.20	0.00	2.50	8.20	5.00	42.00	23.90	114.60	630.80
2011	100.40	149.90	81.40	44.70	12.60	17.90	15.70	4.80	28.20	38.90	31.90	112.50	638.90
2012	69.04	124.40	57.40	18.00	0.30	0.60	1.80	0.30	17.20	8.10	66.50	134.00	497.64
2013	123.40	129.50	88.70	3.50	1.40	4.14	0.00	20.60	3.20	71.80	113.40	136.00	695.64
2014	124.00	69.90	52.40	32.50	10.20	0.00	0.10	0.50	6.20	57.20	30.60	105.70	489.30
2015	128.80	85.20	42.20	28.40	4.60	0.00	7.80	5.60	3.40	15.20	29.50	116.90	467.60
2016	62.30	118.80	57.10	22.90	1.80	0.30	5.20	0.00	3.20	54.90	58.50	113.90	498.90
2017	77.90	76.70	60.30	66.30	1.70	0.00	0.00	10.80	1.10	40.30	69.30	55.10	459.50
2018	88.20	142.10	85.30	9.10	0.00	26.80	16.70	19.00	3.10	65.70	50.10	64.60	570.70
2019	88.90	98.40	104.10	16.90	9.30	1.80	3.00	0.00	2.80	54.60	90.00	152.80	622.60
2020	113.80	154.90	63.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.30	20.20	21.80	137.20	512.10
2021	73.70	70.00	44.60	26.40	7.90	1.50	0.00	0.00	5.10	30.20	79.80	51.10	390.30
2022	128.10	99.00	74.10	15.70	0.00	0.00	0.00	3.80	5.40	1.20	32.70	49.90	409.90
2023	48.60	58.40	57.20	37.50	56.40	0.00	0.40	0.30	9.80	26.00	53.10	117.30	465.00
2024	85.80	78.00	82.20	11.60									257.60
NÚMERO	43	43	43	43	41	41	42	41	43	43	42	42	
PROM.	95.20	89.90	68.05	23.57	5.97	5.76	4.42	6.29	8.54	35.91	53.64	88.59	
MÁXIMO	188.20	154.90	126.50	66.30	56.40	40.50	62.70	32.00	28.20	81.80	128.40	152.80	
MÍNIMO	12.60	5.20	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	12.40	16.70	
DES. EST.	39.80	32.32	28.15	16.96	9.27	10.50	10.83	8.51	7.37	20.66	26.89	35.46	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 12. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Urubamba*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-URUBAMBA

ESTACIÓN: URUBAMBA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** URUBAMBA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** URUBAMBA
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 19' 23.200" S
ALTITUD: 2863 msnm	**LONGITUD:** 72° 7' 44.821" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	37.80	27.20	9.40	11.00	0.00	0.00	0.00	6.80	11.80	32.80	32.60	40.90	210.30
1982	29.00	21.00	18.20	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	11.60	13.60	16.70	129.70
1983	12.60	5.20	13.60	2.20	5.80	1.20	0.00	0.00	0.00	2.40	12.40	21.40	76.80
1984	32.10	76.40	53.80	39.30	0.00	6.00	0.00	26.40	4.20	81.80	80.95	38.35	439.30
1985	72.61	65.85	21.22	45.14	3.10	7.90	2.10	2.80	14.60	33.30	64.10	109.20	441.92
1986	53.70	56.20	56.50	41.50	14.00	0.00	0.00	5.00	4.00	13.50	57.50	49.50	351.40
1987	102.50	83.70	35.50	1.00	3.00	7.50	17.00	0.00	14.00	27.50	88.00	100.00	479.70
1988	115.50	77.50	126.50	43.00	4.50	0.00	0.00	0.00	17.00	25.50	25.00	88.00	522.50
1989	102.00	90.00	103.90	50.50	13.30	9.50	0.50	0.00	26.50	46.00	25.00	99.00	566.20
1990	133.50	99.30	26.00	33.00	6.00	40.00	0.00	9.50	6.00	52.60	44.00	69.30	519.20
1991	52.50	125.50	82.50	39.50	2.00	10.00	0.00	0.01	11.50	32.50	82.00	56.50	494.51
1992	95.50	77.30	40.50	9.50	0.00	40.50	0.00	32.00	1.50	22.50	60.00	27.00	406.30
1993	128.00	82.00	57.50	39.00	2.00	0.00	2.50	28.00	4.00	30.00	79.00	120.00	572.00
1994	117.00	96.60	110.00	34.50	2.00	0.00	0.00	0.02	23.50	51.50	29.50	151.50	616.12
1995	72.20	42.10	81.30	10.90	2.20	1.00	0.30	0.00	14.50	35.10	55.00	95.50	410.10
1996	88.40	77.50	50.60	53.60	13.20	0.40	0.10	11.60	5.00	35.10	46.90	73.80	456.20
1997	88.60	124.70	98.50	8.50	2.30	0.33	0.00	8.30	6.20	10.10	73.00	84.90	505.43
1998	54.70	73.20	26.70	10.40	4.00	0.70	0.00	0.40	1.70	22.20	49.70	47.00	290.70
1999	124.20	122.30	66.10	29.60	17.50	0.80	0.10	0.00	23.70	20.30	52.20	125.50	582.30
2000	172.00	92.90	87.30	6.50	6.40	8.80	0.80	0.10	15.60	63.90	19.70	76.00	550.00
2001	167.20	86.90	102.20	7.20	8.40	0.00	16.90	11.60	10.00	72.90	64.20	62.10	609.60
2002	126.30	117.80	78.30	50.10	5.80	5.00	62.70	1.80	2.50	64.50	52.10	135.50	702.40
2003	96.90	74.30	124.30	12.90	4.30	8.40	1.20	18.00	1.00	31.70	32.50	94.40	499.90
2004	123.90	87.20	75.30	15.20	1.50	30.60	21.50	10.30	6.20	39.90	34.50	78.70	524.80
2005	47.60	97.00	62.70	20.80	0.02	0.00	1.60	1.90	11.70	10.90	51.10	82.00	387.32
2006	111.80	92.80	68.90	33.50	0.00	1.90	0.00	4.00	9.60	50.10	64.60	82.00	519.20
2007	56.80	77.10	82.60	42.40	4.60	0.00	1.90	0.10	0.00	57.40	61.00	74.30	458.20
2008	98.30	83.20	72.20	4.60	7.10	2.80	0.60	3.10	3.90	35.50	104.20	121.40	536.90
2009	152.00	114.10	63.70	10.90	6.30	0.10	2.70	1.60	8.90	4.60	128.40	76.90	570.20
2010	188.20	129.70	101.30	13.20	2.20	0.00	2.50	8.20	5.00	42.00	23.90	114.60	630.80
2011	100.40	149.90	81.40	44.70	12.60	17.90	15.70	4.80	28.20	38.90	31.90	112.50	638.90
2012	69.04	124.40	57.40	18.00	0.30	0.60	1.80	0.30	17.20	8.10	66.50	134.00	497.64
2013	123.40	129.50	88.70	3.50	1.40	4.14	0.00	20.60	3.20	71.80	113.40	136.00	695.64
2014	124.00	69.90	52.40	32.50	10.20	0.00	0.10	0.50	6.20	57.20	30.60	105.70	489.30
2015	128.80	85.20	42.20	28.40	4.60	0.00	7.80	5.60	3.40	15.20	29.50	116.90	467.60
2016	62.30	118.80	57.10	22.90	1.80	0.30	5.20	0.00	3.20	54.90	58.50	113.90	498.90
2017	77.90	76.70	60.30	66.30	1.70	0.00	0.00	10.80	1.10	40.30	69.30	55.10	459.50
2018	88.20	142.10	85.30	9.10	0.00	26.80	16.70	19.00	3.10	65.70	50.10	64.60	570.70
2019	88.90	98.40	104.10	16.90	9.30	1.80	3.00	0.00	2.80	54.60	90.00	152.80	622.60
2020	113.80	154.90	63.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.30	20.20	21.80	137.20	512.10
2021	73.70	70.00	44.60	26.40	7.90	1.50	0.00	0.00	5.10	30.20	79.80	51.10	390.30
2022	128.10	99.00	74.10	15.70	0.00	0.00	0.00	3.80	5.40	1.20	32.70	49.90	409.90
2023	48.60	58.40	57.20	37.50	56.40	0.00	0.40	0.30	9.80	26.00	53.10	117.30	465.00
2024	85.80	78.00	82.20	11.60	16.70	1.26	0.48	0.04	7.30	66.93	72.25	61.12	483.68
NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	94.69	89.36	66.99	24.06	6.01	5.40	4.23	5.86	8.51	36.61	54.68	86.82	
MÁXIMO	188.20	154.90	126.50	66.30	56.40	40.50	62.70	32.00	28.20	81.80	128.40	152.80	
MÍNIMO	12.60	5.20	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	12.40	16.70	
DES. EST.	39.48	32.15	28.71	17.07	9.14	10.22	10.61	8.36	7.29	20.95	26.72	35.67	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 13. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Anta Ancachuro*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-ANTA ANCACHURO

ESTACIÓN: ANTA ANCACHURO	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** ANTA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO** ZURITE
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD** 13° 28' 5.002" S
ALTITUD: 3340 msnm	**LONGITUD:** 72° 12' 56.002" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	156.50	101.60	150.50	113.50	5.70	2.00	0.00	10.70	35.00	86.30	78.90	105.70	846.40
1982	236.70	140.80											377.50
1983													0.00
1984											65.00		65.00
1985	79.00	83.00	57.00	57.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00	52.80	128.30	132.70	612.80
1986	100.10	152.10	115.80	44.80	18.70	0.00	0.00	0.00	0.00	24.80	62.50	80.80	599.60
1987	190.10	134.20	73.20	0.00	0.00		33.40	0.00	0.00	25.20	100.60	165.00	721.70
1988	223.30	138.50	241.50	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	43.00	107.30	855.30
1989	191.30	97.60	136.40	30.20	26.30	0.00	0.00	4.40	6.10	24.20	50.00	34.90	601.40
1990	129.80	59.30	24.60	3.20	0.00	36.60	0.00	16.60	15.00	122.40	86.80	36.60	530.90
1991	53.90	180.30	123.00	27.50	0.00	23.30	0.00	0.00	4.40	44.60		69.00	526.00
1992	130.60	136.00	40.80	18.80	3.80	16.80	0.00						346.80
1993	145.10	428.70	107.30	35.90	6.80	0.00	0.00	22.80	59.40	192.40	224.40	565.80	1788.60
1994	588.00	384.10	418.90	49.10	32.50		0.00	0.30	39.50	87.00	186.00	255.70	2041.10
1995	194.70	47.50	224.90	19.90	1.80	5.20	0.60	0.00	22.80	15.60	94.60	313.30	940.90
1996	414.50	359.50	122.80	29.20	4.80	0.60	0.20	13.30	18.80	44.00	87.30	234.00	1329.00
1997		126.90	158.90	26.40	8.80	0.00	0.00	15.50	7.10	67.50	165.30	362.80	939.20
1998	163.70	128.60	131.60		0.00	3.40	0.00	0.30	11.50	62.80	60.60	65.10	627.60
1999	294.20	341.00	193.10	73.30	0.80	0.00	0.20	6.20	60.90	91.50	110.40	211.30	1382.90
2000	188.00	210.70	143.80	40.80	1.60	18.50	0.60	5.40	13.90	147.70	43.60	189.70	1004.30
2001	514.50	186.20	404.90	33.70	11.40	0.00	40.00	37.00	19.40	150.10	89.30	135.40	1621.90
2002	185.40	296.70	220.10	78.50	25.60	16.90	76.00	9.90	59.80	105.80	114.80	170.80	1360.30
2003	170.30	180.40	215.10	23.90	7.00	7.50	0.00	31.20	10.80	65.10	39.10	173.00	923.40
2004	251.70	182.50	53.40	47.80	2.50	26.90	25.70	11.10	35.20	51.90	86.20	122.80	897.70
2005	109.30	97.30	88.60	35.60	1.80	0.00	4.00	11.80	9.00	30.60	64.60	129.60	582.20
2006	212.60	143.80	143.50	68.80	0.30	13.60	0.00	1.60	5.40	68.40	100.90	117.80	876.70
2007	121.30	104.80	92.70	95.10	30.40	0.00	0.80	0.00	2.60	71.00	89.90	184.40	793.00
2008	146.70	124.40	89.70	18.10	8.20	1.50	0.00	8.50	14.60	122.80	161.00	117.70	813.20
2009	162.90	173.10	96.30	11.00	14.90	0.00	19.30	0.00	17.50	34.80	288.70	133.30	951.80
2010	289.00	194.20	148.50	26.40	1.20	5.20	3.40	3.50	12.10	89.60	54.70	184.90	1012.70
2011	139.50	269.30	214.80	78.90	13.60	10.30	11.00	16.60	52.20	89.40	72.80	152.50	1120.90
2012	136.30	177.80	110.60	47.50	1.80	2.80	4.40	0.00	45.10	26.80	135.30	197.70	886.10
2013	178.40	151.10	75.60	7.00	1.90	6.10	0.10	18.30	3.20	104.50	110.30	158.90	815.40
2014	142.00	122.00	71.20	46.30	8.90	0.00	0.00	1.30	11.50	62.90	37.60	169.40	673.10
2015	183.00	113.20	81.50	79.20	2.90	2.30	6.20	7.20	31.50	50.90	82.90	110.00	750.80
2016	146.50	240.10	70.90	25.00	7.30	0.30	3.00	17.70	18.20	71.60	88.10	98.80	787.50
2017	107.90	116.50	166.90	69.20	7.50	0.00	1.80	17.40	11.00	71.90	86.00	92.10	748.20
2018	145.00	191.60	139.60	37.80	3.10	24.20	20.20	27.50	8.50	75.10	62.70	71.90	807.20
2019	115.60	109.00	112.80	6.30	2.60	5.10	2.50	0.00	8.70	43.30	149.90	201.90	757.70
2020	149.00	199.10	163.10	15.50	32.00	0.40	0.00	0.80	5.50	40.20	81.30	149.10	836.00
2021	164.00	117.50	110.80	45.90	20.80	4.80	4.30	0.50	4.50	76.50	75.90	110.80	736.30
2022	184.30	86.10	181.90	5.70	0.10	0.00	0.00	9.80	6.70	7.60	44.10	74.50	600.80
2023	118.10	67.80	86.20	33.70	63.30	0.00	0.00	6.80	37.70	18.30	135.10	168.20	735.20
2024	95.30	137.10	109.00	36.30	5.10	4.00	0.00	2.90					389.70

NÚMERO	41	42	41	40	41	39	41	40	39	39	39	39
PROM.	186.54	167.43	139.31	40.91	9.41	6.11	6.29	8.42	19.18	67.33	98.42	157.83
MÁXIMO	588.00	428.70	418.90	113.50	63.30	36.60	76.00	37.00	60.90	192.40	288.70	565.80
MÍNIMO	53.90	47.50	24.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60	37.60	34.90
DES. EST.	105.68	87.20	81.63	27.58	12.87	9.15	14.63	9.55	17.65	41.43	52.47	95.80

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 14. Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Anta Ancachuro

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-ANTA ANCACHURO

ESTACIÓN: ANTA ANCACHURO	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** ANTA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** ZURITE
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 28' 5.002" S
ALTITUD: 3340 msnm	**LONGITUD:** 72° 12' 56.002" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	156.50	101.60	150.50	113.50	5.70	2.00	0.00	10.70	35.00	86.30	78.90	105.70	846.40
1982	236.70	140.80	217.95	63.24	13.06	1.77	1.56	0.38	64.93	218.12	75.22	115.83	1149.56
1983	148.41	171.49	64.45	36.88	3.95	0.66	0.03	4.83	1.33	19.46	47.70	159.39	658.58
1984	122.93	189.81	88.48	72.05	0.50	15.35	2.40	0.79	16.25	55.89	65.00	124.54	753.99
1985	79.00	83.00	57.00	57.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00	52.80	128.30	132.70	612.80
1986	100.10	152.10	115.80	44.80	18.70	0.00	0.00	0.00	0.00	24.80	62.50	80.80	599.60
1987	190.10	134.20	73.20	0.00	0.00	5.55	33.40	0.00	0.00	25.20	100.60	165.00	727.25
1988	223.30	138.50	241.50	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	43.00	107.30	855.30
1989	191.30	97.60	136.40	30.20	26.30	0.00	0.00	4.40	6.10	24.20	50.00	34.90	601.40
1990	129.80	59.30	24.60	3.20	0.00	36.60	0.00	16.60	15.00	122.40	86.80	36.60	530.90
1991	53.90	180.30	123.00	27.50	0.00	23.30	0.00	0.00	4.40	44.60	192.31	69.00	718.31
1992	130.60	136.00	40.80	18.80	3.80	16.80	0.00	22.73	1.91	53.23	118.87	111.09	654.63
1993	103.23	288.08	78.59	32.06	13.09	8.66	8.66	23.52	47.37	134.06	154.92	377.45	1269.69
1994	391.92	259.01	281.70	40.66	29.84	8.68	8.66	8.85	34.40	65.36	129.89	175.32	1434.29
1995	135.56	39.62	155.25	21.63	9.83	12.05	9.05	8.66	23.52	18.82	70.32	212.87	717.16
1996	278.83	242.98	88.70	27.69	11.78	9.05	8.79	17.33	20.91	37.34	65.56	161.18	970.12
1997	129.04	91.37	112.23	25.86	14.39	8.66	8.66	18.76	13.28	52.65	116.40	245.13	836.44
1998	115.36	92.48	94.43	43.71	8.66	10.87	8.66	8.85	16.15	49.59	48.16	51.09	548.00
1999	200.42	230.92	134.52	56.43	9.18	8.66	8.79	12.70	48.35	68.30	80.62	146.38	1005.25
2000	131.20	145.99	102.39	35.25	9.70	20.71	9.05	12.18	17.72	104.93	37.07	132.30	758.48
2001	344.01	130.02	272.57	30.62	16.09	8.66	34.73	32.77	21.30	106.49	66.86	96.91	1161.03
2002	129.50	202.05	152.12	59.82	25.34	19.67	58.19	15.11	47.63	77.62	83.48	119.98	990.52
2003	119.66	126.24	148.86	24.23	13.22	13.54	8.66	28.99	15.70	51.09	34.14	121.42	705.75
2004	172.72	127.61	43.46	39.81	10.29	26.19	25.41	15.89	31.60	42.48	64.84	88.70	689.00
2005	79.90	72.08	66.41	31.86	9.83	8.66	11.26	16.35	14.52	28.60	50.76	93.13	483.35
2006	147.23	102.39	102.19	53.50	8.85	17.52	8.66	9.70	12.18	53.24	74.42	85.44	675.31
2007	87.72	76.97	69.08	70.64	28.47	8.66	9.18	8.66	10.35	54.93	67.25	128.85	620.75
2008	104.28	89.74	67.12	20.45	14.00	9.63	8.66	14.20	18.17	88.70	113.60	85.37	633.92
2009	114.83	121.48	71.42	15.83	18.37	8.66	21.24	8.66	20.06	31.34	196.83	95.54	724.26
2010	197.03	135.24	105.45	25.86	9.44	12.05	10.87	10.94	16.54	67.06	44.31	129.17	763.95
2011	99.58	184.19	148.66	60.08	17.52	15.37	15.83	19.48	42.68	66.93	56.11	108.06	834.48
2012	97.50	124.55	80.75	39.62	9.83	10.48	11.52	8.66	38.05	26.12	96.85	137.52	681.44
2013	124.94	107.14	57.93	13.22	9.89	12.63	8.72	20.58	10.74	76.77	80.55	112.23	635.35
2014	101.21	88.18	55.06	38.83	14.46	8.66	8.66	9.50	16.15	49.65	33.16	119.07	542.60
2015	127.94	82.44	61.78	60.28	10.55	10.16	12.70	13.35	29.19	41.83	62.69	80.35	593.25
2016	104.15	165.15	54.87	24.95	13.41	8.85	10.61	20.19	20.52	55.33	66.08	73.05	617.17
2017	78.99	84.59	117.44	53.76	13.54	8.66	9.83	20.00	15.83	55.52	64.71	68.69	591.55
2018	103.17	133.54	99.65	33.29	10.68	24.43	21.82	26.58	14.20	57.61	49.52	55.52	630.01
2019	84.00	79.70	82.18	12.76	10.35	11.98	10.29	8.66	14.33	36.88	106.36	140.26	597.74
2020	105.77	138.43	114.97	18.76	29.51	8.92	8.66	9.18	12.24	34.86	61.65	105.84	648.78
2021	115.55	85.24	80.88	38.57	22.21	11.78	11.46	8.98	11.59	58.52	58.13	80.88	583.80
2022	128.78	64.78	127.22	12.37	8.72	8.66	8.66	15.04	13.02	13.61	37.40	57.22	495.48
2023	85.63	52.85	64.84	30.62	49.92	8.66	8.66	13.09	33.23	20.58	96.71	118.29	583.08
2024	70.77	98.02	79.70	32.32	11.98	11.26	8.66	10.55	21.78	103.08	87.56	47.33	583.01
NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	140.30	128.36	106.96	38.32	12.84	10.98	10.47	12.19	20.26	58.30	79.68	115.76	
MÁXIMO	391.92	288.08	281.70	113.50	49.92	36.60	58.19	32.77	64.93	218.12	196.83	377.45	
MÍNIMO	53.90	39.62	24.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	33.16	34.90	
DES. EST.	68.67	55.81	57.74	22.59	9.70	7.44	10.87	8.06	14.49	38.02	37.78	59.16	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 15. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Calca*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-CALCA

ESTACIÓN: CALCA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CALCA
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 20' 0.000" S
ALTITUD: 2926 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 0.000" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981			31.00	46.00	8.00	0.00	0.00	3.00	0.00	21.00			109.00
1982													0.00
1983													0.00
1984													0.00
1985													0.00
1986													0.00
1987							0.00	0.00	18.00		90.00	133.00	241.00
1988	113.00	97.00	140.50	64.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			81.00	496.00
1989	130.90	87.00	114.10	75.00	14.20	13.50	0.00	2.00		47.50	56.00	71.00	611.20
1990	118.00	87.50	59.50	23.00		28.00	0.00	10.00	6.00	49.00	31.50	68.00	480.50
1991	130.20	195.00	149.00	51.00	0.00	19.00	0.00	0.00	4.00	48.50	88.00	77.50	762.20
1992	155.00	68.00	69.00	27.20	0.00	33.00	0.00	32.50	0.00	32.00	82.00	63.50	562.20
1993	156.50	105.50	51.00	38.00	0.00	6.00	5.00	31.00	7.00	38.00	75.00	112.00	625.00
1994	156.00	134.00	102.50	64.00	3.00	0.00	0.00	0.00	18.00	41.00	32.00	161.50	712.00
1995	65.50	71.50	98.00	14.00	2.00	2.00	2.00	0.00	33.00	30.00	52.00	79.00	449.00
1996	148.50	95.50	62.00	35.50	5.00	0.00	0.00	14.00	6.00	60.00	61.00	93.00	580.50
1997		123.00	121.00	18.00	0.00	0.00	0.00	13.00	12.00	11.00	95.00	91.00	484.00
1998	84.00	91.50	39.50	17.00	4.00	1.00	0.00	1.00	0.00	42.00	78.00	54.00	412.00
1999													0.00
2000													0.00
2001													0.00
2002													0.00
2003													0.00
2004													0.00
2005													0.00
2006													0.00
2007													0.00
2008													0.00
2009													0.00
2010													0.00
2011													0.00
2012													0.00
2013													0.00
2014													0.00
2015													0.00
2016													0.00
2017													0.00
2018													0.00
2019													0.00
2020													0.00
2021													0.00
2022													0.00
2023													0.00
2024													0.00

NÚMERO	10	11	12	12	11	12	13	13	12	11	11	12
PROM.	125.76	105.05	86.43	39.43	3.29	8.54	0.54	8.19	8.67	38.18	67.32	90.38
MÁXIMO	156.50	195.00	149.00	75.00	14.20	33.00	5.00	32.50	33.00	60.00	95.00	161.50
MÍNIMO	65.50	68.00	31.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	31.50	54.00
DES. EST.	31.40	35.67	39.71	20.72	4.48	11.99	1.45	11.63	10.08	13.96	22.43	31.12

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 16. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Calca*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-CALCA

ESTACIÓN: CALCA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL M(mm)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CALCA
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 20' 0.000" S
ALTITUD: 2926 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 0.000" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	156.82	22.49	31.00	46.00	8.00	0.00	0.00	3.00	0.00	21.00	79.59	67.25	435.15
1982	34.01	89.87	73.81	8.01	2.93	0.53	0.99	5.66	19.23	48.52	46.19	89.84	419.59
1983	146.55	91.03	8.05	6.88	0.00	10.06	0.07	0.08	0.00	3.94	15.57	65.57	347.80
1984	141.65	95.38	59.19	76.05	2.68	8.57	0.26	79.96	18.10	53.54	73.09	55.41	663.88
1985	101.15	113.83	56.47	38.62	0.05	6.92	0.14	0.12	15.96	21.81	43.85	111.01	509.93
1986	126.18	116.20	91.01	41.12	5.93	0.13	0.06	0.76	10.10	31.69	81.86	57.59	562.63
1987	24.72	54.22	25.06	6.16	0.00	6.57	0.00	0.00	18.00	45.03	90.00	133.00	402.76
1988	113.00	97.00	140.50	64.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.49	51.95	81.00	587.44
1989	130.90	87.00	114.10	75.00	14.20	13.50	0.00	2.00	9.73	47.50	56.00	71.00	620.93
1990	118.00	87.50	59.50	23.00	0.62	28.00	0.00	10.00	6.00	49.00	31.50	68.00	481.12
1991	130.20	195.00	149.00	51.00	0.00	19.00	0.00	0.00	4.00	48.50	88.00	77.50	762.20
1992	155.00	68.00	69.00	27.20	0.00	33.00	0.00	32.50	0.00	32.00	82.00	63.50	562.20
1993	156.50	105.50	51.00	38.00	0.00	6.00	5.00	31.00	7.00	38.00	75.00	112.00	625.00
1994	156.00	134.00	102.50	64.00	3.00	0.00	0.00	0.00	18.00	41.00	32.00	161.50	712.00
1995	65.50	71.50	98.00	14.00	2.00	2.00	2.00	0.00	33.00	30.00	52.00	79.00	449.00
1996	148.50	95.50	62.00	35.50	5.00	0.00	0.00	14.00	6.00	60.00	61.00	93.00	580.50
1997	107.32	123.00	121.00	18.00	0.00	0.00	0.00	13.00	12.00	11.00	95.00	91.00	591.32
1998	84.00	91.50	39.50	17.00	4.00	1.00	0.00	1.00	0.00	42.00	78.00	54.00	412.00
1999	115.75	39.77	64.30	19.66	0.20	3.63	0.09	0.17	28.66	45.42	48.51	96.88	463.04
2000	75.32	140.80	130.61	19.21	2.99	15.91	2.04	26.90	32.68	51.10	83.96	80.94	662.46
2001	85.91	113.87	145.40	20.42	2.23	0.28	43.88	9.11	1.52	50.66	40.42	61.76	575.46
2002	136.56	116.18	82.37	74.77	14.59	55.56	38.31	0.44	22.89	52.35	82.08	86.06	762.16
2003	171.46	134.84	137.30	44.71	18.50	5.21	0.13	20.03	2.12	21.98	31.69	101.25	689.22
2004	120.14	110.78	44.43	41.70	7.40	44.01	57.65	7.48	3.56	17.99	30.67	66.52	552.33
2005	105.74	94.98	87.11	57.45	0.19	1.18	0.14	3.44	22.51	38.20	47.80	67.29	526.03
2006	72.23	78.59	95.80	54.65	3.27	26.10	0.00	6.02	13.21	47.72	76.27	94.37	568.23
2007	123.77	81.20	42.89	39.37	5.09	0.18	0.09	0.91	0.21	51.51	80.22	52.26	477.70
2008	75.99	49.42	47.70	10.28	3.77	18.39	0.09	2.75	8.16	54.79	85.58	87.86	444.78
2009	141.01	89.73	63.66	26.39	2.19	0.30	8.88	2.26	0.58	15.81	83.68	84.08	518.57
2010	27.34	150.51	80.28	40.38	26.34	0.06	0.39	7.02	13.16	45.75	72.57	141.07	604.87
2011	94.86	202.90	127.34	63.56	5.03	1.94	2.82	0.98	87.39	37.25	73.02	62.15	759.24
2012	154.69	61.79	34.89	11.55	0.42	15.59	0.66	0.07	9.57	23.77	73.64	90.19	476.83
2013	143.24	192.96	88.77	29.22	0.01	11.08	1.14	44.97	3.52	46.33	82.20	95.70	739.14
2014	103.21	90.48	40.43	11.58	0.99	0.00	0.03	9.92	12.74	54.73	30.54	100.41	455.06
2015	115.08	73.32	33.65	63.40	1.45	11.01	43.53	17.39	0.54	19.52	47.62	98.24	524.75
2016	142.11	155.24	73.38	51.60	2.58	0.00	0.21	6.74	11.32	41.22	78.77	62.36	625.53
2017	88.97	74.35	83.08	91.48	0.38	1.42	0.12	8.82	1.00	32.51	49.36	82.18	513.67
2018	123.52	176.73	140.04	56.05	0.65	12.45	2.21	1.79	9.39	49.58	85.58	70.10	728.09
2019	139.46	55.07	78.36	5.27	0.71	16.23	0.70	0.00	0.55	17.73	81.84	136.05	531.97
2020	118.97	197.28	89.73	8.35	21.61	0.00	0.02	0.37	31.34	45.82	84.44	97.37	695.30
2021	175.55	105.86	64.43	32.94	0.37	127.51	0.02	0.34	3.85	42.46	68.53	81.84	703.70
2022	138.72	69.57	101.49	12.66	0.40	0.06	0.22	6.82	2.11	26.77	46.50	45.72	451.04
2023	154.74	85.05	97.67	77.56	3.19	0.08	1.95	0.07	5.20	12.54	76.95	87.09	602.09
2024	104.11	37.09	83.12	31.60	2.64	0.40	8.11	0.66	4.56	48.38	75.61	44.17	440.45

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
PROM.	116.92	102.66	79.75	37.41	3.99	11.45	5.04	8.60	11.58	37.63	64.79	84.21
MÁXIMO	175.55	202.90	149.00	91.48	26.34	127.51	57.65	79.96	87.39	60.00	95.00	161.50
MÍNIMO	24.72	22.49	8.05	5.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.94	15.57	44.17
DES. EST.	36.51	43.75	35.65	23.33	6.03	21.81	13.37	14.97	15.09	14.15	20.70	25.39

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 17. *Datos Incompletos de Precipitación total registrada de la Estación Chitapampa*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-CHITAPAMPA

ESTACIÓN: CHITAPAMPA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL M(mm)	**PROVINCIA:** URUBAMBA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CHINCHERO
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 24' 54.000" S
ALTITUD: 3298 msnm	**LONGITUD:** 71° 58' 28.999" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	227.39	86.80	97.90	62.79	4.00	4.00	0.00	5.30	38.59	98.00	121.40	140.30	886.47
1982	172.49	145.50	125.30	49.59	4.00	5.59	6.00	15.30	26.79		133.00	95.20	778.76
1983	151.69	45.50	49.50	51.50	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	12.00	76.00	89.00	480.19
1984	200.09	138.89	54.09	70.30	1.00	19.00	9.00	18.50	5.00	109.40	72.30	76.00	773.57
1985	87.50	111.30	71.50	36.00	9.00	38.00	7.30	0.00	36.00	49.00	59.50	125.50	630.60
1986	42.00	37.00	117.00	45.02	5.00	0.00	2.00	9.30	3.00	21.89	84.50	106.50	473.21
1987	258.10	72.30	55.00	8.30	0.50	9.00	13.00	0.00	0.00	42.00	72.30	120.00	650.50
1988	218.39	119.00	166.10	110.00	11.00	0.00	0.00	0.00	12.00	30.20	57.50	154.00	878.19
1989	163.69	126.00	129.80	63.79	6.00	7.19	0.00	14.50	5.00	107.39	65.90	89.69	778.95
1990	238.80	80.19	66.00	50.59	14.00	59.09	0.00	6.80	30.29	89.90	117.99	78.01	831.66
1991	77.90	144.10	71.00	15.50	17.00	12.19	2.00	0.00	21.50	36.50	86.69	94.30	578.68
1992	128.80	91.69	70.69	28.50	0.00	31.50	0.00	26.20	5.50	22.39	65.00	24.60	494.87
1993	186.00	108.50	51.29	40.00	3.20	1.00	2.00	28.00	15.30	55.29	77.80	198.90	767.28
1994	192.50	148.10	172.89	56.59	21.79	0.00	0.00	0.00	11.69	56.09	40.00	144.50	844.15
1995	95.50	99.60	113.59	10.69	4.00	0.00	0.00	0.00	11.69	10.39	55.00	103.30	503.76
1996	116.60	68.00	44.79	23.50	13.00	0.00	0.00	4.30	15.00	34.50	63.50	104.09	487.28
1997	116.50	137.89	152.79	23.00	0.00	0.00	0.00	21.10	14.00	23.50	140.50	135.10	764.38
1998	137.30	196.60	53.00	21.50	5.00	2.00	0.00	2.50	0.50	67.59	55.40	73.50	614.89
1999	130.89	117.00	102.59	36.50	0.00	19.00	2.00	0.00	55.50	10.00	33.50	127.61	634.59
2000	274.70	162.10	51.34	33.89	12.82	29.32	4.79	11.99	3.06	17.70	75.46	84.99	762.16
2001	88.73	170.63	96.72	47.24	6.42	0.83	0.05	9.72	24.81	39.20	89.91	41.14	615.40
2002	165.42	191.75	60.69	44.82	6.17	21.65	0.00	2.19	2.82	32.75	76.82	109.02	714.10
2003	164.57	127.07	96.17	50.92	3.53	29.64	14.07	49.93	0.92	11.39	76.57	101.03	725.81
2004	201.95	126.57	60.86	46.60	4.28	47.30	0.12	11.27	24.27	54.19	102.25	51.47	731.13
2005	163.71	131.63	60.57	60.89	0.09	6.89	2.46	3.58	0.23	9.76	70.61	91.32	601.74
2006	296.10	173.49	74.56	54.35	0.45	22.70	14.68	16.28	0.58	14.97	58.50	129.84	856.50
2007	159.15	20.87	111.28	66.70	1.12	0.32	3.71	0.00	0.00	4.21	61.00	53.02	481.38
2008	101.53	79.09	61.04	31.74	15.52	18.13	3.46	4.35	7.88	39.60	86.94	121.62	570.90
2009	116.54	135.07	57.83	65.52	1.09	9.52	13.75	14.30	1.76	17.53	73.69	132.78	639.38
2010	93.34	107.15	83.41	40.59	6.54	6.55	6.36	1.67	1.91	15.05	67.29	82.78	512.64
2011	198.75	72.45	58.42	65.03	0.69	1.11	10.80	4.28	2.12	14.09	74.92	115.52	618.18
2012	27.47	175.57	39.07	69.53	0.14	10.39	7.74	0.00	3.14	13.23	67.06	135.31	548.65
2013													0.00
2014													0.00
2015													0.00
2016													0.00
2017													0.00
2018													0.00
2019													0.00
2020													0.00
2021													0.00
2022													0.00
2023													0.00
2024													0.00

NÚMERO	32	32	32	32	32	32	32	32	32	31	32	32
PROM.	156.07	117.11	83.65	46.30	5.54	13.03	3.92	8.79	11.90	37.41	76.84	104.06
MÁXIMO	296.10	196.60	172.89	110.00	21.79	59.09	14.68	49.93	55.50	109.40	140.50	198.90
MÍNIMO	27.47	20.87	39.07	8.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.21	33.50	24.60
DES. EST.	64.87	43.88	36.24	20.98	5.83	15.19	4.88	11.07	13.79	29.92	24.17	35.58

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 18. *Datos Completos de Precipitación total registrada de la Estación Chitapampa*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN-CHITAPAMPA

ESTACIÓN: CHITAPAMPA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL M(mm)	**PROVINCIA:** URUBAMBA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CHINCHERO
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 24' 54.000" S
ALTITUD: 3298 msnm	**LONGITUD:** 71° 58' 28.999" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1981	227.39	86.80	97.90	62.79	4.00	4.00	0.00	5.30	38.59	98.00	121.40	140.30	886.47
1982	172.49	145.50	125.30	49.59	4.00	5.59	6.00	15.30	26.79	52.07	133.00	95.20	830.83
1983	151.69	45.50	49.50	51.50	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	12.00	76.00	89.00	480.19
1984	200.09	138.89	54.09	70.30	1.00	19.00	9.00	18.50	5.00	109.40	72.30	76.00	773.57
1985	87.50	111.30	71.50	36.00	9.00	38.00	7.30	0.00	36.00	49.00	59.50	125.50	630.60
1986	42.00	37.00	117.00	45.02	5.00	0.00	2.00	9.30	3.00	21.89	84.50	106.50	473.21
1987	258.10	72.30	55.00	8.30	0.50	9.00	13.00	0.00	0.00	42.00	72.30	120.00	650.50
1988	218.39	119.00	166.10	110.00	11.00	0.00	0.00	0.00	12.00	30.20	57.50	154.00	878.19
1989	163.69	126.00	129.80	63.79	6.00	7.19	0.00	14.50	5.00	107.39	65.90	89.69	778.95
1990	238.80	80.19	66.00	50.59	14.00	59.09	0.00	6.80	30.29	89.90	117.99	78.01	831.66
1991	77.90	144.10	71.00	15.50	17.00	12.19	2.00	0.00	21.50	36.50	86.69	94.30	578.68
1992	128.80	91.69	70.69	28.50	0.00	31.50	0.00	26.20	5.50	22.39	65.00	24.60	494.87
1993	186.00	108.50	51.29	40.00	3.20	1.00	2.00	28.00	15.30	55.29	77.80	198.90	767.28
1994	192.50	148.10	172.89	56.59	21.79	0.00	0.00	0.00	11.69	56.09	40.00	144.50	844.15
1995	95.50	99.60	113.59	10.69	4.00	0.00	0.00	0.00	11.69	10.39	55.00	103.30	503.76
1996	116.60	68.00	44.79	23.50	13.00	0.00	0.00	4.30	15.00	34.50	63.50	104.09	487.28
1997	116.50	137.89	152.79	23.00	0.00	0.00	0.00	21.10	14.00	23.50	140.50	135.10	764.38
1998	137.30	196.60	53.00	21.50	5.00	2.00	0.00	2.50	0.50	67.59	55.40	73.50	614.89
1999	130.89	117.00	102.59	36.50	0.00	19.00	2.00	0.00	55.50	10.00	33.50	127.61	634.59
2000	274.70	162.10	51.34	33.89	12.82	29.32	4.79	11.99	3.06	17.70	75.46	84.99	762.16
2001	88.73	170.63	96.72	47.24	6.42	0.83	0.05	9.72	24.81	39.20	89.91	41.14	615.40
2002	165.42	191.75	60.69	44.82	6.17	21.65	0.00	2.19	2.82	32.75	76.82	109.02	714.10
2003	164.57	127.07	96.17	50.92	3.53	29.64	14.07	49.93	0.92	11.39	76.57	101.03	725.81
2004	201.95	126.57	60.86	46.60	4.28	47.30	0.12	11.27	24.27	54.19	102.25	51.47	731.13
2005	163.71	131.63	60.57	60.89	0.09	6.89	2.46	3.58	0.23	9.76	70.61	91.32	601.74
2006	296.10	173.49	74.56	54.35	0.45	22.70	14.68	16.28	0.58	14.97	58.50	129.84	856.50
2007	159.15	20.87	111.28	66.70	1.12	0.32	3.71	0.00	0.00	4.21	61.00	53.02	481.38
2008	101.53	79.09	61.04	31.74	15.52	18.13	3.46	4.35	7.88	39.60	86.94	121.62	570.90
2009	116.54	135.07	57.83	65.52	1.09	9.52	13.75	14.30	1.76	17.53	73.69	132.78	639.38
2010	93.34	107.15	83.41	40.59	6.54	6.55	6.36	1.67	1.91	15.05	67.29	82.78	512.64
2011	198.75	72.45	58.42	65.03	0.69	1.11	10.80	4.28	2.12	14.09	74.92	115.52	618.18
2012	27.47	175.57	39.07	69.53	0.14	10.39	7.74	0.00	3.14	13.23	67.06	135.31	548.65
2013	154.42	153.30	85.62	16.76	5.80	7.59	1.77	17.19	7.74	108.62	93.04	166.21	818.06
2014	151.35	105.11	56.86	46.42	12.48	0.00	1.47	4.50	14.42	65.97	27.66	143.85	630.09
2015	147.86	110.10	62.22	57.87	11.61	2.16	12.26	6.74	18.92	23.01	51.26	114.07	618.08
2016	96.66	158.74	64.28	27.79	9.33	0.41	6.05	3.97	13.26	72.57	47.92	100.39	601.37
2017	99.72	104.12	130.75	53.63	11.36	3.03	0.79	10.94	11.65	46.72	66.35	88.82	627.88
2018	144.39	171.06	150.65	33.99	2.93	21.50	16.98	18.21	13.17	86.95	82.96	89.49	832.28
2019	125.92	109.44	157.10	21.91	19.12	3.09	5.81	0.00	8.85	66.46	132.13	176.13	825.96
2020	139.78	157.20	148.20	15.78	32.59	0.41	3.09	0.27	3.80	18.23	49.31	130.60	699.26
2021	120.90	117.69	69.93	52.46	10.90	5.09	1.09	1.81	3.26	43.71	78.49	92.72	598.05
2022	169.00	93.14	137.05	6.74	0.69	0.14	0.00	4.28	11.16	4.91	25.78	64.54	517.43
2023	75.91	87.25	75.03	41.96	46.33	0.00	0.29	4.81	22.22	18.29	93.77	140.16	606.02
2024	66.95	100.63	99.87	35.57	12.00	2.20	1.98	0.65	14.73	32.72	144.33	99.38	611.01
NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	147.43	118.53	88.96	43.01	8.01	10.51	4.02	8.06	11.91	40.91	76.18	107.64	
MÁXIMO	296.10	196.60	172.89	110.00	46.33	59.09	16.98	49.93	55.50	109.40	144.33	198.90	
MÍNIMO	27.47	20.87	39.07	6.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.21	25.78	24.60	
DES. EST.	59.27	40.15	37.57	20.45	9.15	13.89	4.94	9.98	12.05	30.16	27.99	35.31	

Nota. Elaboración propia en base a información proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA PIURAY

Anexo 19. *Datos de precipitación mensual estimados para la estación de la cuenca Piuray (1981-2024) mediante NWS a partir de las estaciones cercanas*

PRECIPITACION MENSUAL - CUENCA PIURAY

ESTACIÓN: CUENCA PIURAY		**DEPARTAMENTO:** CUSCO	
PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL	(mm)	**PROVINCIA:** URUBAMBA	
PERIODO: 1964-2024		**DISTRITO:** CHINCHERO	
TIPO DE DATOS: TRATADOS		**LATITUD:** -13.4223604	m
ALTITUD: 3926.1377	msnm	**LONGITUD:** -72.01658662	m

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Suma
1964	83.89	96.70	105.08	14.53	5.48	0.00	0.00	5.97	26.53	19.92	30.16	38.24	426.50
1965	37.73	69.61	94.87	53.88	9.76	0.00	0.04	0.03	54.38	28.05	42.03	150.24	540.62
1966	82.13	127.35	69.10	12.86	36.95	0.00	0.01	0.06	20.53	34.10	61.06	36.04	480.18
1967	46.63	48.23	78.33	14.69	1.82	0.04	11.21	11.85	18.87	45.76	51.74	76.40	405.57
1968	88.81	101.84	57.01	16.84	3.02	4.48	27.66	21.50	15.54	20.29	70.22	50.78	477.98
1969	114.71	71.00	61.00	15.14	0.01	2.39	5.39	0.05	3.59	14.76	40.34	46.11	374.50
1970	83.43	49.29	84.52	53.37	2.34	0.86	0.90	3.18	23.40	36.84	31.15	150.93	520.20
1971	139.81	126.70	88.35	27.86	1.61	0.62	0.01	0.14	6.15	42.53	20.45	86.19	540.43
1972	79.66	35.92	27.95	9.29	0.03	0.00	1.60	19.67	2.07	0.11	52.09	65.84	294.24
1973	144.97	80.84	76.65	40.59	7.36	0.04	0.20	0.20	1.13	35.14	70.51	55.77	513.41
1974	87.11	116.95	87.63	21.21	6.36	6.20	0.04	20.02	8.93	22.41	44.78	77.68	499.32
1975	53.08	97.23	35.82	44.43	27.49	1.46	0.00	0.13	4.60	38.57	32.22	82.65	417.68
1976	128.50	21.91	48.25	45.15	16.35	1.49	0.08	0.08	21.16	11.25	22.87	62.10	379.19
1977	80.52	92.79	44.29	18.01	0.25	0.00	10.57	1.60	5.74	20.90	61.06	60.99	396.72
1978	117.60	77.63	63.82	4.62	11.90	0.66	0.01	0.00	2.57	16.62	60.87	134.80	491.13
1979	173.14	140.72	44.44	17.66	26.09	0.02	12.00	13.24	11.29	22.80	124.77	75.14	661.32
1980	61.99	92.37	73.80	11.99	6.04	0.02	2.02	0.05	2.19	50.40	38.62	44.50	383.99
1981	154.57	59.24	66.81	42.90	2.76	2.71	0.05	3.69	26.16	66.57	82.71	95.44	603.61
1982	117.81	98.73	86.19	34.26	2.78	3.77	4.03	10.31	18.54	35.97	90.44	65.29	568.13
1983	103.26	32.05	33.77	34.62	0.09	3.63	0.04	0.03	0.07	8.38	51.25	61.30	328.50
1984	136.23	95.25	37.54	48.21	0.69	12.78	5.98	13.11	3.66	74.56	49.79	52.16	529.96
1985	60.65	76.82	49.55	25.10	6.16	25.43	4.88	0.06	24.52	33.80	41.73	85.96	434.67
1986	30.01	27.12	80.35	31.25	3.54	0.00	1.36	6.28	2.17	15.11	57.86	72.22	327.28
1987	175.50	49.92	37.64	5.84	0.38	6.19	8.90	0.00	0.27	28.79	50.32	82.62	446.37
1988	148.66	81.58	114.65	74.44	7.36	0.00	0.00	0.00	8.18	20.90	39.19	104.75	599.71
1989	112.29	86.22	89.41	43.59	4.24	5.01	0.01	9.73	3.68	72.49	44.95	61.17	532.79
1990	162.54	55.19	44.93	34.87	9.43	40.03	0.00	4.71	20.37	61.39	80.03	53.71	567.20
1991	54.05	99.91	50.04	11.30	11.44	8.39	1.34	0.01	14.60	25.74	59.84	64.59	401.24
1992	88.60	63.12	48.53	19.39	0.07	21.47	0.18	18.07	3.75	15.90	45.46	17.84	342.36
1993	127.74	74.87	35.54	27.38	2.21	0.73	1.43	19.14	10.40	38.10	53.88	136.12	527.53
1994	132.16	102.16	118.70	38.85	14.69	0.02	0.02	0.02	8.26	38.35	27.66	99.67	580.57
1995	65.72	67.83	77.97	7.50	2.72	0.04	0.05	0.02	8.50	7.52	37.58	71.03	346.49
1996	80.97	47.52	31.10	16.55	8.86	0.02	0.02	3.17	10.25	24.20	43.58	71.79	338.03
1997	80.13	94.01	104.25	16.02	0.08	0.02	0.02	14.31	9.59	16.17	95.95	92.82	523.35
1998	93.74	133.21	36.24	14.86	3.42	1.39	0.02	1.73	0.44	46.15	38.27	50.14	419.61
1999	90.02	80.02	70.04	25.08	0.17	12.70	1.36	0.03	37.76	7.40	23.45	87.43	435.45
2000	186.11	110.52	36.62	22.81	8.62	19.69	3.24	8.22	2.53	13.10	51.23	58.46	521.13
2001	63.76	116.36	67.86	31.93	4.44	0.57	0.70	6.74	16.75	27.51	61.22	29.29	427.12
2002	113.15	130.90	43.26	30.87	4.36	14.83	1.01	1.55	2.28	23.23	53.10	75.16	493.71
2003	113.02	87.37	67.11	34.95	2.54	19.85	9.36	33.60	0.74	8.25	51.57	69.76	498.13
2004	137.75	86.86	42.05	31.63	2.95	32.08	0.72	7.70	16.57	36.67	68.92	36.14	500.04
2005	111.14	89.80	42.30	41.32	0.09	4.60	1.68	2.48	0.44	7.20	48.17	62.32	411.53
2006	199.91	117.58	52.07	37.32	0.34	15.43	9.76	10.98	0.68	11.32	40.51	88.97	584.87
2007	108.33	15.67	75.94	45.59	0.97	0.23	2.53	0.03	0.08	4.13	42.39	37.01	332.90
2008	69.92	54.87	42.06	21.27	10.46	12.22	2.34	3.01	5.49	27.88	59.63	83.43	392.57
2009	80.37	92.16	39.91	43.98	0.82	6.34	9.26	9.55	1.41	12.02	52.13	90.51	438.45
2010	66.74	75.01	58.27	27.52	4.61	4.38	4.54	1.32	1.48	11.47	45.80	59.09	360.22
2011	134.27	52.80	41.97	44.54	0.61	0.88	7.34	2.91	2.57	10.20	51.33	78.78	428.18
2012	20.45	119.22	27.23	46.89	0.15	7.05	5.18	0.03	2.49	9.20	46.80	93.13	377.82
2013	105.88	105.63	58.94	11.64	3.97	5.26	1.23	12.01	5.35	74.20	63.82	113.79	561.72
2014	103.70	72.09	38.90	31.71	8.54	0.02	1.02	3.17	9.92	45.22	18.97	98.50	431.77
2015	101.28	75.42	42.57	39.76	7.96	1.56	8.64	4.73	12.89	15.74	35.18	78.34	424.08
2016	66.55	108.90	44.02	19.29	6.39	0.30	4.15	2.73	9.13	49.63	33.04	68.69	412.82
2017	68.46	71.24	89.51	37.13	7.78	2.10	0.56	7.51	7.95	32.01	45.43	61.03	430.71
2018	98.98	117.32	103.08	23.39	2.00	14.68	11.56	12.37	9.01	59.33	56.84	61.13	569.71
2019	86.34	74.79	106.93	14.95	13.01	2.22	3.95	0.02	5.99	45.26	90.19	120.63	564.28
2020	95.85	108.55	100.23	11.32	21.85	0.29	2.10	0.23	2.95	12.75	34.46	89.49	480.06
2021	83.87	80.94	47.98	35.92	7.38	4.33	0.75	1.24	2.25	30.07	53.76	63.59	412.09
2022	115.83	64.06	93.80	4.75	0.48	0.11	0.02	2.96	7.59	3.55	17.87	44.12	355.15
2023	52.44	59.72	51.64	29.08	31.46	0.02	0.23	3.28	15.08	12.59	64.01	95.87	415.42
2024	46.53	68.68	68.72	25.02	8.27	1.50	1.44	0.46	10.11	23.39	97.94	67.46	419.52

NÚMERO	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
PROMEDIO	99.16	82.43	62.90	28.18	6.62	5.46	3.19	5.59	9.70	27.93	51.69	74.51
MÁXIMO	199.91	140.72	118.70	74.44	36.95	40.03	27.66	33.60	54.38	74.56	124.77	150.93
MÍNIMO	20.45	15.67	27.23	4.62	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.11	17.87	17.84
DESV. EST.	38.83	28.70	24.54	14.50	7.92	8.45	4.78	7.10	10.07	18.56	20.48	27.68

REGISTROS DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

Anexo 20. Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Granja Kayra

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-GRANJA KAYRA

ESTACIÓN:	GRANJA KAYRA	**DEPARTAMENTO:**	CUSCO
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:**	CUSCO
PERIODO:	1981-2024	**DISTRITO:**	SAN JERONIMO
TIPO DE DATOS:	PRIMARIOS	**LATITUD:**	13° 33' 24.700" S
ALTITUD:	3365 msnm	**LONGITUD:**	71° 52' 29.798" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	13.34	13.33	13.28	11.25	10.97	8.86	8.89	9.38	10.85	13.00	14.00	13.17	11.69
1982	13.55	13.56	13.32	12.16	9.73	9.30	9.85	10.76	12.11	13.55	13.63	13.98	12.13
1983	14.75	14.46	14.50	13.62	11.62	10.59	10.50	11.64	12.00	13.34	13.91	13.43	12.86
1984	12.90	12.96	13.32	12.58	11.21	9.80	9.39	10.59	11.94	12.75	13.22	13.39	12.00
1985	13.55	12.61	13.54	12.47	10.69	8.71	8.52	10.69	11.86	13.03	13.07		11.70
1986	13.52	13.59	13.09	12.58	10.51	9.25	9.30	11.27	12.33	13.00	13.59	14.22	12.19
1987	14.27	14.31	14.06	13.16	11.23	10.16	9.87	11.73	13.31	13.90	14.77	14.43	12.93
1988	14.06	14.42	13.89	12.93	11.36	9.67	9.22	11.26	12.80	13.91	14.01	13.42	12.58
1989	13.12	12.70	12.87	12.53	10.60	10.38	9.09	10.64	12.68		13.03	14.02	11.97
1990	13.78	13.41	12.80	12.74	10.74	9.41	9.28	10.30	12.49	13.27	13.62	13.41	12.10
1991	14.12	13.62	13.41	12.06	10.83	9.72	8.67	9.38	11.31	13.29	13.03	13.05	11.87
1992	13.40	13.71	13.04	12.13		9.71	8.20	9.90	12.38	12.81	13.53	13.35	12.01
1993	13.00	13.30	12.52	12.24	11.07	9.42	9.49	9.88	11.46	13.32	13.98	13.73	11.95
1994	13.25	13.73	13.42	12.52	10.93	8.97	9.10	10.13	12.39	13.51	14.05	14.26	12.19
1995	13.95	13.87	13.55	12.75	10.89		10.74	11.64	12.09	13.99	13.83	13.57	12.81
1996	13.30	13.47	13.60	12.59	11.39	9.44	9.14	11.06	12.72				11.86
1997	13.51	13.18	13.19	11.83	10.59	9.48	9.73	10.46	12.37	14.26	14.64	14.69	12.33
1998	15.05	15.37	14.73	13.80	11.40	10.51		12.11	12.91	14.29	14.05	13.61	13.44
1999	13.92	13.30	13.15	12.46	11.33	9.84	8.64	10.62	12.34	12.91	14.01	13.79	12.19
2000	13.18	13.20	12.80	12.84	11.28	9.91	9.61	11.30	12.64	13.09	14.37	13.37	12.30
2001	13.15	12.83	13.30	11.68	10.95	9.60	9.78	9.60	12.60	13.67	14.44	14.00	12.13
2002	13.83	13.38	13.53	12.45	10.67	10.63	9.32	10.59	12.81	13.97	13.79	14.11	12.42
2003	14.04	14.43	13.91	12.56	11.45	10.09	9.73	11.03	12.09	13.76	14.36	14.34	12.65
2004	14.22	14.01	13.43	12.92		9.38	9.38	10.04	12.78	13.90	14.14	14.10	12.57
2005	14.32		13.88	12.49	10.98	9.72	9.57		12.19	13.82	14.04	14.16	12.52
2006	13.24	13.96	13.45	12.58	9.81	10.20	9.33	11.77	12.92	13.48	13.53	13.35	12.30
2007	14.34	14.00	13.55	12.26	11.12	9.82	9.80	11.34	11.86	13.29	14.16	13.74	12.44
2008	13.34	13.37	12.67	12.37	10.61	9.94	9.72	11.50	12.52	13.65	13.94	13.89	12.29
2009	13.53	13.51	13.33	12.93		10.00	10.11		13.20	14.24	15.11	14.04	13.00
2010	13.99	14.08	14.37	13.27	12.14	11.01	10.82	11.21	13.30	14.26	14.32	14.16	13.08
2011	13.91	13.40	13.56	12.82	10.67	10.13	9.77	11.63	12.87	13.86	14.55	13.10	12.52
2012	13.62	13.39	13.29	12.68	10.72	10.12	10.01	11.24	13.27	14.63	15.02	14.18	12.68
2013	13.65	14.35	14.47	12.81	11.80	9.84	9.73	11.21	12.93	14.28	14.52	13.98	12.80
2014	13.57	13.28	13.12	12.20	11.60	11.04	10.00	11.00	12.83	13.65	14.79	14.23	12.61
2015	13.13	13.46	13.33	12.42	11.19	10.47	9.45	11.09	13.04	14.39	15.38	13.83	12.60
2016	14.65	14.35	14.93	13.37	11.85	11.00	10.50	12.04	13.68	13.46	15.22	14.05	13.26
2017	13.42	13.65	13.63	12.92	11.86	10.65	10.63	12.23	13.53	13.94	15.08	14.24	12.98
2018	12.85	13.87	13.12	12.90	11.61	9.53	10.01	11.25	13.14	13.56	15.09	14.25	12.60
2019	14.05	13.72	13.08	12.55	11.75	10.88	11.32	11.90	13.14	13.99	14.15	13.98	12.88
2020	13.45	13.85	14.58			12.56	12.37	13.34	14.69	14.76	16.13	14.10	13.98
2021	14.28	14.47	13.91	13.65	12.71	12.44	12.00	13.26	14.72	15.50	14.68	14.64	13.86
2022	13.19	13.14	12.83	12.94	11.61	10.18	10.68	11.32	13.07	13.88	14.40	13.07	12.53
2023	13.47	13.21	12.60	12.54	10.75	9.02	11.04	11.84	13.37	15.04	13.94	13.93	12.56
2024	14.41	13.97	13.66	13.58	12.82	11.22	11.46	13.14					13.03

NÚMERO	44	43	44	43	40	43	43	42	43	41	42	41
PROM.	13.71	13.67	13.49	12.65	11.18	10.06	9.85	11.15	12.69	13.76	14.22	13.86
MÁXIMO	15.05	15.37	14.93	13.80	12.82	12.56	12.37	13.34	14.72	15.50	16.13	14.69
MÍNIMO	12.85	12.61	12.52	11.25	9.73	8.71	8.20	9.38	10.85	12.75	13.03	13.05
DES. EST.	0.52	0.55	0.57	0.52	0.64	0.82	0.89	0.93	0.75	0.60	0.67	0.43

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 21. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Granja Kayra*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-GRANJA KAYRA

ESTACIÓN: GRANJA KAYRA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** SAN JERONIMO
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 33' 24.700" S
ALTITUD: 3219 msnm	**LONGITUD:** 71° 52' 29.798" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	13.34	13.33	13.28	11.25	10.97	8.86	8.89	9.38	10.85	13.00	14.00	13.17	11.69
1982	13.55	13.56	13.32	12.16	9.73	9.30	9.85	10.76	12.11	13.55	13.63	13.98	12.13
1983	14.75	14.46	14.50	13.62	11.62	10.59	10.50	11.64	12.00	13.34	13.91	13.43	12.86
1984	12.90	12.96	13.32	12.58	11.21	9.80	9.39	10.59	11.94	12.75	13.22	13.39	12.00
1985	13.55	12.61	13.54	12.47	10.69	8.71	8.52	10.69	11.86	13.03	13.07	13.20	11.83
1986	13.52	13.59	13.09	12.58	10.51	9.25	9.30	11.27	12.33	13.00	13.59	14.22	12.19
1987	14.27	14.31	14.06	13.16	11.23	10.16	9.87	11.73	13.31	13.90	14.77	14.43	12.93
1988	14.06	14.42	13.89	12.93	11.36	9.67	9.22	11.26	12.80	13.91	14.01	13.42	12.58
1989	13.12	12.70	12.87	12.53	10.60	10.38	9.09	10.64	12.68	13.61	13.03	14.02	12.11
1990	13.78	13.41	12.80	12.74	10.74	9.41	9.28	10.30	12.49	13.27	13.62	13.41	12.10
1991	14.12	13.62	13.41	12.06	10.83	9.72	8.67	9.38	11.31	13.29	13.03	13.05	11.87
1992	13.40	13.71	13.04	12.13	10.18	9.71	8.20	9.90	12.38	12.81	13.53	13.35	11.86
1993	13.00	13.30	12.52	12.24	11.07	9.42	9.49	9.88	11.46	13.32	13.98	13.73	11.95
1994	13.25	13.73	13.42	12.52	10.93	8.97	9.10	10.13	12.39	13.51	14.05	14.26	12.19
1995	13.95	13.87	13.55	12.75	10.89	9.52	10.74	11.64	12.09	13.99	13.83	13.57	12.53
1996	13.30	13.47	13.60	12.59	11.39	9.44	9.14	11.06	12.72	13.04	14.30	13.76	12.32
1997	13.51	13.18	13.19	11.83	10.59	9.48	9.73	10.46	12.37	14.26	14.64	14.69	12.33
1998	15.05	15.37	14.73	13.80	11.40	10.51	10.01	12.11	12.91	14.29	14.05	13.61	13.15
1999	13.92	13.30	13.15	12.46	11.33	9.84	8.64	10.62	12.34	12.91	14.01	13.79	12.19
2000	13.18	13.20	12.80	12.84	11.28	9.91	9.61	11.30	12.64	13.09	14.37	13.37	12.30
2001	13.15	12.83	13.30	11.68	10.95	9.60	9.78	9.60	12.60	13.67	14.44	14.00	12.13
2002	13.83	13.38	13.53	12.45	10.67	10.63	9.32	10.59	12.81	13.97	13.79	14.11	12.42
2003	14.04	14.43	13.91	12.56	11.45	10.09	9.73	11.03	12.09	13.76	14.36	14.34	12.65
2004	14.22	14.01	13.43	12.92	11.95	9.38	9.38	10.04	12.78	13.90	14.14	14.10	12.52
2005	14.32	13.90	13.88	12.49	10.98	9.72	9.57	12.36	12.19	13.82	14.04	14.16	12.62
2006	13.24	13.96	13.45	12.58	9.81	10.20	9.33	11.77	12.92	13.48	13.53	13.35	12.30
2007	14.34	14.00	13.55	12.26	11.12	9.82	9.80	11.34	11.86	13.29	14.16	13.74	12.44
2008	13.34	13.37	12.67	12.37	10.61	9.94	9.72	11.50	12.52	13.65	13.94	13.89	12.29
2009	13.53	13.51	13.33	12.93	10.69	10.00	10.11	13.64	13.20	14.24	15.11	14.04	12.86
2010	13.99	14.08	14.37	13.27	12.14	11.01	10.82	11.21	13.30	14.26	14.32	14.16	13.08
2011	13.91	13.40	13.56	12.82	10.67	10.13	9.77	11.63	12.87	13.86	14.55	13.10	12.52
2012	13.62	13.39	13.29	12.68	10.72	10.12	10.01	11.24	13.27	14.63	15.02	14.18	12.68
2013	13.65	14.35	14.47	12.81	11.80	9.84	9.73	11.21	12.93	14.28	14.52	13.98	12.80
2014	13.57	13.28	13.12	12.20	11.60	11.04	10.00	11.00	12.83	13.65	14.79	14.23	12.61
2015	13.13	13.46	13.33	12.42	11.19	10.47	9.45	11.09	13.04	14.39	15.38	13.83	12.60
2016	14.65	14.35	14.93	13.37	11.85	11.00	10.50	12.04	13.68	13.46	15.22	14.05	13.26
2017	13.42	13.65	13.63	12.92	11.86	10.65	10.63	12.23	13.53	13.94	15.08	14.24	12.98
2018	12.85	13.87	13.12	12.90	11.61	9.53	10.01	11.25	13.14	13.56	15.09	14.25	12.60
2019	14.05	13.72	13.08	12.55	11.75	10.88	11.32	11.90	13.14	13.99	14.15	13.98	12.88
2020	13.45	13.85	14.58	12.58	10.82	12.56	12.37	13.34	14.69	14.76	16.13	14.10	13.60
2021	14.28	14.47	13.91	13.65	12.71	12.44	12.00	13.26	14.72	15.50	14.68	14.64	13.86
2022	13.19	13.14	12.83	12.94	11.61	10.18	10.68	11.32	13.07	13.88	14.40	13.07	12.53
2023	13.47	13.21	12.60	12.54	10.75	9.02	11.04	11.84	13.37	15.04	13.94	13.93	12.56
2024	14.41	13.97	13.66	13.58	12.82	11.22	11.46	13.14	13.56	14.16	14.48	15.12	13.47

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	13.71	13.67	13.49	12.65	11.15	10.05	9.86	11.23	12.71	13.75	14.23	13.87	
MÁXIMO	15.05	15.37	14.93	13.80	12.82	12.56	12.37	13.64	14.72	15.50	16.13	15.12	
MÍNIMO	12.85	12.61	12.52	11.25	9.73	8.71	8.20	9.38	10.85	12.75	13.03	13.05	
DES. EST.	0.52	0.54	0.57	0.51	0.64	0.81	0.88	1.00	0.75	0.60	0.65	0.47	

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 22. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Perayoc*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-PERAYOC

ESTACIÓN: PERAYOC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CUSCO
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 31' 0.998" S
ALTITUD: 3365 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 1.001" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	12.65	12.70	13.10	11.85	11.85	10.35	9.80	10.45	11.40	13.10	14.10	13.40	12.06
1982	13.15	13.20	12.75	11.90	10.30	9.95	10.45	10.85	12.35	13.85	13.35	14.20	12.19
1983	15.20	14.60	15.15	14.40	12.70	11.05	11.40	12.65	13.70	14.05	14.10	13.90	13.58
1984	12.20	12.35	12.65	11.95	11.00	10.15	9.65	10.40	11.65	12.10	12.15	12.70	11.58
1985	12.85	12.75	13.05	12.50	11.25	9.00	9.25	10.95	11.40	12.95	12.60	13.60	11.85
1986	12.85	12.85	12.35	12.10	10.40	9.85	9.15	11.15	12.60	13.35	13.80	14.75	12.10
1987	12.85	14.00	13.70	13.45	11.80	9.95	10.00	12.25	13.55	13.75	14.80	14.65	12.90
1988	13.80	13.20	13.25	12.80	11.90	10.16	10.75	12.05	14.10	15.20	13.85	13.70	12.90
1989	13.75	12.80	12.40	11.25	11.75	11.15	10.40	11.80	13.15	13.60	13.15	14.60	12.48
1990	13.90	13.25	13.05	12.80	11.50	9.50	10.85	10.05	12.80	13.25	13.45	13.55	12.33
1991	14.00	13.45	13.30	12.40	11.45	10.60	9.55	10.00	11.30	13.00	12.35	12.55	12.00
1992	12.65	13.05	12.60	12.60	10.35	9.85	9.15	10.55	13.45	11.70	14.20	13.60	11.98
1993	12.87	13.51	12.28	12.72	10.98	9.42	10.17	10.04	12.11	13.40	13.74	14.14	12.11
1994	12.91	13.34	12.60	11.96	11.31	9.12	9.24	9.57	11.85	13.10	13.16	13.70	11.82
1995	13.75	13.30	12.58	12.47	11.16	10.79	11.28	12.63	12.08	13.68	13.39	12.75	12.49
1996	12.75	12.80	12.80	12.85	11.80	10.00	10.90	12.15	12.75	13.20	13.60	13.60	12.43
1997	13.45	12.05	12.65	11.20	10.55	9.95	10.05	10.95	13.25	15.35	13.60	14.20	12.27
1998	14.30	14.70	14.10	14.10	12.45	11.20	10.90	12.95	14.35	14.45	14.10	13.80	13.45
1999	14.15	12.85	12.80	12.25	11.70	10.65	9.60	11.55	12.55	13.45	14.15	13.25	12.41
2000	12.75	11.55	12.35	13.20	11.55	10.30	9.95	11.50	13.20	12.60	14.80	13.35	12.26
2001	12.44	12.07	12.76	12.20	12.14	10.56	9.97	9.58	12.07	14.21	14.85	13.42	12.19
2002	14.31	12.87	13.09	12.51	11.61	10.73	9.32	10.89	12.41	13.62	14.14	14.68	12.51
2003	13.90	13.90	13.35	13.20	12.35	10.45	9.15	11.15	12.20	14.45	14.45	13.40	12.66
2004	13.15	12.70	14.00	13.55	12.20	11.55	10.65	10.80	13.25	14.75	15.70	13.75	13.00
2005	14.30	14.40	14.85	14.00	12.95	11.50	11.40	12.20	13.00	12.20	13.80	14.50	13.26
2006	13.20	14.90	14.50	12.40	12.10	12.10	10.10	11.65	13.10	14.00	13.80	14.20	13.00
2007	15.01	12.80	12.80	13.00	12.60	11.30	10.60	12.70	12.60	13.20	14.40	12.70	12.81
2008	13.90	14.50	12.40	13.40	12.80	13.40	12.30	13.60	13.00	13.80	14.20	13.80	13.43
2009	14.20	13.10	13.00	14.20	13.40	12.10	11.40	12.60	13.40	15.30	15.30	15.00	13.58
2010	15.60	16.10	15.60	14.80	14.40	13.60	13.40	14.60	15.60	15.70	16.40	15.50	15.11
2011	15.70	14.80	15.60	14.60	12.50		11.40	12.80	13.70	14.50		13.40	13.90
2012	13.70	13.10	13.60	13.10	12.50	11.10	11.10	11.90	13.50	15.40	15.80	14.80	13.30
2013	14.01	14.50	14.60	13.40	12.60	10.00	10.50	11.40	12.30	13.30	14.20	13.70	12.88
2014	13.80	13.00	13.40	13.00	11.60	11.50	11.10	11.70	13.60	14.40	16.00	15.50	13.22
2015	14.50	14.20	14.01	13.00	12.20	11.60	10.90	12.00	13.80	14.50	15.40	14.40	13.38
2016	15.50	15.00	15.20	14.10	12.40	11.00	10.80	12.40	13.50	13.30	14.90	13.80	13.49
2017													0.00
2018													0.00
2019													0.00
2020													0.00
2021													0.00
2022													0.00
2023	10.30	8.90	9.30	8.00	7.60	7.40	6.90	12.40	14.10	16.00	13.40	13.30	10.63
2024	12.80	11.90	12.00	10.40	10.20	11.50	11.90						11.53

NÚMERO	38	38	38	38	38	37	38	37	37	37	36	37
PROM.	13.61	13.29	13.25	12.73	11.73	10.66	10.40	11.59	12.94	13.83	14.14	13.89
MÁXIMO	15.70	16.10	15.60	14.80	14.40	13.60	13.40	14.60	15.60	16.00	16.40	15.50
MÍNIMO	10.30	8.90	9.30	8.00	7.60	7.40	6.90	9.57	11.30	11.70	12.15	12.55
DES. EST.	1.06	1.23	1.18	1.24	1.13	1.16	1.11	1.13	0.92	1.01	0.98	0.73

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 23. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Perayoc*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-PERAYOC

ESTACIÓN: PERAYOC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** CUSCO
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CUSCO
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 31' 0.998" S
ALTITUD: 3365 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 1.001" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	12.65	12.70	13.10	11.85	11.85	10.35	9.80	10.45	11.40	13.10	14.10	13.40	12.06
1982	13.15	13.20	12.75	11.90	10.30	9.95	10.45	10.85	12.35	13.85	13.35	14.20	12.19
1983	15.20	14.60	15.15	14.40	12.70	11.05	11.40	12.65	13.70	14.05	14.10	13.90	13.58
1984	12.20	12.35	12.65	11.95	11.00	10.15	9.65	10.40	11.65	12.10	12.15	12.70	11.58
1985	12.85	12.75	13.05	12.50	11.25	9.00	9.25	10.95	11.40	12.95	12.60	13.60	11.85
1986	12.85	12.85	12.35	12.10	10.40	9.85	9.15	11.15	12.60	13.35	13.80	14.75	12.10
1987	12.85	14.00	13.70	13.45	11.80	9.95	10.00	12.25	13.55	13.75	14.80	14.65	12.90
1988	13.80	13.20	13.25	12.80	11.90	10.16	10.75	12.05	14.10	15.20	13.85	13.70	12.90
1989	13.75	12.80	12.40	11.25	11.75	11.15	10.40	11.80	13.15	13.60	13.15	14.60	12.48
1990	13.90	13.25	13.05	12.80	11.50	9.50	10.85	10.05	12.80	13.25	13.45	13.55	12.33
1991	14.00	13.45	13.30	12.40	11.45	10.60	9.55	10.00	11.30	13.00	12.35	12.55	12.00
1992	12.65	13.05	12.60	12.60	10.35	9.85	9.15	10.55	13.45	11.70	14.20	13.60	11.98
1993	12.87	13.51	12.28	12.72	10.98	9.42	10.17	10.04	12.11	13.40	13.74	14.14	12.12
1994	12.91	13.34	12.60	11.96	11.31	9.12	9.24	9.57	11.85	13.10	13.16	13.70	11.82
1995	13.75	13.30	12.58	12.47	11.16	10.79	11.28	12.63	12.08	13.68	13.39	12.75	12.49
1996	12.75	12.80	12.80	12.85	11.80	10.00	10.90	12.15	12.75	13.20	13.60	13.60	12.43
1997	13.45	12.05	12.65	11.20	10.55	9.95	10.05	10.95	13.25	15.35	13.60	14.20	12.27
1998	14.30	14.70	14.10	14.10	12.45	11.20	10.90	12.95	14.35	14.45	14.10	13.80	13.45
1999	14.15	12.85	12.80	12.25	11.70	10.65	9.60	11.55	12.55	13.45	14.15	13.25	12.41
2000	12.75	11.55	12.35	13.20	11.55	10.30	9.95	11.50	13.20	12.60	14.80	13.35	12.26
2001	12.44	12.07	12.76	12.20	12.14	10.56	9.97	9.58	12.07	14.21	14.85	13.42	12.19
2002	14.31	12.87	13.09	12.51	11.61	10.73	9.32	10.89	12.41	13.62	14.14	14.68	12.52
2003	13.90	13.90	13.35	13.20	12.35	10.45	9.15	11.15	12.20	14.45	14.45	13.40	12.66
2004	13.15	12.70	14.00	13.55	12.20	11.55	10.65	10.80	13.25	14.75	15.70	13.75	13.00
2005	14.30	14.40	14.85	14.00	12.95	11.50	11.40	12.20	13.00	12.20	13.80	14.50	13.26
2006	13.20	14.90	14.50	12.40	12.10	12.10	10.10	11.65	13.10	14.00	13.80	14.20	13.00
2007	15.01	12.80	12.80	13.00	12.60	11.30	10.60	12.70	12.60	13.20	14.40	12.70	12.81
2008	13.90	14.50	12.40	13.40	12.80	13.40	12.30	13.60	13.00	13.80	14.20	13.80	13.43
2009	14.20	13.10	13.00	14.20	13.40	12.10	11.40	12.60	13.40	15.30	15.30	15.00	13.58
2010	15.60	16.10	15.60	14.80	14.40	13.60	13.40	14.60	15.60	15.70	16.40	15.50	15.11
2011	15.70	14.80	15.60	14.60	12.50	14.34	11.40	12.80	13.70	14.50	15.62	13.40	14.08
2012	13.70	13.10	13.60	13.10	12.50	11.10	11.10	11.90	13.50	15.40	15.80	14.80	13.30
2013	14.01	14.50	14.60	13.40	12.60	10.00	10.50	11.40	12.30	13.30	14.20	13.70	12.88
2014	13.80	13.00	13.40	13.00	11.60	11.50	11.10	11.70	13.60	14.40	16.00	15.50	13.22
2015	14.50	14.20	14.01	13.00	12.20	11.60	10.90	12.00	13.80	14.50	15.40	14.40	13.38
2016	15.50	15.00	15.20	14.10	12.40	11.00	10.80	12.40	13.50	13.30	14.90	13.80	13.49
2017	13.77	11.67	11.47	11.78	12.10	11.38	10.03	13.67	13.02	13.12	16.24	15.66	12.83
2018	14.88	14.06	13.91	13.53	12.32	10.66	11.66	11.85	12.96	13.58	15.98	15.74	13.43
2019	14.44	13.64	13.17	13.26	10.93	10.94	11.62	13.30	13.86	13.69	14.47	14.41	13.14
2020	13.57	13.61	14.26	13.71	12.40	11.84	11.33	13.14	14.23	17.53	17.14	14.72	13.96
2021	14.83	14.70	14.68	14.15	12.44	12.53	11.60	13.01	13.85	19.17	15.80	14.35	14.26
2022	13.81	13.23	13.16	12.70	12.22	11.34	11.61	13.63	13.66	15.46	14.46	13.30	13.22
2023	10.30	8.90	9.30	8.00	7.60	7.40	6.90	12.40	14.10	16.00	13.40	13.30	10.63
2024	12.80	11.90	12.00	10.40	10.20	11.50	11.90	15.34	14.75	15.81	13.90	14.03	12.88

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	13.69	13.32	13.28	12.79	11.78	10.85	10.53	11.88	13.07	14.09	14.38	14.00	
MÁXIMO	15.70	16.10	15.60	14.80	14.40	14.34	13.40	15.34	15.60	19.17	17.14	15.74	
MÍNIMO	10.30	8.90	9.30	8.00	7.60	7.40	6.90	9.57	11.30	11.70	12.15	12.55	
DES. EST.	1.03	1.19	1.16	1.20	1.07	1.24	1.10	1.30	0.93	1.39	1.11	0.79	

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 24. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Pisac*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-PISAC

ESTACIÓN: PISAC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1997-2024	**DISTRITO:** PISAC
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 24' 56.999" S
ALTITUD: 2950 msnm	**LONGITUD:** 71° 50' 57.998" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981													0.00
1982													0.00
1983													0.00
1984													0.00
1985													0.00
1986													0.00
1987													0.00
1988													0.00
1989													0.00
1990													0.00
1991													0.00
1992													0.00
1993													0.00
1994													0.00
1995													0.00
1996													0.00
1997			15.33	14.79	14.55	13.89	13.88	13.71	15.29	16.90	17.27	17.26	15.29
1998	17.18	17.40	17.45	17.39	15.61	14.10	14.05	15.55	16.37	16.55	16.77	16.48	16.24
1999	16.38	14.99	14.81	14.89	14.86		12.28	13.81	14.98	15.21	16.77	15.54	14.96
2000	14.73	14.82	14.37	15.07	14.15	13.28	13.06	14.14	15.71	15.50	17.32	16.03	14.85
2001	14.44	14.60	14.70	14.36	13.99	12.97	12.97	13.11	15.12	16.25	16.62	16.23	14.61
2002	16.06	14.99	15.58	15.48	14.02	13.83	12.64	13.53	15.40	16.11	15.98	15.69	14.94
2003	15.93	16.21	15.64	15.23	14.94	13.82	13.80	13.91	15.16	16.54	17.19	16.86	15.44
2004	15.62	15.54	15.82	15.59	15.35	12.90	12.80	12.92	15.18	16.88	17.14	16.73	15.21
2005	16.46	15.75	16.13	16.07	15.02	14.07	14.07	15.12	15.65	16.65	17.23	17.19	15.78
2006	15.49	16.24	15.77	15.59	14.27	13.70	13.17	14.98	16.21	16.55	15.94	15.57	15.29
2007	16.64	16.09	15.67	15.05	14.95	13.65	13.68	14.98	14.24	16.14	17.00	16.07	15.35
2008	15.17	15.62	15.13	15.21	14.13	13.72	13.75	15.29	15.93	16.57	17.20	16.23	15.33
2009	15.70	15.90	15.76	16.30	14.74	14.44	14.17	15.49	16.40	17.70	17.90	16.50	15.92
2010	15.91	16.27	16.58	16.14	15.87	14.71	15.08	14.85	16.59	17.03	17.31	16.51	16.07
2011	16.48	15.21	15.64	15.30	14.44	14.45	13.39	14.90	15.56	16.84	17.48	15.45	15.43
2012	15.91	15.47	15.46	15.28	14.48	14.22	14.16	14.73	15.23	17.13	17.67	15.87	15.47
2013	15.45	15.83	16.68	15.39	14.50	13.25	12.74	14.47	15.82	16.76	16.59	16.04	15.29
2014	15.27	14.85	15.60	14.83	14.21	14.37	13.36	13.33	14.32	15.58	17.02	16.45	14.93
2015	15.89	15.86	15.53	15.57	15.75	14.40	13.04	12.86	14.58	13.96	15.24	15.37	14.84
2016	15.89	15.39	14.99	14.00	13.86	13.20	12.90	13.22	13.99	15.57	17.59	16.23	14.74
2017	15.99	16.01	15.16	15.43	14.56	14.81	14.60	15.32	15.40	17.19	17.60	17.19	15.77
2018	16.29	15.84	15.37	15.28	14.73	13.30	12.94	13.60	15.80	15.55	16.36	16.31	15.11
2019	16.07	15.60	16.00	14.87	14.47	13.91	14.00	14.43	15.22	15.82	16.41	16.91	15.31
2020	16.47	15.55	16.49			14.59	14.52	14.82	16.41	16.13	17.26	16.13	15.84
2021	15.88	15.42	15.35	15.12	14.68	14.47	13.70	15.17	15.24	16.37	16.32	16.04	15.31
2022	15.44	15.36	15.24	15.50	15.46	13.94	14.05	15.10	16.09	16.81	16.35	15.39	15.40
2023	16.18	16.98	16.32	16.29	14.58	13.71	14.76	15.27	15.47	17.11	15.76	16.09	15.71
2024	16.63	16.79	16.09	15.37	15.05	13.69	13.82	15.76					15.40

NÚMERO	27	27	28	27	27	27	28	28	27	27	27	27
PROM.	15.91	15.72	15.67	15.39	14.71	13.90	13.62	14.44	15.46	16.35	16.86	16.23
MÁXIMO	17.18	17.40	17.45	17.39	15.87	14.81	15.08	15.76	16.59	17.70	17.90	17.26
MÍNIMO	14.44	14.60	14.37	14.00	13.86	12.90	12.28	12.86	13.99	13.96	15.24	15.37
DES. EST.	0.60	0.66	0.66	0.66	0.54	0.53	0.70	0.88	0.67	0.78	0.65	0.55

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 25. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Pisac*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-PISAC

ESTACIÓN: PISAC	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** PISAC
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 24' 56.999" S
ALTITUD: 2950 msnm	**LONGITUD:** 71° 50' 57.998" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	15.62	16.14	15.78	14.81	14.07	13.41	13.60	12.81	14.91	16.40	16.40	15.18	14.93
1982	14.92	15.28	15.79	14.80	16.15	13.41	12.46	13.72	15.42	16.50	16.39	16.06	15.08
1983	15.74	17.47	16.96	17.71	15.74	14.41	13.05	14.66	15.87	16.40	16.48	15.69	15.85
1984	15.35	15.33	15.07	16.02	14.49	14.25	13.42	14.34	16.13	17.35	17.66	17.04	15.54
1985	16.72	16.37	16.68	15.08	13.95	13.59	13.49	13.76	15.68	15.45	16.53	15.65	15.25
1986	15.36	14.84	15.34	14.99	17.35	13.65	12.59	13.57	15.02	16.69	16.51	16.26	15.18
1987	15.88	15.29	15.39	15.06	15.20	13.66	13.98	14.22	16.30	16.46	16.85	16.02	15.36
1988	15.55	15.83	15.74	14.86	15.48	13.38	13.64	14.44	16.02	17.20	16.47	15.88	15.37
1989	15.38	15.29	15.86	14.85	15.59	13.46	12.98	13.50	15.08	16.67	16.67	15.90	15.10
1990	15.79	15.32	14.45	14.77	16.72	13.37	13.06	12.71	15.24	15.50	16.50	15.43	14.91
1991	15.72	15.49	15.50	14.77	14.01	13.13	12.25	12.16	13.86	15.92	16.44	15.86	14.59
1992	15.68	14.91	15.28	14.79	14.80	13.20	12.19	13.39	14.93	16.10	16.42	15.38	14.76
1993	14.90	14.88	14.97	14.77	13.95	12.91	12.17	12.37	14.49	16.57	16.39	14.90	14.44
1994	14.94	14.59	15.72	14.77	14.55	12.67	12.54	10.78	15.31	14.97	16.42	16.75	14.50
1995	16.76	15.80	15.77	15.73	14.01	13.98	14.15	14.68	16.06	16.16	16.77	16.44	15.53
1996	16.04	15.61	16.09	15.14	14.91	13.73	13.10	14.39	16.34	17.00	16.45	16.40	15.43
1997	16.11	15.02	15.33	14.79	14.55	13.89	13.88	13.71	15.29	16.90	17.27	17.26	15.33
1998	17.18	17.40	17.45	17.39	15.61	14.10	14.05	15.55	16.37	16.55	16.77	16.48	16.24
1999	16.38	14.99	14.81	14.89	14.86	13.78	12.28	13.81	14.98	15.21	16.77	15.54	14.86
2000	14.73	14.82	14.37	15.07	14.15	13.28	13.06	14.14	15.71	15.50	17.32	16.03	14.85
2001	14.44	14.60	14.70	14.36	13.99	12.97	12.97	13.11	15.12	16.25	16.62	16.23	14.61
2002	16.06	14.99	15.58	15.48	14.02	13.83	12.64	13.53	15.40	16.11	15.98	15.69	14.94
2003	15.93	16.21	15.64	15.23	14.94	13.82	13.80	13.91	15.16	16.54	17.19	16.86	15.44
2004	15.62	15.54	15.82	15.59	15.35	12.90	12.80	12.92	15.18	16.88	17.14	16.73	15.21
2005	16.46	15.75	16.13	16.07	15.02	14.07	14.07	15.12	15.65	16.65	17.23	17.19	15.78
2006	15.49	16.24	15.77	15.59	14.27	13.70	13.17	14.98	16.21	16.55	15.94	15.57	15.29
2007	16.64	16.09	15.67	15.05	14.95	13.65	13.68	14.98	14.24	16.14	17.00	16.07	15.35
2008	15.17	15.62	15.13	15.21	14.13	13.72	13.75	15.29	15.93	16.57	17.20	16.23	15.33
2009	15.70	15.90	15.76	16.30	14.74	14.44	14.17	15.49	16.40	17.70	17.90	16.50	15.92
2010	15.91	16.27	16.58	16.14	15.87	14.71	15.08	14.85	16.59	17.03	17.31	16.51	16.07
2011	16.48	15.21	15.64	15.30	14.44	14.45	13.39	14.90	15.56	16.84	17.48	15.45	15.43
2012	15.91	15.47	15.46	15.28	14.48	14.22	14.16	14.73	15.23	17.13	17.67	15.87	15.47
2013	15.45	15.83	16.68	15.39	14.50	13.25	12.74	14.47	15.82	16.76	16.59	16.04	15.29
2014	15.27	14.85	15.60	14.83	14.21	14.37	13.36	13.33	14.32	15.58	17.02	16.45	14.93
2015	15.89	15.86	15.53	15.57	15.75	14.40	13.04	12.86	14.58	13.96	15.24	15.37	14.84
2016	15.89	15.39	14.99	14.00	13.86	13.20	12.90	13.22	13.99	15.57	17.59	16.23	14.74
2017	15.99	16.01	15.16	15.43	14.56	14.81	14.60	15.32	15.40	17.19	17.60	17.19	15.77
2018	16.29	15.84	15.37	15.28	14.73	13.30	12.94	13.60	15.80	15.55	16.36	16.31	15.11
2019	16.07	15.60	16.00	14.87	14.47	13.91	14.00	14.43	15.22	15.82	16.41	16.91	15.31
2020	16.47	15.55	16.49	15.38	15.89	14.59	14.52	14.82	16.41	16.13	17.26	16.13	15.80
2021	15.88	15.42	15.35	15.12	14.68	14.47	13.70	15.17	15.24	16.37	16.32	16.04	15.31
2022	15.44	15.36	15.24	15.50	15.46	13.94	14.05	15.10	16.09	16.81	16.35	15.39	15.39
2023	16.18	16.98	16.32	16.29	14.58	13.71	14.76	15.27	15.47	17.11	15.76	16.09	15.71
2024	16.63	16.79	16.09	15.37	15.05	13.69	13.82	15.76	16.59	16.24	16.57	16.61	15.77

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
PROM.	15.82	15.64	15.66	15.31	14.87	13.76	13.41	14.09	15.47	16.34	16.75	16.13	
MÁXIMO	17.18	17.47	17.45	17.71	17.35	14.81	15.08	15.76	16.59	17.70	17.90	17.26	
MÍNIMO	14.44	14.59	14.37	14.00	13.86	12.67	12.17	10.78	13.86	13.96	15.24	14.90	
DES. EST.	0.58	0.67	0.63	0.69	0.78	0.52	0.73	1.06	0.69	0.71	0.56	0.57	

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 26. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Urubamba*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-URUBAMBA

ESTACIÓN: URUBAMBA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** URUBAMBA
PERIODO: 1981-2016	**DISTRITO:** URUBAMBA
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 19' 23.200" S
ALTITUD: 2863 msnm	**LONGITUD:** 72° 7' 44.821" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	15.10	15.08	14.93	14.68	14.73	13.87	13.87	13.82	13.98	14.49	14.76	14.88	14.52
1982	15.00	14.86	14.50	14.65	13.04	13.96	12.94	13.84	14.19	14.39	14.66	14.66	14.22
1983	15.34	15.39	14.42	14.64	13.32	12.64	12.98	13.48	14.72	15.51	15.00	14.97	14.37
1984	15.03	15.86	16.26	14.50	14.59	13.56		13.52	15.79	17.21			15.15
1985						10.58	11.59	12.17	13.79	15.18	15.28	15.72	13.47
1986	15.89	15.37	15.04	14.46	12.64	12.64	11.41	13.47	14.42	15.92	16.36	16.46	14.51
1987	16.23	16.55	15.95	15.07	13.29	12.01	11.83	13.57	14.99	15.81	16.27	16.23	14.82
1988	15.63	16.00	15.54	14.75	13.83	12.46	11.43	13.21	13.98	15.99	15.96	15.62	14.53
1989	15.00	15.09	15.03	14.86	13.20	12.58	11.18	12.92	14.29	15.86	16.03	16.71	14.40
1990	16.02	15.81	15.15	14.87	12.99	11.64	11.53	12.53	14.46	15.03	15.46	15.91	14.28
1991	16.37	15.84	15.61	14.75	14.37	12.86	11.44	12.05	13.31	14.86	14.97	15.50	14.33
1992	15.75	15.74	15.63	14.94	14.47	11.94	10.39	12.00	13.76	15.00	15.47	15.60	14.22
1993	15.07	15.29	15.07	14.78	14.21	12.24	11.93	12.25	13.52	15.34	16.20	15.83	14.31
1994	15.46	15.38	15.23	14.84	13.85	11.93	11.40	12.52	14.24	15.15	15.95	15.96	14.33
1995	15.82	15.87	15.21	15.17	14.04	12.58	13.07	14.05	14.06	15.83	15.70	15.53	14.74
1996	15.09	15.57	15.51	14.94	14.17		11.42	12.66	14.41	15.40	15.37	15.29	14.53
1997	15.63	14.70	15.02	14.55	13.30	12.14	12.10	12.48	14.51	16.14	16.55	16.64	14.48
1998	16.71	17.01	16.71	16.34	13.90	12.61		13.56	14.59	15.65	15.89	15.26	15.29
1999	15.19	14.28	14.19	14.42	13.89	12.93	11.25	12.82	14.41	14.57	15.99	15.70	14.14
2000	15.13	15.36	15.32	15.48	14.87	12.97	12.44	13.40	15.17	15.55	16.62	15.91	14.85
2001	15.23	15.13	15.37	14.58	14.22	12.77	12.73	12.68	15.22	16.63	16.77	16.85	14.85
2002	16.40	16.06	16.18	15.82	14.10	13.76	12.16	12.83	14.85	15.86	16.17	16.29	15.04
2003	16.29	16.66	16.23	15.53	14.35	13.88		13.07	14.23	16.11	16.63	15.99	15.36
2004	15.93	15.49	15.99	15.75	14.43	11.79	11.26	12.04	14.50	15.59	16.21	16.25	14.60
2005	16.40	16.13	16.21	15.75		12.95	11.97	13.55	13.97	15.67	16.19	16.29	15.01
2006	15.29	15.97	15.61	15.05	13.41	13.36	11.84	13.52	15.13	15.97	15.70	15.83	14.72
2007	16.52	15.85	15.60	15.22	14.27	13.02	12.19	12.96	13.82	15.31	16.02	15.95	14.73
2008	14.78	15.12	14.51	14.65	13.28	12.32	12.44	14.18	14.62	15.75	16.42	15.30	14.45
2009	14.87	14.79	14.78	15.41	13.68		12.35	13.69	15.29	16.12	16.26	15.44	14.79
2010	15.11	15.92	15.49	14.44	12.82	12.93		15.16	16.42	17.10	17.54	16.77	15.43
2011	16.41	15.36	15.58	15.68	14.73	13.66	12.57	13.95	14.83	16.33	17.18	15.58	15.16
2012	16.00	15.61	15.73	15.59	14.60	13.22	13.04		15.25	17.05	17.20	16.36	15.42
2013	15.91	16.25	16.53	15.83	15.38		12.70	13.74	15.81	16.29	16.61	16.23	15.57
2014	16.70	16.60	16.20	18.70	14.70	14.80	13.10	13.50	15.40	16.60	17.00	16.80	15.84
2015	15.50	16.40	16.50	15.50	15.00	14.30	13.20	14.00	16.00	12.50	12.50	11.60	14.42
2016	17.60	17.10	17.70	16.90	14.90	13.60	12.50	14.30	15.70	15.70	16.40	15.80	15.68
2017													0.00
2018													0.00
2019													0.00
2020													0.00
2021													0.00
2022													0.00
2023													0.00
2024													0.00

NÚMERO	35	35	35	35	34	33	32	35	36	36	35	35
PROM.	15.73	15.70	15.56	15.23	14.02	12.86	12.13	13.24	14.66	15.65	15.98	15.76
MÁXIMO	17.60	17.10	17.70	18.70	15.38	14.80	13.87	15.16	16.42	17.21	17.54	16.85
MÍNIMO	14.78	14.28	14.19	14.42	12.64	10.58	10.39	12.00	13.31	12.50	12.50	11.60
DES. EST.	0.66	0.65	0.73	0.84	0.69	0.87	0.77	0.74	0.74	0.87	0.91	0.91

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 27. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Urubamba*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-URUBAMBA

ESTACIÓN: URUBAMBA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** URUBAMBA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** URUBAMBA
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 19' 23.200" S
ALTITUD: 2863 msnm	**LONGITUD:** 72° 7' 44.821" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	15.10	15.08	14.93	14.68	14.73	13.87	13.87	13.82	13.98	14.49	14.76	14.88	14.52
1982	15.00	14.86	14.50	14.65	13.04	13.96	12.94	13.84	14.19	14.39	14.66	14.66	14.22
1983	15.34	15.39	14.42	14.64	13.32	12.64	12.98	13.48	14.72	15.51	15.00	14.97	14.37
1984	15.03	15.86	16.26	14.50	14.59	13.56	12.21	13.52	15.79	17.21	16.45	16.30	15.11
1985	16.01	15.79	16.01	15.00	13.41	10.58	11.59	12.17	13.79	15.18	15.28	15.72	14.21
1986	15.89	15.37	15.04	14.46	12.64	12.64	11.41	13.47	14.42	15.92	16.36	16.46	14.51
1987	16.23	16.55	15.95	15.07	13.29	12.01	11.83	13.57	14.99	15.81	16.27	16.23	14.82
1988	15.63	16.00	15.54	14.75	13.83	12.46	11.43	13.21	13.98	15.99	15.96	15.62	14.53
1989	15.00	15.09	15.03	14.86	13.20	12.58	11.18	12.92	14.29	15.86	16.03	16.71	14.40
1990	16.02	15.81	15.15	14.87	12.99	11.64	11.53	12.53	14.46	15.03	15.46	15.91	14.28
1991	16.37	15.84	15.61	14.75	14.37	12.86	11.44	12.05	13.31	14.86	14.97	15.50	14.33
1992	15.75	15.74	15.63	14.94	14.47	11.94	10.39	12.00	13.76	15.00	15.47	15.60	14.22
1993	15.07	15.29	15.07	14.78	14.21	12.24	11.93	12.25	13.52	15.34	16.20	15.83	14.31
1994	15.46	15.38	15.23	14.84	13.85	11.93	11.40	12.52	14.24	15.15	15.95	15.96	14.33
1995	15.82	15.87	15.21	15.17	14.04	12.58	13.07	14.05	14.06	15.83	15.70	15.53	14.74
1996	15.09	15.57	15.51	14.94	14.17	12.34	11.42	12.66	14.41	15.40	15.37	15.29	14.35
1997	15.63	14.70	15.02	14.55	13.30	12.14	12.10	12.48	14.51	16.14	16.55	16.64	14.48
1998	16.71	17.01	16.71	16.34	13.90	12.61	13.08	13.56	14.59	15.65	15.89	15.26	15.11
1999	15.19	14.28	14.19	14.42	13.89	12.93	11.25	12.82	14.41	14.57	15.99	15.70	14.14
2000	15.13	15.36	15.32	15.48	14.87	12.97	12.44	13.40	15.17	15.55	16.62	15.91	14.85
2001	15.23	15.13	15.37	14.58	14.22	12.77	12.73	12.68	15.22	16.63	16.77	16.85	14.85
2002	16.40	16.06	16.18	15.82	14.10	13.76	12.16	12.83	14.85	15.86	16.17	16.29	15.04
2003	16.29	16.66	16.23	15.53	14.35	13.88	12.97	13.07	14.23	16.11	16.63	15.99	15.16
2004	15.93	15.49	15.99	15.75	14.43	11.79	11.26	12.04	14.50	15.59	16.21	16.25	14.60
2005	16.40	16.13	16.21	15.75	13.69	12.95	11.97	13.55	13.97	15.67	16.19	16.29	14.90
2006	15.29	15.97	15.61	15.05	13.41	13.36	11.84	13.52	15.13	15.97	15.70	15.83	14.72
2007	16.52	15.85	15.60	15.22	14.27	13.02	12.19	12.96	13.82	15.31	16.02	15.95	14.73
2008	14.78	15.12	14.51	14.65	13.28	12.32	12.44	14.18	14.62	15.75	16.42	15.30	14.45
2009	14.87	14.79	14.78	15.41	13.68	12.80	12.35	13.69	15.29	16.12	16.26	15.44	14.62
2010	15.11	15.92	15.49	14.44	12.82	12.93	13.69	15.16	16.42	17.10	17.54	16.77	15.28
2011	16.41	15.36	15.58	15.68	14.73	13.66	12.57	13.95	14.83	16.33	17.18	15.58	15.16
2012	16.00	15.61	15.73	15.59	14.60	13.22	13.04	14.31	15.25	17.05	17.20	16.36	15.33
2013	15.91	16.25	16.53	15.83	15.38	13.00	12.70	13.74	15.81	16.29	16.61	16.23	15.36
2014	16.70	16.60	16.20	18.70	14.70	14.80	13.10	13.50	15.40	16.60	17.00	16.80	15.84
2015	15.50	16.40	16.50	15.50	15.00	14.30	13.20	14.00	16.00	12.50	12.50	11.60	14.42
2016	17.60	17.10	17.70	16.90	14.90	13.60	12.50	14.30	15.70	15.70	16.40	15.80	15.68
2017	16.07	15.27	15.29	14.79	14.30	14.64	14.09	13.88	14.86	16.06	16.40	16.30	15.16
2018	16.11	16.45	16.07	16.01	13.74	12.16	10.90	12.95	14.29	15.73	16.41	16.27	14.76
2019	16.23	16.61	16.35	15.54	13.91	13.08	12.89	15.55	15.23	15.93	16.26	16.30	15.32
2020	16.16	16.18	16.11	14.76	13.30	13.85	12.70	13.91	15.69	16.08	16.45	16.30	15.12
2021	16.22	16.05	15.67	15.75	15.20	14.10	14.68	14.33	14.66	16.15	15.90	16.26	15.41
2022	16.12	15.59	15.31	15.08	13.30	12.76	12.79	13.04	14.67	15.53	16.42	16.30	14.74
2023	16.18	15.38	15.56	15.46	13.49	11.90	12.55	12.97	14.57	16.39	15.83	16.30	14.72
2024	16.23	16.36	16.29	14.80	17.11	14.30	13.03	14.16	14.97	15.84	16.00	14.61	15.31

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
PROM.	15.81	15.75	15.62	15.23	14.05	12.94	12.36	13.38	14.69	15.71	16.03	15.83
MÁXIMO	17.60	17.10	17.70	18.70	17.11	14.80	14.68	15.55	16.42	17.21	17.54	16.85
MÍNIMO	14.78	14.28	14.19	14.42	12.64	10.58	10.39	12.00	13.31	12.50	12.50	11.60
DES. EST.	0.61	0.62	0.68	0.77	0.82	0.88	0.89	0.80	0.69	0.80	0.83	0.86

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 28. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Anta Ancachuro*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-ANTA ANCACHURO

ESTACIÓN: ANTA ANCACHURO	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** ANTA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** ZURITE
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD** 13° 28' 5.002" S
ALTITUD: 3340 msnm	**LONGITUD:** 72° 12' 56.002" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	12.15	12.13	12.37	10.89	9.69	8.37	8.17	8.74	9.72	11.44	12.41	12.28	10.70
1982	11.89	11.79											11.84
1983													0.00
1984											12.50		12.50
1985	11.83	11.41	11.69	10.04	6.38	6.00	5.47	7.35	9.55	10.08	10.74	10.97	9.29
1986	11.36	11.38	11.55	10.03	7.59	5.93	6.26	7.56	9.05	9.34	9.42	10.18	9.14
1987	10.85	11.81	11.37	10.99	8.34	7.12	6.56	8.28	10.54	11.21	12.27	12.64	10.17
1988	11.99	12.46	12.15	12.07	10.45	8.48	8.78	8.01	10.65	11.88	12.03	11.92	10.91
1989	11.47	11.80	10.94	10.97	10.07	7.81	7.52	7.54	8.86	11.00	10.91	10.93	9.99
1990	11.10	11.21	10.90	9.06	8.45	8.46	6.90	7.68	8.92	10.42	11.78	11.48	9.70
1991	11.95	11.40	11.38	10.97	9.17	8.90	8.73	9.40	9.80	10.31		11.17	10.29
1992	11.87	11.23	10.83	9.98	9.39	9.69	9.96	10.52	11.96	11.88	12.09	12.92	11.03
1993	12.82	13.17	13.15	13.22	8.76	7.47	8.09	10.05	11.48	12.63	13.11	12.94	11.41
1994	13.33	13.06	13.55	13.15	10.61	7.49	6.65	8.36	11.02	12.04	13.46	13.51	11.35
1995	14.03	12.97	12.94	11.02	9.17	7.93	7.81	9.14	10.63	11.97	12.40	13.21	11.10
1996	12.76	13.56	12.41	12.41	9.83	7.17	6.84	9.07	10.47	12.00	12.88	12.34	10.98
1997		12.21	12.13	10.84	9.21	7.46	7.02	8.89	10.50	11.66	12.73	13.28	10.54
1998	13.76	13.71	13.52		8.45	8.01	8.20	10.23	10.30	11.75	12.64	12.85	11.22
1999	13.11	12.53	13.21	12.37	10.78	7.86	6.99	8.98	10.29	12.74	12.82	12.38	11.17
2000	12.68	13.38	12.43	12.08	10.07	7.96	8.22	9.44	9.44	12.35	11.70	13.31	11.09
2001	12.38	13.23	13.25	12.36	10.10	8.41	8.47	9.18	12.74	13.69	13.93	13.45	11.77
2002	13.50	12.64	12.85	12.67	9.98	9.13	10.13	8.90	11.81	12.56	13.00	12.88	11.67
2003	13.68	13.92	13.15	12.50	10.81	9.54	8.40	9.46	10.12	11.47	12.35	12.91	11.53
2004	13.21	13.96	13.05	12.11	9.99		7.97	8.36	10.45	12.73	12.89	13.16	11.63
2005	13.38	13.49	13.67	12.05	9.21	7.73	8.16	9.09	9.84	12.42	12.55	13.41	11.25
2006	12.78	12.81	12.97	11.82	8.37	7.73	7.19	9.57	11.38	12.43	12.88	12.45	11.03
2007	13.62	12.93	13.14	11.82	9.57	8.68	7.68	8.97	9.25	11.49	12.67	13.21	11.09
2008	12.86	12.62	12.00	11.10	8.99	7.63	7.63	9.34	10.83	12.45	12.27	12.56	10.86
2009	12.54	12.57	12.40	11.39	9.22	7.90	7.76	9.46	10.49	12.58	13.19	13.09	11.05
2010	12.48	12.65	12.56	12.44	10.65	9.25	9.15	9.59	10.47	11.66	12.94	12.66	11.38
2011	12.93	12.34	12.41	12.49	10.43	8.35	8.37	9.30	11.18	12.53	13.34	12.07	11.31
2012	12.46	11.70	11.99	11.69	9.78	8.04	7.59	9.04	9.50	12.68		12.76	10.66
2013	12.10	12.64	12.65	10.97	9.87	7.99	7.85	9.27	10.72	11.76	12.84	12.33	10.92
2014	12.43	12.33	12.06	11.51	9.64	9.78	8.84	9.84	9.67	13.11	14.12	13.18	11.37
2015	12.01	12.64	12.30	11.08	9.95	9.83	8.80	10.39	11.97	13.00	13.65	12.65	11.52
2016	13.88	13.15	13.77	12.30	10.53	9.33	9.44	10.59	12.11	12.22	13.43	12.77	11.96
2017	12.59	12.45	12.54	11.39	10.15	9.35	9.83	10.42	12.05	12.44	13.27	12.79	11.61
2018	11.96	12.59	12.18	11.75	10.10	8.16	8.65	9.78	11.96	12.25	13.90	12.48	11.31
2019	12.78	12.32	12.47	11.79	10.33	9.37	9.56	10.24	12.00	12.71	13.16	12.81	11.63
2020	12.90	12.88	12.98	11.70	10.35	10.36	10.09	10.53	11.69	12.53	13.70	12.70	11.87
2021	12.17	12.45	12.17	11.14	9.78	9.30	9.01	10.38	11.87	13.16	12.79	12.93	11.43
2022	12.09	12.10	12.10	12.10	10.34	8.82	9.48	10.92	12.28	13.53	14.02	12.92	11.72
2023	12.54	12.84	12.42	11.62	9.96	8.72	10.60	11.09	12.57	14.61	13.91	13.90	12.07
2024	13.91	13.58	13.20	12.99	11.76	10.08	9.79	11.13					12.05
NÚMERO	41	42	41	40	41	40	41	41	40	40	39	40	
PROM.	12.59	12.57	12.46	11.62	9.67	8.39	8.26	9.37	10.75	12.12	12.74	12.61	
MÁXIMO	14.03	13.96	13.77	13.22	11.76	10.36	10.60	11.13	12.74	14.61	14.12	13.90	
MÍNIMO	10.85	11.21	10.83	9.06	6.38	5.93	5.47	7.35	8.86	9.34	9.42	10.18	
DES. EST.	0.78	0.72	0.75	0.90	0.97	1.01	1.17	0.98	1.08	1.00	0.95	0.77	

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 29. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Anta Ancachuro*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-ANTA ANCACHURO

ESTACIÓN: ANTA ANCACHURO	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** ANTA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** ZURITE
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 28' 5.002" S
ALTITUD: 3340 msnm	**LONGITUD:** 72° 12' 56.002" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	12.15	12.13	12.37	10.89	9.69	8.37	8.17	8.74	9.72	11.44	12.41	12.28	10.70
1982	11.89	11.79	12.80	12.47	9.63	9.33	8.74	9.39	11.25	10.83	13.08	12.38	11.13
1983	13.50	15.06	13.42	12.72	10.34	9.99	8.70	9.96	9.48	11.39	11.67	12.82	11.59
1984	11.60	11.85	12.17	11.86	9.80	7.97	8.08	9.49	11.48	13.58	12.50	12.91	11.11
1985	11.83	11.41	11.69	10.04	6.38	6.00	5.47	7.35	9.55	10.08	10.74	10.97	9.29
1986	11.36	11.38	11.55	10.03	7.59	5.93	6.26	7.56	9.05	9.34	9.42	10.18	9.14
1987	10.85	11.81	11.37	10.99	8.34	7.12	6.56	8.28	10.54	11.21	12.27	12.64	10.17
1988	11.99	12.46	12.15	12.07	10.45	8.48	8.78	8.01	10.65	11.88	12.03	11.92	10.91
1989	11.47	11.80	10.94	10.97	10.07	7.81	7.52	7.54	8.86	11.00	10.91	10.93	9.99
1990	11.10	11.21	10.90	9.06	8.45	8.46	6.90	7.68	8.92	10.42	11.78	11.48	9.70
1991	11.95	11.40	11.38	10.97	9.17	8.90	8.73	9.40	9.80	10.31	11.96	11.17	10.43
1992	11.87	11.23	10.83	9.98	9.39	9.69	9.96	10.52	11.96	11.88	12.09	12.92	11.03
1993	12.82	13.17	13.15	13.22	8.76	7.47	8.09	10.05	11.48	12.63	13.11	12.94	11.41
1994	13.33	13.06	13.55	13.15	10.61	7.49	6.65	8.36	11.02	12.04	13.46	13.51	11.35
1995	14.03	12.97	12.94	11.02	9.17	7.93	7.81	9.14	10.63	11.97	12.40	13.21	11.10
1996	12.76	13.56	12.41	12.41	9.83	7.17	6.84	9.07	10.47	12.00	12.88	12.34	10.98
1997	12.84	12.21	12.13	10.84	9.21	7.46	7.02	8.89	10.50	11.66	12.73	13.28	10.73
1998	13.76	13.71	13.52	12.83	8.45	8.01	8.20	10.23	10.30	11.75	12.64	12.85	11.35
1999	13.11	12.53	13.21	12.37	10.78	7.86	6.99	8.98	10.29	12.74	12.82	12.38	11.17
2000	12.68	13.38	12.43	12.08	10.07	7.96	8.22	9.44	9.44	12.35	11.70	13.31	11.09
2001	12.38	13.23	13.25	12.36	10.10	8.41	8.47	9.18	12.74	13.69	13.93	13.45	11.77
2002	13.50	12.64	12.85	12.67	9.98	9.13	10.13	8.90	11.81	12.56	13.00	12.88	11.67
2003	13.68	13.92	13.15	12.50	10.81	9.54	8.40	9.46	10.12	11.47	12.35	12.91	11.53
2004	13.21	13.96	13.05	12.11	9.99	6.80	7.97	8.36	10.45	12.73	12.89	13.16	11.22
2005	13.38	13.49	13.67	12.05	9.21	7.73	8.16	9.09	9.84	12.42	12.55	13.41	11.25
2006	12.78	12.81	12.97	11.82	8.37	7.73	7.19	9.57	11.38	12.43	12.88	12.45	11.03
2007	13.62	12.93	13.14	11.82	9.57	8.68	7.68	8.97	9.25	11.49	12.67	13.21	11.09
2008	12.86	12.62	12.00	11.10	8.99	7.63	7.63	9.34	10.83	12.45	12.27	12.56	10.86
2009	12.54	12.57	12.40	11.39	9.22	7.90	7.76	9.46	10.49	12.58	13.19	13.09	11.05
2010	12.48	12.65	12.56	12.44	10.65	9.25	9.15	9.59	10.47	11.66	12.94	12.66	11.38
2011	12.93	12.34	12.41	12.49	10.43	8.35	8.37	9.30	11.18	12.53	13.34	12.07	11.31
2012	12.46	11.70	11.99	11.69	9.78	8.04	7.59	9.04	9.50	12.68	13.54	12.76	10.90
2013	12.10	12.64	12.65	10.97	9.87	7.99	7.85	9.27	10.72	11.76	12.84	12.33	10.92
2014	12.43	12.33	12.06	11.51	9.64	9.78	8.84	9.84	9.67	13.11	14.12	13.18	11.38
2015	12.01	12.64	12.30	11.08	9.95	9.83	8.80	10.39	11.97	13.00	13.65	12.65	11.52
2016	13.88	13.15	13.77	12.30	10.53	9.33	9.44	10.59	12.11	12.22	13.43	12.77	11.96
2017	12.59	12.45	12.54	11.39	10.15	9.35	9.83	10.42	12.05	12.44	13.27	12.79	11.61
2018	11.96	12.59	12.18	11.75	10.10	8.16	8.65	9.78	11.96	12.25	13.90	12.48	11.31
2019	12.78	12.32	12.47	11.79	10.33	9.37	9.56	10.24	12.00	12.71	13.16	12.81	11.63
2020	12.90	12.88	12.98	11.70	10.35	10.36	10.09	10.53	11.69	12.53	13.70	12.70	11.87
2021	12.17	12.45	12.17	11.14	9.78	9.30	9.01	10.38	11.87	13.16	12.79	12.93	11.43
2022	12.09	12.10	12.10	12.10	10.34	8.82	9.48	10.92	12.28	13.53	14.02	12.92	11.73
2023	12.54	12.84	12.42	11.62	9.96	8.72	10.60	11.09	12.57	14.61	13.91	13.90	12.07
2024	13.91	13.58	13.20	12.99	11.76	10.08	9.79	11.13	11.49	13.14	13.10	12.71	12.24

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
PROM.	12.59	12.61	12.48	11.70	9.68	8.40	8.28	9.38	10.77	12.13	12.73	12.62
MÁXIMO	14.03	15.06	13.77	13.22	11.76	10.36	10.60	11.13	12.74	14.61	14.12	13.90
MÍNIMO	10.85	11.21	10.83	9.06	6.38	5.93	5.47	7.35	8.86	9.34	9.42	10.18
DES. EST.	0.78	0.81	0.74	0.90	0.94	1.03	1.14	0.95	1.06	1.01	0.92	0.73

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 30. *Datos Incompletos de Temperatura Media registrada de la Estación Calca*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-CALCA

ESTACIÓN: CALCA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-1998	**DISTRITO:** CALCA
TIPO DE DATOS: PRIMARIOS	**LATITUD:** 13° 20' 0.000" S
ALTITUD: 2926 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 0.000" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981			16.33	13.72	12.87	11.57	11.54	12.81	13.78	14.62			13.41
1982													0.00
1983													0.00
1984													0.00
1985													0.00
1986													0.00
1987								13.85	15.13		15.99	15.03	15.00
1988	14.78	15.17	14.53	14.23	12.92	11.75	11.39	13.63	14.83			15.19	13.84
1989	14.24	14.33	14.25	13.67	12.08	11.14	10.66	12.11	14.06	14.12	14.72	14.59	13.33
1990	14.54	14.28	13.95	13.22	12.26	10.97	10.94	11.83	14.21	15.13	15.08	14.23	13.39
1991	14.25	13.99	13.71	12.68	12.09	10.38	9.84	9.82	11.89	13.54	13.85	14.44	12.54
1992	13.22	13.28	13.35	13.25	12.13	10.33	8.99	10.88	12.94	13.06	13.81	13.43	12.39
1993	12.56	12.57	12.22	11.97	11.79	9.80	9.79	10.11	11.37	13.07	13.81	13.20	11.86
1994	12.40	12.46	12.06	11.81	10.89	9.26	9.45	10.24	15.25	15.85	16.69	16.17	12.71
1995	16.03	15.83	15.14	14.96	14.18	12.97	13.28	14.74	15.15	16.72	16.74	16.04	15.15
1996	15.21	15.27	15.42	14.54	14.14	12.37	11.69	13.30	15.33	15.70		15.64	14.42
1997		13.53	13.41	12.97	14.00	12.87	12.98	13.08	15.20	16.87	17.19	17.07	14.47
1998	16.98	17.46	17.08	17.08	15.29	13.59	13.64	15.20	15.93	16.12	16.51	15.89	15.90
1999													0.00
2000													0.00
2001													0.00
2002													0.00
2003													0.00
2004													0.00
2005													0.00
2006													0.00
2007													0.00
2008													0.00
2009													0.00
2010													0.00
2011													0.00
2012													0.00
2013													0.00
2014													0.00
2015													0.00
2016													0.00
2017													0.00
2018													0.00
2019													0.00
2020													0.00
2021													0.00
2022													0.00
2023													0.00
2024													0.00

NÚMERO	10	11	12	12	12	12	12	13	13	11	10	12
PROM.	14.42	14.38	14.29	13.68	12.89	11.42	11.18	12.43	14.24	14.98	15.44	15.08
MÁXIMO	16.98	17.46	17.08	17.08	15.29	13.59	13.64	15.20	15.93	16.87	17.19	17.07
MÍNIMO	12.40	12.46	12.06	11.81	10.89	9.26	8.99	9.82	11.37	13.06	13.81	13.20
DES. EST.	1.45	1.49	1.52	1.43	1.27	1.35	1.54	1.77	1.40	1.40	1.34	1.16

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 31. *Datos Completos de Temperatura Media registrada de la Estación Calca*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN-CALCA

ESTACIÓN: CALCA	**DEPARTAMENTO:** CUSCO
PARÁMETRO: TEMPERATURA MEDIA M (°C)	**PROVINCIA:** CALCA
PERIODO: 1981-2024	**DISTRITO:** CALCA
TIPO DE DATOS: TRATADOS	**LATITUD:** 13° 20' 0.000" S
ALTITUD: 2926 msnm	**LONGITUD:** 71° 57' 0.000" W

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	14.62	15.78	16.33	13.72	12.87	11.57	11.54	12.81	13.78	14.62	14.29	13.47	13.78
1982	12.59	13.41	12.73	12.76	12.23	10.93	10.43	13.64	14.56	13.73	14.63	15.07	13.06
1983	17.01	18.42	16.99	16.73	13.25	13.59	12.06	14.02	15.38	15.58	16.55	14.56	15.35
1984	14.02	14.27	15.13	15.54	14.86	13.88	12.75	14.12	16.55	16.95	16.68	16.73	15.12
1985	15.84	16.26	14.22	14.27	13.19	12.14	11.95	12.33	15.14	14.38	13.81	14.28	13.98
1986	13.90	13.09	13.58	13.84	12.67	11.91	10.54	13.16	14.63	14.17	14.17	15.71	13.45
1987	15.40	14.68	14.49	14.33	11.98	11.63	11.91	13.85	15.13	15.87	15.99	15.03	14.19
1988	14.78	15.17	14.53	14.23	12.92	11.75	11.39	13.63	14.83	15.63	16.57	15.19	14.22
1989	14.24	14.33	14.25	13.67	12.08	11.14	10.66	12.11	14.06	14.12	14.72	14.59	13.33
1990	14.54	14.28	13.95	13.22	12.26	10.97	10.94	11.83	14.21	15.13	15.08	14.23	13.39
1991	14.25	13.99	13.71	12.68	12.09	10.38	9.84	9.82	11.89	13.54	13.85	14.44	12.54
1992	13.22	13.28	13.35	13.25	12.13	10.33	8.99	10.88	12.94	13.06	13.81	13.43	12.39
1993	12.56	12.57	12.22	11.97	11.79	9.80	9.79	10.11	11.37	13.07	13.81	13.20	11.86
1994	12.40	12.46	12.06	11.81	10.89	9.26	9.45	10.24	15.25	15.85	16.69	16.17	12.71
1995	16.03	15.83	15.14	14.96	14.18	12.97	13.28	14.74	15.15	16.72	16.74	16.04	15.15
1996	15.21	15.27	15.42	14.54	14.14	12.37	11.69	13.30	15.33	15.70	16.24	15.64	14.57
1997	15.21	13.53	13.41	12.97	14.00	12.87	12.98	13.08	15.20	16.87	17.19	17.07	14.53
1998	16.98	17.46	17.08	17.08	15.29	13.59	13.64	15.20	15.93	16.12	16.51	15.89	15.90
1999	16.32	14.48	14.60	14.34	13.11	12.87	10.76	12.22	15.23	16.52	15.94	13.94	14.19
2000	12.38	12.77	13.34	14.06	13.58	11.72	11.00	14.08	15.82	15.56	14.71	14.99	13.67
2001	12.40	12.51	12.83	10.80	13.30	11.44	11.04	11.04	15.01	16.89	16.96	15.65	13.32
2002	14.95	13.71	13.13	14.16	13.49	12.37	11.14	11.77	15.04	15.82	11.91	14.41	13.49
2003	13.63	15.43	16.31	15.68	14.56	12.96	12.28	12.68	15.28	15.40	16.15	16.35	14.73
2004	14.95	14.51	13.65	14.81	12.93	11.35	10.45	10.30	14.35	15.76	16.43	16.27	13.81
2005	15.48	15.61	13.20	14.63	12.28	12.86	12.65	16.46	14.73	15.68	16.55	16.95	14.76
2006	15.02	16.95	16.78	16.07	12.97	12.79	11.55	16.56	15.66	14.13	13.65	14.35	14.71
2007	14.73	15.88	15.77	15.00	13.83	12.67	12.23	16.95	14.47	14.51	16.42	15.43	14.82
2008	14.17	14.48	15.22	15.17	12.80	12.94	12.40	17.37	15.93	16.42	15.59	15.50	14.83
2009	15.49	15.42	15.11	16.56	12.94	13.68	12.97	17.55	16.59	16.09	16.28	16.04	15.39
2010	16.76	19.29	18.02	18.29	11.61	13.33	13.27	17.13	16.33	17.38	16.81	15.97	16.18
2011	15.39	14.74	13.78	14.02	13.37	14.53	12.73	17.16	15.29	15.42	16.11	14.14	14.72
2012	14.29	14.58	14.49	14.56	11.99	12.85	13.07	15.29	15.64	17.91	16.10	15.09	14.66
2013	14.60	15.95	15.57	15.58	12.15	10.91	10.64	14.15	16.04	15.93	16.24	15.31	14.42
2014	11.59	12.87	12.88	13.10	13.22	13.49	11.88	11.60	14.67	16.93	16.55	15.98	13.73
2015	15.79	15.91	14.76	15.41	14.78	14.14	12.16	10.98	14.14	15.36	12.05	13.93	14.12
2016	14.29	14.36	13.54	11.64	12.72	11.12	10.57	11.18	12.76	13.35	16.35	15.64	13.13
2017	14.87	15.06	16.12	15.28	14.79	14.80	13.77	17.42	16.58	14.87	17.65	16.82	15.67
2018	16.17	15.65	15.25	15.72	13.69	11.79	10.52	11.67	15.13	16.20	15.57	15.66	14.42
2019	14.22	14.50	15.44	14.49	11.21	12.00	11.90	14.04	15.76	17.38	15.33	16.50	14.40
2020	15.19	14.71	14.72	15.08	13.89	13.97	13.15	16.41	16.64	17.38	18.70	15.94	15.48
2021	16.03	15.99	14.62	15.02	12.44	13.65	12.50	17.36	16.63	17.97	15.33	15.40	15.25
2022	13.25	14.05	13.35	14.11	11.91	12.51	11.61	17.13	16.69	16.27	17.48	14.82	14.43
2023	14.23	15.43	15.81	15.14	13.98	11.38	12.70	17.28	16.42	17.24	16.97	16.64	15.27
2024	15.45	16.23	16.71	15.47	12.13	12.73	12.06	17.59	17.20	17.87	16.54	15.92	15.49

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
PROM.	14.65	14.89	14.63	14.45	13.01	12.32	11.70	13.91	15.12	15.71	15.72	15.33
MÁXIMO	17.01	19.29	18.02	18.29	15.29	14.80	13.77	17.59	17.20	17.97	18.70	17.07
MÍNIMO	11.59	12.46	12.06	10.80	10.89	9.26	8.99	9.82	11.37	13.06	11.91	13.20
DES. EST.	1.29	1.49	1.41	1.48	1.03	1.26	1.17	2.47	1.24	1.33	1.42	1.00

Nota. Elaboración propia basada en información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

TEMPERATURA MEDIA CALCULADA EN LA CUENCA PIURAY

Anexo 32. *Datos de Temperatura media mensual estimados para la estación de la cuenca Piuray (1981-2024) mediante interpolación por NWS a partir de las estaciones cercanas*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL - CUENCA PIURAY

ESTACIÓN:	CUENCA PIURAY	**DEPARTAMENTO:**	CUSCO
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	**PROVINCIA:**	URUBAMBA
PERIODO:	1981-2024	**DISTRITO:**	CHINCHERO
TIPO DE DATOS:	TRATADOS	**LATITUD:**	-13.4223604
ALTITUD:	3926.14 msnm	**LONGITUD:**	-72.01658662

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1981	13.98	14.38	14.59	13.06	12.60	11.32	11.18	11.69	12.72	14.01	14.40	13.76	13.14
1982	13.44	13.70	13.46	13.01	11.91	11.18	10.89	12.33	13.53	13.95	14.30	14.58	13.02
1983	15.61	16.19	15.58	15.30	13.04	12.31	11.73	13.10	14.09	14.71	15.00	14.34	14.25
1984	13.57	13.83	14.24	13.92	13.00	12.03	11.24	12.37	14.25	15.11	14.92	15.03	13.63
1985	14.65	14.54	14.23	13.50	12.01	10.43	10.52	11.55	13.25	13.78	13.74	14.12	13.03
1986	13.87	13.51	13.49	13.19	12.04	10.96	10.10	12.09	13.43	14.03	14.25	15.04	13.00
1987	14.44	14.59	14.32	13.92	12.17	10.99	11.02	12.77	14.29	14.81	15.40	14.98	13.64
1988	14.45	14.57	14.25	13.72	12.77	11.19	11.10	12.56	14.12	15.30	15.13	14.52	13.64
1989	14.04	13.81	13.69	13.04	12.31	11.31	10.56	11.81	13.42	14.27	14.29	14.72	13.10
1990	14.40	14.04	13.60	13.17	12.28	10.64	10.78	11.09	13.40	14.10	14.48	14.16	13.01
1991	14.49	14.07	13.90	12.99	12.16	10.99	10.12	10.44	11.98	13.61	13.73	13.89	12.70
1992	13.68	13.68	13.51	13.16	11.96	10.71	9.67	11.17	13.32	13.27	14.33	14.01	12.71
1993	13.39	13.65	13.14	13.09	11.91	10.24	10.35	10.69	12.31	13.94	14.45	14.10	12.61
1994	13.49	13.58	13.41	12.88	11.91	9.90	9.82	10.32	13.60	14.37	15.11	15.17	12.80
1995	15.14	14.75	14.23	13.91	12.62	11.73	12.14	13.31	13.63	15.06	15.08	14.69	13.86
1996	14.28	14.41	14.42	13.88	13.02	11.21	10.97	12.47	13.99	14.61	14.98	14.70	13.58
1997	14.58	13.37	13.58	12.70	12.34	11.36	11.39	11.92	13.94	15.68	15.55	15.74	13.51
1998	15.82	16.15	15.78	15.57	13.44	12.12	12.10	13.70	14.61	15.13	15.27	14.86	14.54
1999	15.09	13.82	13.84	13.54	12.73	11.71	10.21	11.92	13.69	14.60	15.15	14.09	13.37
2000	13.30	13.21	13.40	13.91	12.82	11.26	10.85	12.66	14.19	14.28	15.08	14.55	13.29
2001	13.18	13.16	13.53	12.42	12.74	11.19	10.94	10.89	13.88	15.50	15.85	14.99	13.19
2002	14.92	13.90	13.92	13.88	12.61	11.91	10.77	11.58	13.89	14.84	13.94	14.78	13.41
2003	14.45	15.10	14.95	14.40	13.40	12.01	11.20	12.07	13.57	14.92	15.43	15.12	13.89
2004	14.51	14.23	14.31	14.32	12.94	11.10	10.62	10.85	13.72	15.19	15.78	15.21	13.56
2005	15.16	15.06	14.57	14.41	12.64	11.95	11.74	13.72	13.63	14.45	15.30	15.68	14.03
2006	14.30	15.55	15.25	14.22	12.30	12.15	10.85	13.57	14.37	14.49	14.22	14.44	13.81
2007	15.19	14.68	14.53	14.00	13.11	11.89	11.37	13.78	13.17	14.13	15.38	14.54	13.82
2008	14.13	14.47	13.86	14.03	12.52	12.33	11.90	14.40	14.22	15.06	15.13	14.72	13.90
2009	14.65	14.36	14.20	14.96	12.88	12.40	11.91	14.35	14.70	15.63	15.86	15.30	14.27
2010	15.47	16.51	16.01	15.55	13.03	12.95	13.02	14.69	15.41	16.08	16.32	15.59	15.05
2011	15.42	14.58	14.63	14.35	12.99	13.40	11.80	14.06	14.27	15.11	15.94	14.07	14.22
2012	14.39	14.11	14.25	14.02	12.54	11.97	11.94	13.28	14.23	16.28	16.08	15.03	14.01
2013	14.46	15.18	15.26	14.38	12.84	10.95	10.87	12.73	14.27	14.90	15.36	14.75	13.83
2014	13.68	13.73	13.83	13.95	12.70	12.75	11.62	11.94	13.86	15.42	16.17	15.64	13.77
2015	14.86	15.03	14.59	14.17	13.53	12.83	11.57	11.91	14.11	14.22	13.84	13.76	13.70
2016	15.32	14.98	14.95	13.61	12.85	11.58	11.12	12.27	13.59	13.90	15.79	14.87	13.74
2017	14.59	13.98	14.13	13.77	13.32	13.04	12.33	14.55	14.57	14.61	16.47	15.90	14.27
2018	15.18	14.96	14.59	14.54	12.98	11.23	10.98	11.96	14.07	14.78	15.72	15.46	13.87
2019	14.69	14.49	14.59	13.97	11.95	11.81	12.00	13.61	14.55	15.29	15.10	15.43	13.96
2020	14.73	14.53	14.88	14.19	13.08	13.04	12.45	14.18	15.24	16.40	17.10	15.26	14.59
2021	15.24	15.15	14.62	14.46	12.95	13.05	12.41	14.51	14.84	17.15	15.39	15.06	14.57
2022	14.02	13.99	13.69	13.79	12.50	11.90	11.84	14.26	14.80	15.56	15.81	14.41	13.88
2023	13.55	13.50	13.57	12.95	11.69	10.28	11.11	14.06	14.80	16.34	15.17	15.17	13.52
2024	14.81	14.77	14.76	13.65	12.81	12.41	12.15	15.28	15.32	16.07	15.29	14.97	14.36

NÚMERO	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
PROM.	14.47	14.41	14.28	13.85	12.63	11.68	11.26	12.69	13.97	14.89	15.16	14.80
MÁXIMO	15.82	16.51	16.01	15.57	13.53	13.40	13.02	15.28	15.41	17.15	17.10	15.90
MÍNIMO	13.18	13.16	13.14	12.42	11.69	9.90	9.67	10.32	11.98	13.27	13.73	13.76
DES. EST.	0.68	0.78	0.67	0.72	0.46	0.84	0.76	1.29	0.71	0.84	0.76	0.55

PRECIPITACIÓN MEDIA PROYECTADA EN LA CUENCA PIURAY

Anexo 33. *Datos de proyección mensual de precipitación bajo el escenario SSP2-4.5*

PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL PROYECTADA DE LA CUENCA - ESCENARIO SSP2-4.5													
AÑO	**ENE.**	**FEB.**	**MAR.**	**ABR.**	**MAY.**	**JUN.**	**JUL.**	**AGO.**	**SET.**	**OCT.**	**NOV.**	**DIC.**	**TOTAL**
2025	134.20	122.25	103.83	36.78	17.35	15.06	12.80	14.45	19.40	50.90	79.05	111.86	717.91
2026	137.18	122.72	124.40	45.86	15.95	14.66	14.29	13.51	19.47	51.04	78.35	107.21	744.63
2027	137.40	129.42	113.37	39.75	16.37	14.23	14.38	15.96	20.67	49.60	98.81	119.05	769.00
2028	161.91	129.92	104.77	41.25	19.07	10.71	11.00	14.72	16.40	57.33	83.49	111.79	762.37
2029	145.69	131.22	117.15	44.08	18.61	10.96	14.22	16.35	20.34	64.37	91.55	118.78	793.31
2030	150.06	109.95	117.92	43.08	17.14	14.42	9.44	14.46	18.77	52.72	88.88	126.04	762.88
2031	155.51	132.43	120.12	40.11	15.86	10.01	9.96	15.85	20.08	51.47	85.17	115.03	771.59
2032	136.23	149.79	129.97	44.38	18.56	14.30	14.09	16.14	21.10	56.23	87.84	119.75	808.36
2033	148.04	135.44	119.87	38.69	15.11	13.62	13.21	15.21	19.24	52.60	92.20	103.31	766.53
2034	152.57	133.36	112.66	40.84	14.96	11.86	12.92	12.67	16.90	56.07	83.92	107.23	755.95
2035	150.13	132.79	131.95	44.79	18.24	15.94	12.22	12.84	19.32	52.14	93.30	124.20	807.85
2036	139.14	137.40	126.20	39.98	15.84	13.15	11.09	14.43	19.42	53.24	84.56	106.51	760.95
2037	172.45	121.25	133.66	44.17	16.56	13.74	13.77	14.19	17.97	51.30	93.16	121.34	813.54
2038	142.18	113.05	112.57	42.70	15.90	14.58	12.44	13.41	20.81	52.86	87.86	110.35	738.69
2039	143.42	116.36	118.65	43.13	18.84	13.01	13.44	15.58	18.20	51.90	93.00	114.04	759.57
2040	136.59	135.21	104.81	37.89	17.21	14.43	11.89	12.92	22.06	54.33	83.91	114.62	745.87
2041	151.53	113.65	111.56	41.07	17.84	14.00	14.56	12.49	19.02	59.14	83.55	119.38	757.79
2042	133.89	125.56	124.41	40.23	19.78	12.80	12.25	14.53	17.91	50.78	94.15	123.06	769.35
2043	153.39	120.07	101.72	42.77	16.49	12.13	11.53	13.30	21.17	57.38	104.33	113.30	767.57
2044	146.03	133.29	128.24	47.09	18.77	12.35	14.03	14.67	20.24	59.12	96.90	127.56	818.27
2045	151.70	121.68	134.25	43.95	16.44	12.63	12.64	13.90	18.86	61.61	95.36	105.24	788.25
2046	158.81	131.40	107.10	39.02	17.75	12.71	11.39	12.89	21.15	57.91	102.47	122.28	794.88
2047	147.81	135.37	112.09	46.73	18.03	15.72	11.83	14.92	18.26	58.48	85.23	116.22	780.69
2048	129.38	140.08	121.15	41.53	18.11	12.16	13.12	16.43	20.03	50.72	90.66	102.43	755.79
2049	143.88	133.72	123.99	45.12	19.93	11.67	12.91	14.18	20.20	56.26	71.64	127.02	780.50
2050	167.58	142.58	126.69	40.90	17.44	13.88	11.96	15.75	20.59	63.43	104.65	112.37	837.80
2051	157.58	119.60	120.02	45.07	17.45	13.10	13.95	16.56	19.88	54.36	92.82	111.78	782.16
2052	150.28	127.29	118.87	39.02	15.48	13.29	12.48	13.83	20.12	56.08	113.42	128.30	808.45
2053	138.23	125.15	112.53	42.76	16.34	12.76	14.46	15.60	19.31	55.46	86.65	128.02	767.26
2054	143.62	134.93	124.46	47.29	15.70	13.38	13.96	17.63	18.91	57.27	89.41	117.78	794.33
2055	161.33	134.10	116.43	44.99	17.45	12.12	12.79	14.89	22.07	53.60	93.86	126.02	809.64
2056	156.65	143.28	134.16	43.02	16.45	12.57	11.29	15.63	20.98	56.13	83.37	124.26	817.78
2057	147.29	145.86	118.86	43.74	18.58	13.48	14.17	16.85	19.99	53.75	105.60	127.23	825.39
2058	159.25	127.20	110.76	44.26	18.37	14.61	13.09	13.59	17.76	54.78	96.46	113.02	783.14
2059	163.45	125.01	119.22	41.51	15.39	13.56	12.10	13.59	20.63	50.49	92.75	119.96	787.64
2060	158.70	135.74	132.66	43.27	17.10	12.51	10.78	16.17	19.74	58.36	111.18	116.47	832.68
2061	153.16	115.24	116.86	43.52	16.98	13.84	11.85	15.53	18.51	44.54	93.75	121.05	764.82
2062	162.90	123.69	120.35	46.13	18.89	14.81	13.47	14.97	19.69	58.22	75.93	112.23	781.25
2063	152.61	141.59	108.25	36.82	16.24	13.90	13.42	15.28	19.63	56.09	94.60	119.47	787.89
2064	146.83	128.69	114.80	44.74	17.23	11.04	12.83	16.06	22.41	54.17	93.68	125.25	787.72
2065	154.24	131.78	124.62	41.87	18.99	12.42	11.21	15.27	17.82	49.45	93.42	121.01	792.10
2066	147.54	142.48	118.53	43.56	17.58	13.13	14.02	16.75	19.09	53.04	93.29	118.79	797.80
2067	156.23	142.53	134.04	44.84	17.21	14.91	14.42	16.12	19.22	59.65	99.09	136.97	855.22
2068	157.91	151.05	118.97	46.12	19.63	13.79	13.93	15.38	19.47	55.21	103.42	125.16	840.03
2069	176.14	130.79	116.54	37.50	15.71	14.76	10.57	14.09	21.61	55.06	89.47	132.12	814.36
2070	145.11	154.20	101.27	44.76	18.50	13.33	13.18	13.82	19.98	59.86	97.78	115.52	797.30
2071	152.24	131.92	109.74	53.19	17.59	14.56	12.17	14.01	19.75	46.72	95.40	116.75	784.06
2072	153.89	140.63	138.49	42.72	17.12	13.49	13.02	14.34	17.58	55.77	80.17	121.49	808.70
2073	142.77	135.07	117.47	38.86	18.23	14.30	12.25	15.88	19.88	49.28	97.12	136.02	797.13
2074	162.41	124.07	117.74	40.84	17.14	15.20	13.72	15.38	17.66	55.88	106.22	119.84	806.10
2075	152.67	145.47	112.25	45.28	15.84	15.01	13.10	14.75	19.73	60.77	94.10	110.02	798.98

2076	142.81	122.87	107.07	48.52	20.92	15.01	15.20	15.65	20.36	50.88	95.05	144.25	798.59
2077	165.87	133.86	111.34	45.24	15.89	13.42	12.78	16.29	22.75	65.65	96.67	118.71	818.47
2078	171.42	118.46	105.40	46.03	16.48	14.65	12.21	14.56	18.61	63.30	92.05	120.66	793.82
2079	173.35	142.98	113.90	41.95	21.47	13.45	12.68	14.55	20.44	52.89	102.00	129.55	839.20
2080	137.98	155.23	108.72	41.10	20.67	14.54	12.19	14.86	22.67	68.15	100.65	133.31	830.06
2081	147.22	124.03	114.12	33.48	18.37	11.54	13.23	16.52	20.93	58.00	104.36	126.68	788.49
2082	160.84	142.40	130.80	51.17	18.42	14.11	13.92	14.19	20.16	51.88	98.33	133.84	850.08
2083	152.52	132.47	117.72	45.65	22.23	14.09	13.41	17.05	19.71	58.44	91.72	142.12	827.14
2084	162.50	133.74	117.90	40.39	14.71	15.89	15.55	17.32	22.26	58.34	85.78	119.16	803.53
2085	152.49	148.68	110.52	35.31	16.71	12.97	13.02	13.56	20.06	60.20	93.71	128.57	805.78
2086	157.50	125.99	101.83	44.91	16.78	12.11	12.35	17.91	20.19	58.84	94.32	133.94	796.68
2087	161.56	129.18	126.04	38.09	17.72	15.46	11.01	16.83	18.34	56.93	95.03	130.84	817.02
2088	145.02	147.83	115.90	47.78	18.19	13.49	13.27	13.98	21.36	57.79	89.59	128.73	812.93
2089	172.31	134.69	131.40	42.13	18.89	11.40	13.55	16.35	17.94	55.23	87.48	133.41	834.76
2090	155.91	141.76	107.72	45.31	17.30	12.59	12.58	13.24	20.50	55.24	96.87	125.38	804.42
2091	166.61	146.38	134.92	38.46	17.47	14.18	13.90	17.04	20.10	61.10	90.52	120.91	841.60
2092	183.23	149.61	120.33	40.25	18.15	15.14	14.35	16.66	21.81	61.22	105.22	121.86	867.84
2093	152.17	139.41	118.31	47.69	19.63	15.02	13.55	14.94	19.95	58.62	107.13	134.91	841.33
2094	152.62	126.71	118.15	41.01	18.44	14.97	11.59	17.67	19.10	61.76	88.11	136.79	806.92
2095	159.80	148.92	129.39	45.82	17.83	15.10	13.25	15.95	20.19	61.43	85.16	116.82	829.66
2096	143.29	147.83	114.37	36.54	16.90	12.96	14.48	14.96	19.99	57.26	98.95	122.05	799.58
2097	150.80	141.66	117.48	40.18	15.78	14.60	14.60	14.74	19.08	60.69	99.86	131.58	821.04
2098	159.65	118.04	109.18	42.56	18.82	12.59	14.70	13.60	19.39	52.98	92.79	114.10	768.38
2099	151.12	122.46	122.58	44.57	17.55	12.00	12.37	13.08	23.14	56.90	104.91	127.60	808.27
2100	159.59	137.69	114.76	43.02	18.40	10.81	14.90	14.58	20.48	54.97	119.57	117.93	826.68

NÚMERO	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
PROM.	152.87	133.16	118.17	42.75	17.59	13.51	12.95	15.05	19.85	55.99	93.72	121.55
MÁXIMO	183.23	155.23	138.49	53.19	22.23	15.94	15.55	17.91	23.14	68.15	119.57	144.25
MÍNIMO	129.38	109.95	101.27	33.48	14.71	10.01	9.44	12.49	16.40	44.54	71.64	102.43
DES. EST.	10.72	10.53	8.92	3.52	1.51	1.33	1.24	1.32	1.37	4.37	8.61	8.99

Nota. Elaboración propia a partir de datos del Copernicus Climate Data Store (CDS, 2025).

Anexo 34. *Datos de proyección mensual de precipitación bajo el escenario SSP5-8.5*

PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL PROYECTADA DE LA CUENCA - ESCENARIO SSP5-8.5													
AÑO	**ENE.**	**FEB.**	**MAR.**	**ABR.**	**MAY.**	**JUN.**	**JUL.**	**AGO.**	**SET.**	**OCT.**	**NOV.**	**DIC.**	**TOTAL**
2025	118.57	130.68	107.18	35.83	16.81	12.44	12.36	14.56	18.78	59.10	88.10	109.15	723.56
2026	145.61	118.86	111.39	39.61	17.59	12.69	13.61	15.17	20.91	53.04	81.10	109.25	738.82
2027	138.26	106.12	107.66	42.23	18.24	13.93	10.77	15.26	21.82	53.90	78.88	122.78	729.86
2028	138.42	120.48	95.04	42.35	13.34	12.43	11.34	14.56	19.12	47.93	91.26	103.48	709.75
2029	136.55	134.09	111.01	42.44	16.04	11.48	11.67	14.47	21.56	52.75	95.62	125.31	772.99
2030	128.09	119.55	113.58	40.36	18.54	12.26	14.23	16.71	20.27	46.81	74.60	98.65	703.66
2031	131.31	116.85	105.48	42.46	14.33	10.99	12.29	14.21	21.60	60.10	83.15	110.77	723.53
2032	131.84	120.03	118.48	46.97	15.22	13.65	12.36	16.08	19.56	49.43	85.15	103.55	732.32
2033	133.19	116.36	123.12	34.56	15.16	12.74	14.62	12.97	18.18	51.12	86.09	120.53	738.63
2034	144.96	123.48	127.84	39.08	17.46	12.72	11.74	12.21	19.43	54.97	83.39	102.36	749.63
2035	128.86	113.38	100.34	41.41	15.65	12.49	13.56	15.28	18.93	43.28	82.32	96.60	682.12
2036	141.71	116.88	113.51	41.68	15.16	13.07	12.35	14.66	20.41	46.89	70.60	108.33	715.24
2037	143.23	134.03	120.70	41.59	15.92	13.18	12.20	12.13	18.14	45.92	86.62	117.43	761.08
2038	136.22	124.48	107.79	40.92	17.10	13.30	11.15	15.55	21.48	58.63	82.25	89.40	718.27
2039	140.84	133.20	118.73	44.51	15.38	12.04	12.44	14.44	18.36	54.38	83.44	109.67	757.43
2040	140.50	136.90	115.79	39.44	17.54	14.25	12.06	14.58	19.49	55.33	87.70	107.15	760.73
2041	147.31	115.29	103.57	44.72	18.85	10.89	12.73	13.86	21.62	57.17	83.07	107.21	736.29
2042	129.65	123.49	104.03	43.96	16.89	14.12	13.42	14.36	20.50	58.01	88.94	111.77	739.12
2043	132.73	125.10	129.58	43.31	14.96	14.07	10.84	14.82	20.37	56.93	96.79	128.02	787.51
2044	129.17	111.89	87.54	53.35	18.62	11.91	13.26	14.50	17.66	61.46	91.29	134.38	745.02
2045	154.41	129.47	105.61	42.32	16.10	12.22	11.60	18.41	18.04	58.64	86.81	128.72	782.34
2046	158.08	129.69	107.02	41.49	19.67	12.20	13.46	15.88	20.61	52.29	84.45	107.71	762.54
2047	130.37	137.27	106.06	47.01	20.10	14.08	13.02	13.28	19.06	53.52	92.43	121.11	767.30
2048	153.93	127.90	126.81	35.89	19.15	14.66	14.57	16.62	21.70	56.95	97.21	127.51	812.87
2049	148.92	144.21	110.47	50.26	15.94	13.87	13.50	16.65	19.08	54.14	94.41	129.34	810.79
2050	138.26	113.63	121.62	41.70	17.58	13.79	13.85	14.32	18.61	54.56	91.76	117.51	757.19
2051	146.50	135.38	110.68	36.69	18.43	14.26	11.71	15.36	19.83	52.77	87.15	121.87	770.61
2052	144.15	127.06	124.63	37.76	15.22	13.60	12.23	14.30	20.17	63.08	91.69	122.36	786.25
2053	134.42	133.68	115.66	43.23	16.40	12.06	12.60	14.67	19.38	56.71	94.71	111.30	764.81
2054	140.45	116.70	117.29	41.43	14.98	12.24	12.73	13.52	17.04	54.83	90.54	117.21	748.96
2055	157.44	121.06	122.04	42.28	16.86	12.74	13.68	16.45	20.24	53.23	96.11	117.19	789.32
2056	153.10	132.13	111.00	39.63	19.34	12.71	12.24	13.77	20.62	56.73	94.36	120.00	785.62
2057	152.13	117.97	127.72	44.63	18.63	12.72	12.24	14.34	21.75	55.92	98.99	138.22	815.25
2058	137.97	133.14	124.88	36.52	17.10	13.15	11.01	16.38	19.51	57.37	91.00	119.50	777.54
2059	142.27	138.28	114.57	45.94	18.39	12.93	12.92	14.57	17.83	54.55	93.13	127.99	793.35
2060	165.87	133.17	115.86	43.62	18.40	12.82	13.43	15.81	19.64	57.26	94.01	126.76	816.65
2061	154.96	137.77	96.29	41.36	17.42	14.73	14.72	14.68	22.32	55.22	96.38	119.10	784.95
2062	150.83	125.56	122.18	42.40	19.11	13.08	11.57	14.22	18.74	55.23	99.05	120.75	792.73
2063	160.64	134.73	117.03	43.92	17.47	14.40	12.38	14.89	19.70	43.54	95.85	110.65	785.19
2064	160.01	150.05	112.12	43.06	15.92	15.27	11.69	13.46	18.14	49.62	98.62	122.18	810.12
2065	160.84	133.37	112.59	40.77	18.42	14.64	13.12	15.24	20.35	57.18	99.67	118.61	804.79
2066	146.61	132.35	123.38	40.35	19.92	13.09	12.43	13.38	16.54	56.94	104.13	131.34	810.45
2067	133.58	131.56	114.10	41.92	15.96	11.19	12.50	15.85	21.65	60.57	91.57	117.98	768.42
2068	152.46	130.66	146.90	40.81	19.73	13.31	14.71	17.55	18.58	61.19	89.74	132.28	837.91
2069	170.08	128.53	129.58	43.80	18.81	14.27	11.67	14.35	20.23	59.18	100.30	118.89	829.68
2070	149.45	152.83	118.23	38.79	18.52	14.11	13.13	17.24	19.90	54.18	90.75	140.15	827.28
2071	163.34	136.70	118.81	42.07	16.67	14.41	14.42	13.36	18.83	57.49	101.51	120.00	817.59
2072	159.25	141.79	126.18	45.01	14.50	12.29	14.39	16.39	19.77	56.62	98.10	124.62	828.90
2073	169.89	153.03	111.60	46.62	17.44	13.01	11.84	13.31	18.77	55.72	88.41	135.29	834.93
2074	155.87	139.98	136.65	48.52	18.37	15.88	12.78	13.14	19.53	52.43	91.18	126.27	830.60
2075	169.84	141.67	97.48	46.26	18.51	14.87	13.32	15.81	20.07	53.77	90.64	116.05	798.30

2076	173.46	144.76	117.23	36.58	19.55	13.71	13.25	14.90	20.36	58.26	103.25	112.23	827.53
2077	148.71	145.34	110.45	44.81	18.09	13.20	12.76	15.97	19.85	57.35	95.58	125.32	807.43
2078	166.17	116.58	117.44	43.56	18.45	12.69	13.50	14.21	20.06	60.36	95.75	127.37	806.13
2079	159.62	137.04	109.51	41.84	18.71	12.98	12.71	13.09	17.21	53.29	96.55	123.96	796.49
2080	170.93	136.99	112.58	39.97	18.66	13.20	13.83	12.71	20.93	53.17	97.36	138.60	828.92
2081	178.26	148.35	115.47	40.15	20.61	13.38	15.19	15.65	18.43	56.99	78.97	123.72	825.16
2082	148.78	142.75	119.66	46.25	18.60	14.48	12.54	14.49	19.20	61.81	87.49	120.62	806.67
2083	162.37	146.52	130.71	51.70	18.26	12.29	12.79	15.07	21.49	65.00	107.81	136.68	880.69
2084	144.37	144.28	122.73	41.82	16.52	13.16	12.89	13.40	19.67	57.81	117.37	130.73	834.75
2085	182.73	144.64	130.05	47.00	17.98	15.27	13.20	13.90	19.99	60.57	109.49	129.76	884.58
2086	184.04	135.80	125.74	44.02	19.88	13.61	13.58	12.46	15.91	61.62	90.73	134.94	852.31
2087	179.93	135.05	117.26	42.64	19.98	13.99	14.27	15.00	18.85	52.03	103.01	118.41	830.42
2088	170.83	143.48	109.05	46.74	18.88	16.04	14.30	13.69	19.28	62.23	100.96	137.25	852.73
2089	168.45	170.99	150.95	45.12	19.19	14.20	14.87	12.60	19.03	57.36	86.38	133.88	893.00
2090	181.52	145.13	145.63	47.61	17.09	14.86	13.59	15.05	20.14	71.99	101.63	122.71	896.94
2091	178.99	134.09	114.28	49.87	20.27	14.78	13.04	14.57	19.97	63.42	109.90	155.45	888.62
2092	172.86	153.08	105.37	52.16	17.01	17.30	14.12	16.40	18.01	66.10	97.60	127.74	857.74
2093	160.36	132.39	129.56	44.39	19.52	13.18	12.18	14.68	16.14	45.21	114.16	142.33	844.10
2094	169.19	144.83	145.98	45.85	19.24	12.02	14.70	14.92	20.23	59.94	99.43	145.16	891.47
2095	178.34	137.97	122.92	39.68	19.85	15.29	12.91	14.85	18.22	66.49	108.37	150.95	885.83
2096	167.57	157.86	142.90	50.36	17.96	13.08	12.65	16.83	17.84	63.44	102.80	130.21	893.51
2097	167.63	130.19	148.00	51.02	22.45	11.71	12.08	12.96	17.26	55.13	89.43	134.40	852.25
2098	162.52	151.20	114.81	46.24	17.89	14.11	14.59	13.69	15.86	56.19	110.68	138.14	855.92
2099	157.74	148.48	122.90	44.46	19.05	14.79	12.66	15.96	18.36	51.40	109.26	126.60	841.66
2100	181.70	138.71	131.73	51.77	17.32	15.19	10.20	15.57	19.59	66.54	103.56	128.53	880.39

NÚMERO	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
PROM.	153.29	133.54	118.16	43.32	17.75	13.44	12.91	14.74	19.42	56.21	93.85	122.63
MÁXIMO	184.04	170.99	150.95	53.35	22.45	17.30	15.19	18.41	22.32	71.99	117.37	155.45
MÍNIMO	118.57	106.12	87.54	34.56	13.34	10.89	10.20	12.13	15.86	43.28	70.60	89.40
DES. EST.	16.15	12.25	12.51	4.05	1.72	1.22	1.09	1.30	1.44	5.37	9.13	12.36

Nota. Elaboración propia a partir de datos del Copernicus Climate Data Store (CDS, 2025).

TEMPERATURA MEDIA PROYECTADA EN LA CUENCA PIURAY

Anexo 35. *Datos de proyección mensual de Temperatura media bajo el escenario SSP2-4.5*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PROYECTADA DE LA CUENCA - ESCENARIO SSP2-4.5													
AÑO	**ENE.**	**FEB.**	**MAR.**	**ABR.**	**MAY.**	**JUN.**	**JUL.**	**AGO.**	**SET.**	**OCT.**	**NOV.**	**DIC.**	**PROM.**
2025	13.34	13.48	13.38	12.64	11.31	10.19	10.01	10.89	12.64	13.92	14.73	14.15	12.56
2026	13.55	13.75	13.29	12.47	11.09	9.75	9.94	10.64	12.98	14.18	14.73	14.23	12.55
2027	13.70	13.70	13.47	12.30	10.62	9.83	9.95	10.48	12.64	13.81	14.20	14.02	12.39
2028	13.57	14.04	13.55	12.83	11.52	9.85	9.66	11.01	12.95	14.33	14.90	14.25	12.71
2029	13.86	14.13	13.81	12.99	11.94	10.62	10.28	11.31	12.91	13.87	14.49	14.07	12.86
2030	13.46	13.56	13.20	12.54	10.85	9.83	9.52	11.24	12.61	14.18	14.59	14.26	12.49
2031	13.87	13.97	13.67	13.58	11.70	10.35	10.27	11.68	13.38	14.04	14.91	14.35	12.98
2032	13.77	13.83	13.32	12.70	11.00	10.59	10.55	11.45	13.06	14.33	14.81	14.08	12.79
2033	13.61	13.80	13.56	12.89	11.47	10.19	10.25	11.23	12.93	14.24	14.63	14.15	12.74
2034	13.48	13.62	13.49	13.12	11.83	10.06	10.70	11.42	12.96	14.07	15.14	15.13	12.92
2035	14.27	14.30	13.62	13.56	11.72	10.94	10.42	11.38	12.97	14.22	14.72	14.27	13.03
2036	13.76	13.76	13.43	12.78	11.09	10.20	10.11	11.37	13.24	14.39	14.97	14.43	12.79
2037	13.90	14.02	13.66	13.08	11.46	9.86	10.36	11.34	13.25	14.92	15.08	14.78	12.98
2038	14.08	14.35	13.94	13.73	12.11	11.03	10.52	11.48	13.60	14.21	14.95	14.52	13.21
2039	13.90	14.10	13.74	12.99	11.96	10.75	10.67	11.64	13.17	14.21	14.80	14.63	13.05
2040	13.89	14.19	13.73	13.55	12.17	11.06	10.77	11.80	13.36	14.91	15.39	15.03	13.32
2041	14.24	15.06	13.99	13.50	12.32	10.70	10.73	11.51	13.59	14.42	15.31	15.02	13.37
2042	14.49	14.49	14.04	13.57	12.34	10.76	10.71	12.02	13.62	14.62	15.06	14.93	13.39
2043	14.55	14.63	14.01	13.46	12.27	11.27	10.37	12.11	13.22	14.53	14.95	15.04	13.37
2044	14.14	14.33	13.88	13.28	11.94	10.77	10.88	11.59	13.54	15.07	15.45	14.85	13.31
2045	14.38	14.32	13.85	13.40	12.01	11.22	10.74	11.89	13.34	14.82	15.26	14.85	13.34
2046	14.20	14.43	14.12	13.44	12.38	11.05	10.97	12.08	13.63	15.20	15.14	14.99	13.47
2047	14.49	14.18	13.92	13.43	12.47	10.78	10.85	12.33	14.09	15.14	16.07	15.51	13.60
2048	14.98	14.91	14.14	13.79	12.48	11.89	11.55	12.77	14.00	15.84	15.86	16.10	14.03
2049	14.56	15.03	14.44	14.07	12.68	11.49	11.07	11.96	13.33	14.59	15.63	15.00	13.66
2050	14.16	14.41	13.81	13.49	11.94	10.91	10.96	11.84	13.66	14.91	15.15	14.72	13.33
2051	14.21	14.63	13.98	13.38	12.32	11.49	10.94	12.13	13.74	14.76	15.41	14.99	13.50
2052	14.44	14.38	14.21	13.33	12.07	11.47	10.87	12.38	14.04	15.39	15.70	15.35	13.64
2053	14.86	14.90	14.35	14.12	12.44	11.85	11.34	12.36	14.10	15.53	15.80	15.44	13.92
2054	14.67	14.86	14.17	13.49	12.46	11.58	11.43	12.26	14.08	15.48	15.90	15.74	13.84
2055	14.92	15.27	14.51	13.97	12.34	11.84	11.52	12.92	13.86	15.73	15.82	15.39	14.01
2056	14.71	14.93	14.11	13.92	12.64	11.58	11.32	12.17	13.73	15.37	15.47	15.28	13.77
2057	14.50	14.52	13.98	13.50	12.32	11.46	11.41	12.15	14.12	15.45	15.74	15.51	13.72
2058	15.02	15.19	14.68	14.32	13.34	11.73	11.22	12.00	14.68	15.89	15.91	16.31	14.19
2059	15.41	15.37	14.94	14.48	13.07	12.18	11.92	12.59	14.45	16.06	16.03	15.61	14.34
2060	15.05	15.20	14.38	14.10	12.67	11.85	11.53	12.50	14.23	15.83	15.83	15.71	14.07
2061	15.18	15.38	14.56	14.27	12.82	11.54	11.01	12.45	13.88	15.86	15.74	15.41	14.01
2062	14.92	15.26	14.60	14.31	13.12	11.76	11.21	12.57	13.98	14.96	15.95	15.78	14.03
2063	14.89	14.93	14.60	14.64	13.22	12.02	11.89	12.62	14.11	15.60	15.54	15.92	14.16
2064	15.06	14.72	14.25	13.75	12.63	11.01	11.25	12.50	13.84	15.28	15.94	15.69	13.83
2065	14.84	15.26	14.65	14.67	13.30	12.07	12.09	13.06	14.36	16.34	16.21	16.00	14.40
2066	15.14	15.55	14.76	14.46	13.67	12.29	11.65	12.63	13.98	15.75	15.81	15.76	14.29
2067	15.00	15.06	14.35	14.06	12.81	11.94	11.69	13.14	14.67	16.33	16.62	16.28	14.33
2068	15.47	15.48	14.70	14.59	13.45	12.33	12.11	12.78	14.65	16.31	16.19	16.11	14.52
2069	14.94	15.30	14.52	14.57	13.00	12.39	11.82	12.97	14.45	15.72	16.09	15.68	14.29
2070	15.04	15.34	14.75	14.29	13.34	11.88	12.11	12.97	14.60	15.91	16.09	16.07	14.37
2071	15.16	15.63	15.01	14.54	13.66	12.22	11.83	12.56	14.60	16.34	16.04	16.13	14.48
2072	15.28	15.48	14.72	14.62	13.56	12.31	12.18	12.91	15.09	16.71	17.13	16.49	14.71
2073	15.73	15.68	15.16	14.53	13.43	12.58	11.68	13.17	14.71	16.10	16.18	15.72	14.56
2074	14.83	15.01	14.26	13.89	12.98	12.01	12.09	12.94	14.82	16.00	16.25	15.99	14.26
2075	15.58	15.59	14.81	14.78	13.72	12.39	12.24	13.19	14.87	16.33	16.37	16.30	14.68

2076	15.18	15.39	14.62	14.36	13.40	12.06	12.40	13.02	14.61	16.15	16.57	16.47	14.52
2077	15.49	15.52	15.06	14.23	13.37	11.94	11.97	13.31	14.69	16.30	16.17	16.18	14.52
2078	15.13	15.47	14.64	14.00	13.10	12.73	11.97	13.22	15.08	16.90	16.85	16.50	14.63
2079	15.75	15.67	14.98	14.89	13.74	12.47	12.10	13.17	14.57	16.21	16.32	15.70	14.63
2080	15.29	15.01	14.50	14.09	13.00	12.32	12.32	13.12	14.67	16.25	16.59	16.60	14.48
2081	15.61	16.08	15.11	14.99	14.02	12.59	12.07	13.42	14.73	15.97	16.38	16.13	14.76
2082	15.19	15.51	14.72	14.45	13.44	12.37	12.15	13.10	14.95	17.10	16.57	16.49	14.67
2083	15.42	15.72	15.16	15.29	14.28	12.65	12.49	13.48	15.10	16.64	16.57	16.17	14.91
2084	15.09	15.48	14.66	14.38	13.42	12.68	12.48	13.19	14.72	16.17	16.29	16.47	14.59
2085	15.51	15.42	14.86	14.55	13.50	12.64	12.10	13.52	14.80	16.42	16.28	16.43	14.67
2086	15.17	15.39	14.68	14.54	13.14	12.42	12.11	13.35	14.77	16.60	16.67	16.74	14.63
2087	15.81	15.81	15.08	15.17	13.48	12.86	12.49	13.33	15.23	16.79	16.94	17.09	15.01
2088	16.00	15.88	15.08	14.66	13.22	12.56	12.66	13.05	14.48	16.75	16.76	16.55	14.81
2089	15.15	15.61	14.87	14.75	13.87	12.31	12.58	13.28	14.38	16.07	16.59	16.27	14.64
2090	15.69	15.83	14.89	14.60	13.61	12.17	12.59	13.31	15.36	16.84	16.37	16.45	14.81
2091	15.73	15.54	15.16	14.71	13.71	12.43	12.41	13.30	15.11	16.71	16.50	16.57	14.82
2092	15.66	15.50	14.89	14.48	14.31	13.26	12.93	13.64	15.40	17.35	17.08	17.04	15.13
2093	15.88	16.30	15.54	15.45	14.42	13.44	13.15	13.87	15.26	17.16	16.83	16.57	15.32
2094	15.59	15.72	14.90	14.61	13.76	13.22	12.35	13.58	15.17	17.02	17.01	16.81	14.98
2095	15.75	15.59	14.91	14.59	13.67	12.51	12.45	13.24	15.16	17.23	16.93	16.95	14.92
2096	15.85	15.92	15.23	15.34	14.06	12.73	12.88	13.44	15.27	16.46	16.44	16.46	15.01
2097	15.46	15.49	14.83	14.80	13.73	12.56	12.35	13.43	15.46	16.74	16.82	16.75	14.87
2098	15.58	15.79	15.34	15.28	14.52	13.43	13.00	13.66	15.27	17.15	17.01	17.07	15.26
2099	15.99	15.91	15.16	15.08	14.12	12.85	12.71	13.83	15.33	17.04	16.63	16.29	15.08
2100	15.53	15.37	15.06	14.85	13.95	13.17	12.99	13.57	15.34	17.62	16.90	17.13	15.12

NÚMERO	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
PROM.	14.84	14.98	14.39	14.03	12.81	11.71	11.51	12.51	14.17	15.65	15.88	15.66
MÁXIMO	16.00	16.30	15.54	15.45	14.52	13.44	13.15	13.87	15.46	17.62	17.13	17.13
MÍNIMO	13.34	13.48	13.20	12.30	10.62	9.75	9.52	10.48	12.61	13.81	14.20	14.02
DES. EST.	0.73	0.71	0.59	0.77	0.93	0.97	0.91	0.85	0.81	1.02	0.75	0.88

Nota. Elaboración propia a partir de datos del Copernicus Climate Data Store (CDS, 2025).

Anexo 36. *Datos de proyección mensual de Temperatura media bajo el escenario SSP5-8.5*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PROYECTADA DE LA CUENCA - ESCENARIO SSP5-8.5													
AÑO	**ENE.**	**FEB.**	**MAR.**	**ABR.**	**MAY.**	**JUN.**	**JUL.**	**AGO.**	**SET.**	**OCT.**	**NOV.**	**DIC.**	**PROM.**
2015	13.13	12.96	12.72	12.26	10.39	9.49	9.00	10.39	11.91	12.98	13.97	13.33	11.88
2016	13.08	13.43	13.19	12.38	10.95	9.63	9.78	10.49	12.24	12.97	13.70	13.31	12.10
2017	12.79	13.25	13.19	12.44	10.47	9.25	9.62	10.43	12.03	13.22	14.03	13.85	12.05
2018	13.37	13.42	13.31	12.76	10.81	9.90	9.84	10.97	12.72	13.92	14.48	14.11	12.47
2019	13.74	13.82	13.69	13.07	11.82	9.97	9.75	10.83	12.56	13.11	13.93	13.26	12.46
2020	12.95	13.01	12.69	12.25	10.89	9.45	9.39	10.37	12.19	13.45	14.15	13.47	12.02
2021	13.44	13.31	13.18	12.51	11.04	9.56	9.41	10.26	12.51	13.47	14.04	13.51	12.19
2022	13.28	13.27	13.23	12.55	10.92	9.56	9.94	10.49	12.20	13.53	14.37	13.83	12.26
2023	13.29	13.54	13.40	12.59	11.21	10.08	9.83	10.69	12.37	13.34	14.56	13.61	12.38
2024	13.52	13.40	13.22	12.58	10.76	9.95	10.12	11.10	12.97	14.07	14.34	14.06	12.51
2025	13.98	14.05	13.67	12.89	11.42	10.08	9.81	11.15	12.89	13.63	14.48	13.96	12.67
2026	13.71	13.46	13.23	12.61	10.77	9.70	9.77	10.65	12.84	13.64	14.42	13.93	12.40
2027	13.50	13.78	13.60	13.08	11.38	10.33	10.18	11.17	13.08	14.02	14.98	14.46	12.80
2028	14.13	14.31	13.93	13.38	11.88	10.58	10.50	11.33	13.29	14.54	14.69	14.25	13.07
2029	13.79	13.83	13.48	13.20	11.63	10.17	10.48	11.07	13.03	14.27	14.56	13.98	12.79
2030	13.58	14.07	13.66	13.34	11.80	10.53	10.31	11.38	13.11	13.60	14.98	14.55	12.91
2031	13.98	14.02	13.78	13.31	11.57	10.58	10.65	11.31	12.95	13.98	14.65	14.50	12.94
2032	14.05	13.98	13.76	12.97	11.49	10.45	10.16	11.11	13.35	14.04	14.68	14.25	12.86
2033	13.86	13.90	13.57	12.99	11.29	10.81	10.30	11.31	12.87	13.76	14.81	13.89	12.78
2034	13.50	13.72	13.24	12.65	11.40	9.94	10.22	11.14	13.15	14.22	14.77	14.22	12.68
2035	13.89	14.05	13.53	13.41	11.63	10.86	10.87	11.23	13.62	14.48	15.01	14.75	13.11
2036	14.46	14.31	13.92	13.46	12.19	11.27	10.98	11.75	13.77	14.59	15.41	14.59	13.39
2037	14.23	13.99	13.77	13.45	12.36	11.03	10.86	11.54	13.73	14.75	15.16	14.54	13.28
2038	13.89	14.05	13.84	13.26	12.32	10.51	10.83	11.87	13.41	14.41	14.86	14.59	13.15
2039	14.01	13.90	13.73	13.31	11.70	10.20	10.95	11.99	13.61	15.10	15.54	15.15	13.27
2040	14.63	14.64	14.58	14.02	13.07	11.37	11.36	12.30	14.07	15.11	15.37	14.97	13.79
2041	14.53	14.62	14.26	13.55	11.87	10.93	11.13	11.28	13.54	14.47	15.00	14.69	13.32
2042	14.32	14.38	14.16	13.78	11.95	11.15	10.67	11.57	13.66	14.88	15.22	14.84	13.38
2043	14.48	14.49	14.31	13.86	12.60	11.19	11.13	12.34	13.70	14.85	15.37	15.08	13.62
2044	14.86	14.87	14.44	13.73	12.63	11.12	11.09	12.18	14.21	15.10	15.43	15.26	13.74
2045	14.71	14.72	14.21	14.02	12.72	11.32	11.43	12.55	14.35	15.32	15.72	15.48	13.88
2046	15.00	14.95	14.54	14.37	13.15	12.07	11.92	12.46	13.86	15.33	15.59	15.41	14.05
2047	14.77	14.69	14.46	14.38	12.68	10.84	10.97	12.07	13.92	14.82	15.38	15.11	13.67
2048	14.43	14.44	14.00	13.74	12.57	11.33	11.46	12.11	13.85	14.82	15.56	15.30	13.63
2049	14.97	15.01	14.69	14.35	13.15	12.08	12.07	12.62	14.54	15.55	16.24	15.86	14.26
2050	15.60	15.60	14.97	14.64	13.54	12.53	12.28	12.68	14.88	15.98	16.03	15.58	14.52
2051	14.88	14.77	14.44	14.26	12.94	11.59	11.78	12.53	14.03	15.42	15.99	15.66	14.02
2052	15.26	15.30	14.64	14.22	12.96	11.84	11.93	12.44	14.18	15.70	15.83	15.63	14.16
2053	15.06	15.37	14.59	14.50	12.85	12.22	12.07	12.73	14.68	15.76	15.95	15.68	14.29
2054	15.14	15.02	14.67	14.39	13.12	12.41	12.15	12.79	14.53	15.31	15.91	15.68	14.26
2055	15.14	15.10	14.55	14.45	13.13	11.92	11.75	12.54	14.25	16.01	15.88	15.80	14.21
2056	15.24	15.28	14.58	14.88	13.59	12.13	12.11	12.96	14.49	15.98	16.35	16.18	14.48
2057	15.66	15.63	15.10	14.75	14.34	13.07	12.53	13.19	15.15	16.78	16.59	16.09	14.91
2058	15.83	15.81	14.88	14.93	14.08	12.67	12.07	13.21	15.08	16.43	16.62	16.51	14.84
2059	15.70	15.52	14.99	14.61	13.17	11.99	11.97	12.93	14.85	16.30	16.44	15.89	14.53
2060	15.36	15.24	14.81	14.84	13.50	12.50	12.54	13.10	14.95	16.15	16.46	15.85	14.61
2061	15.56	15.28	15.01	14.73	13.75	12.61	12.52	13.49	15.09	16.33	16.78	16.83	14.83
2062	16.27	16.28	15.57	15.54	14.70	13.75	13.39	13.75	15.45	16.88	16.61	16.36	15.38
2063	15.89	15.99	15.08	15.10	14.00	12.87	12.65	13.76	15.37	17.03	16.87	16.49	15.09
2064	15.78	15.59	15.34	15.11	14.30	13.01	12.85	13.59	15.43	16.81	16.96	16.42	15.10
2065	15.90	15.91	15.50	15.48	14.13	13.03	13.29	13.75	15.34	16.92	16.88	16.96	15.26
2066	16.20	16.01	15.60	15.22	14.57	13.05	13.49	13.82	15.52	16.80	16.91	16.99	15.35
2067	16.51	16.46	15.52	15.38	14.23	13.25	13.25	13.72	15.50	16.86	16.76	16.78	15.35
2068	16.21	15.90	15.26	15.28	13.98	12.90	12.99	13.58	15.63	17.29	17.19	17.13	15.28
2069	16.29	16.28	15.75	15.83	14.86	13.82	13.58	14.46	16.15	17.74	17.49	17.46	15.81
2070	17.17	16.80	16.31	16.27	15.69	14.40	14.10	14.73	16.51	18.26	17.96	17.66	16.32
2071	16.91	16.63	16.02	16.11	15.15	14.18	13.67	14.41	16.04	17.23	17.19	17.32	15.91
2072	16.17	15.89	15.28	15.36	14.34	13.29	13.60	13.85	15.90	17.21	17.12	16.99	15.42
2073	16.33	16.06	15.84	15.69	14.63	13.88	13.25	14.19	16.25	17.64	17.98	17.84	15.80
2074	16.60	16.66	15.95	16.10	15.38	14.12	13.92	14.50	16.31	18.06	18.06	18.45	16.18
2075	17.41	17.17	16.58	16.57	15.91	14.96	14.40	14.79	16.62	18.38	17.98	17.96	16.56

2076	17.08	17.03	16.14	15.95	15.21	14.21	14.09	14.86	16.75	18.24	17.43	17.80	16.23
2077	16.73	16.39	15.96	15.77	15.04	13.71	13.74	14.61	15.78	17.85	17.42	17.64	15.89
2078	16.49	16.43	15.87	16.03	14.67	14.52	13.82	14.39	15.94	18.21	17.99	18.02	16.03
2079	17.07	16.96	16.45	16.68	15.69	14.84	14.69	15.44	17.13	18.75	18.50	18.65	16.74
2080	17.51	17.54	16.96	16.76	16.23	15.26	14.76	15.37	16.91	18.65	18.42	18.28	16.89
2081	17.32	17.23	16.82	16.73	15.95	15.06	14.82	15.58	16.96	18.73	18.42	18.68	16.86
2082	17.66	17.57	16.80	16.86	16.21	15.08	14.60	15.09	17.03	18.79	18.37	18.45	16.88
2083	17.67	17.58	16.70	16.57	15.83	15.07	14.93	15.40	17.01	18.88	18.24	18.46	16.86
2084	17.81	17.68	16.99	17.21	16.34	15.57	15.10	16.13	17.72	19.15	18.50	18.42	17.22
2085	17.71	17.18	16.53	16.85	16.05	15.44	15.09	15.72	17.13	19.31	18.61	19.01	17.05
2086	17.65	17.79	17.09	17.09	16.56	15.29	14.83	15.94	17.31	19.03	18.95	18.73	17.19
2087	17.46	17.63	16.76	17.09	16.26	15.33	15.09	15.65	17.38	19.82	19.18	19.52	17.26
2088	18.18	17.91	17.38	17.43	16.95	15.53	15.67	15.82	17.32	18.93	18.49	18.59	17.35
2089	17.61	17.07	16.55	16.73	15.96	15.19	14.71	15.66	17.16	19.39	18.77	18.96	16.98
2090	18.11	17.84	17.33	17.56	16.81	15.82	15.17	16.45	18.00	19.88	19.15	19.61	17.65
2091	18.07	18.08	17.40	17.43	17.23	16.46	15.77	16.28	17.72	19.88	19.31	19.30	17.74
2092	18.41	18.09	17.39	17.59	16.69	16.00	15.43	16.42	17.88	19.39	19.03	19.04	17.61
2093	18.08	17.80	17.12	17.52	16.81	16.40	16.26	16.48	18.42	20.18	19.42	19.84	17.86
2094	18.88	18.52	17.89	18.41	17.57	16.27	16.19	16.80	17.95	20.33	19.42	19.37	18.13
2095	18.23	18.09	17.26	17.59	17.15	16.36	16.22	16.96	18.05	20.45	19.62	19.77	17.98
2096	18.63	18.48	17.48	17.82	17.07	16.30	16.01	16.61	17.82	20.17	19.61	19.61	17.97
2097	18.53	18.41	17.54	18.05	17.49	16.67	16.57	17.03	18.43	20.27	19.78	19.71	18.21
2098	18.59	18.67	17.90	18.26	17.56	16.42	16.32	17.26	18.46	20.69	19.57	19.83	18.30
2099	18.89	18.45	17.77	18.34	17.56	16.42	16.15	16.77	18.24	20.40	19.67	20.07	18.23
2100	18.81	18.66	17.66	17.95	17.79	17.10	16.51	17.46	18.57	20.76	19.99	20.41	18.47

NÚMERO	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
PROM.	15.69	15.63	15.15	14.97	13.84	12.74	12.60	13.36	15.09	16.50	16.61	16.42
MÁXIMO	18.89	18.67	17.90	18.41	17.79	17.10	16.57	17.46	18.57	20.76	19.99	20.41
MÍNIMO	12.79	12.96	12.69	12.25	10.39	9.25	9.00	10.26	11.91	12.97	13.70	13.26
DES. EST.	1.76	1.66	1.48	1.78	2.15	2.27	2.15	2.06	1.91	2.31	1.80	2.06

Nota. Elaboración propia a partir de datos del Copernicus Climate Data Store (CDS, 2025).

Anexo 37. *Datos de precipitación mensual PISCO escalados*

PRECIPITACION MENSUAL PISCO (mm) - CUENCA DE APORTE PIURAY

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	210.82	142.22	140.66	22.49	14.96	19.99	13.64	14.66	24.27	78.65	43.42	100.34
2001	247.35	166.58	144.17	33.62	23.50	12.60	28.96	26.21	20.81	79.43	108.25	98.25
2002	157.89	194.51	151.64	61.93	19.71	15.62	42.87	15.38	16.97	81.26	109.18	158.31
2003	158.10	144.09	176.35	31.12	17.43	18.80	13.02	33.66	13.95	45.75	45.86	137.63
2004	186.08	128.56	87.95	30.65	17.28	34.77	30.15	23.43	22.87	48.39	82.60	99.14
2005	101.82	126.93	110.74	40.11	15.18	12.60	13.89	15.55	18.14	34.62	80.91	112.13
2006	186.94	118.23	145.10	57.82	13.17	15.00	13.02	18.39	16.29	76.74	105.63	131.03
2007	130.29	93.78	124.15	70.94	17.21	12.60	14.69	13.03	12.66	63.68	91.63	114.29
2008	149.51	124.74	91.86	21.53	20.69	15.91	13.02	16.76	16.47	58.52	118.50	148.57
2009	158.76	133.59	102.69	28.67	15.17	12.60	15.42	13.06	21.68	19.20	188.10	113.89
2010	251.74	156.34	151.02	25.98	13.89	12.91	14.80	16.83	16.02	74.57	54.50	156.48
2011	143.42	204.00	154.24	76.49	18.32	19.91	20.20	14.42	36.78	54.39	71.49	138.06
2012	113.53	161.86	77.33	46.51	14.80	13.55	13.05	13.02	27.66	24.07	125.38	189.20
2013	166.56	158.87	111.42	22.42	17.67	16.48	13.66	28.76	14.69	108.07	118.09	164.50
2014	169.83	111.87	72.91	50.39	22.87	12.60	13.12	14.64	14.73	74.16	53.68	133.28
2015	162.58	129.45	79.29	72.75	21.10	13.46	19.54	19.84	15.45	30.38	91.75	126.84
2016	117.42	152.42	64.55	36.01	16.54	12.61	18.23	13.02	16.85	67.54	55.58	102.82
2017	111.72	115.64	143.80	58.19	27.04	16.35	13.85	22.82	24.94	58.95	72.42	105.37
2018	162.06	174.28	168.65	46.62	16.21	36.25	28.85	30.94	28.12	95.65	90.88	106.33
2019	130.93	114.84	180.49	36.15	33.74	16.06	19.24	13.02	22.09	80.33	141.59	189.04
2020	152.18	167.89	160.74	28.29	45.45	13.00	16.25	13.27	16.33	30.01	61.09	144.61
2021	131.59	132.26	81.60	66.09	23.49	17.62	13.95	14.80	15.90	54.88	90.45	106.28
2022	172.28	114.57	140.14	20.48	13.44	12.67	13.02	16.14	20.37	19.94	32.74	66.79
2023	68.71	96.73	81.28	56.16	45.94	12.60	13.21	17.98	31.49	30.90	79.19	139.24
2024	64.34	100.85	101.43	44.98	27.30	13.81	16.55	13.26	26.93	46.69	158.19	112.08

Anexo 38. *Datos de temperatura mensual PISCO escalados*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL - MICROCUENCA PIURAY (ºC)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	12.78	12.55	12.28	12.49	10.96	9.21	8.87	10.33	11.96	12.77	14.24	13.32
2001	12.25	12.44	12.41	11.85	10.47	9.30	9.28	9.35	12.22	13.69	14.36	13.92
2002	13.57	13.01	13.00	12.36	10.65	9.82	8.72	9.99	11.87	13.57	13.91	13.97
2003	13.75	13.64	12.92	12.37	10.84	9.74	8.93	9.78	11.38	13.61	14.27	13.89
2004	13.28	13.09	13.18	12.65	10.38	8.71	8.69	9.33	11.53	13.59	14.28	13.98
2005	13.92	13.63	13.58	12.89	11.04	9.47	9.58	10.47	11.89	13.68	14.14	14.17
2006	13.11	13.58	13.41	12.65	9.86	9.85	9.02	10.78	12.19	13.62	13.65	13.95
2007	14.07	13.62	12.86	12.64	10.98	9.82	9.32	10.51	11.85	13.53	13.99	13.88
2008	12.81	12.95	12.35	12.10	10.02	9.36	9.35	10.87	11.99	13.76	14.51	13.92
2009	13.30	13.17	12.98	12.69	10.96	9.34	9.47	10.60	12.51	14.27	14.60	14.32
2010	13.77	14.16	13.99	13.29	11.35	10.61	10.11	10.80	12.76	14.04	14.50	13.89
2011	13.53	12.70	12.91	12.74	10.58	9.75	9.24	10.70	12.21	13.75	14.82	13.52
2012	13.43	12.63	12.85	12.66	10.55	9.31	9.22	10.07	12.14	14.21	14.76	13.77
2013	13.29	13.66	13.72	12.72	11.50	9.84	9.35	10.34	12.25	13.79	14.52	14.00
2014	13.62	13.50	13.60	12.76	11.02	10.57	9.84	10.42	12.74	14.06	14.91	14.63
2015	13.01	13.64	13.35	12.57	11.15	10.45	9.56	10.81	12.99	14.07	14.77	14.02
2016	14.79	14.53	14.48	13.50	11.17	9.77	9.82	10.82	12.43	13.54	14.20	14.06
2017	13.13	12.94	12.93	12.03	10.66	9.47	9.58	10.29	12.43	12.92	14.06	13.27
2018	12.35	12.93	12.72	12.24	10.41	8.48	8.80	10.19	12.45	12.80	14.62	13.20
2019	13.22	12.85	12.95	12.38	10.65	9.63	9.59	10.16	12.25	13.16	13.71	13.27
2020	13.15	13.28	13.50	12.39	10.98	10.98	10.20	10.43	12.11	13.02	14.27	13.47
2021	12.73	13.06	12.73	11.79	10.26	9.85	9.12	10.29	12.23	13.91	13.34	13.56
2022	12.59	12.70	12.53	12.59	11.18	9.03	9.63	10.90	12.44	13.82	14.51	13.81
2023	13.19	13.31	12.80	12.18	10.50	8.94	10.50	11.01	12.69	15.02	14.62	14.36
2024	14.43	14.11	13.83	13.74	12.30	10.25	9.89	11.12	11.70	11.79	13.41	13.09

Anexo 39. *Tirantes de agua de la laguna Piuray (m.s.n.m)*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	3688.22	3688.79	3689.29	3689.25	3689.14	3689.02	3688.85	3688.68	3688.52	3688.42	3688.23	3688.15
2001	3688.89	3689.30	3690.06	3690.23	3690.23	3690.13	3690.04	3689.89	3689.78	3689.71	3689.71	3689.64
2002	3689.85	3690.63	3691.25	3691.70	3691.75	3691.73	3691.73	3691.62	3691.50	3691.50	3691.51	3692.51
2003	3692.18	3692.62	3693.26	3693.56	3693.54	3693.46	3693.36	3693.25	3693.09	3692.88	3692.72	3692.72
2004	3693.07	3693.36	3693.48	3693.48	3693.30	3693.15	3693.02	3692.80	3692.67	3692.49	3692.37	3692.31
2005	3692.30	3692.44	3692.53	3692.48	3692.30	3692.12	3691.96	3691.77	3691.56	3691.43	3691.35	3691.24
2006	3691.51	3691.72	3692.01	3692.19	3692.07	3691.95	3691.79	3691.61	3691.40	3691.26	3691.25	3691.46
2007	3691.57	3691.66	3692.05	3692.14	3692.06	3691.94	3691.79	3691.61	3691.43	3691.31	3691.24	3691.24
2008	3691.34	3691.45	3691.60	3691.51	3691.36	3691.20	3691.00	3690.81	3690.61	3690.49	3690.38	3690.38
2009	3690.55	3690.78	3690.92	3690.86	3690.69	3690.55	3690.35	3690.24	3689.97	3689.77	3689.91	3690.09
2010	3691.35	3692.44	3693.17	3693.47	3693.49	3693.46	3693.39	3693.27	3693.13	3693.07	3692.98	3693.28
2011	3693.40	3694.11	3694.93	3695.25	3695.21	3695.13	3695.08	3694.97	3694.92	3694.81	3694.73	3694.84
2012	3694.90	3695.32	3695.45	3695.52	3695.36	3695.22	3695.05	3694.85	3694.72	3694.56	3694.57	3695.08
2013	3695.52	3695.99	3695.97	3695.94	3695.76	3695.51	3695.29	3695.09	3694.95	3694.78	3694.82	3695.13
2014	3695.48	3695.63	3695.50	3695.43	3695.29	3695.08	3694.95	3694.65	3694.45	3694.33	3694.16	3694.16
2015	3694.30	3694.49	3694.63	3694.78	3694.69	3694.55	3694.39	3694.16	3693.99	3693.83	3693.70	3693.74
2016	3693.72	3694.41	3694.54	3694.49	3694.31	3694.14	3693.99	3693.82	3693.61	3693.43	3693.23	3693.19
2017	3693.26	3693.72	3693.64	3693.71	3693.64	3693.23	3693.12	3693.01	3692.82	3692.66	3692.53	3692.54
2018	3692.66	3692.97	3693.40	3693.44	3693.40	3693.30	3693.14	3692.98	3692.81	3692.66	3692.61	3692.42
2019	3692.58	3692.81	3693.23	3693.43	3693.40	3693.28	3693.18	3692.99	3692.80	3692.66	3692.72	3692.85
2020	3693.69	3694.49	3695.05	3695.17	3695.13	3695.04	3694.85	3694.64	3694.45	3694.26	3694.09	3694.21
2021	3694.37	3694.62	3694.76	3694.93	3694.84	3694.71	3694.54	3694.34	3694.17	3694.03	3694.00	3693.96
2022	3694.10	3694.39	3694.69	3694.72	3694.56	3694.41	3694.26	3694.05	3693.83	3694.03	3693.38	3693.26
2023	3693.21	3693.24	3693.17	3693.09	3693.01	3692.82	3692.64	3692.47	3692.33	3692.16	3692.09	3692.23
2024	3692.23	3692.33	3692.37	3692.36	3692.24	3692.08	3691.89	3691.72	3691.58	3691.47	3691.54	3691.71

Anexo 40. *Niveles de espejo de agua de la laguna Piuray (H en m)*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	-2.52	-1.95	-1.45	-1.49	-1.6	-1.72	-1.89	-2.06	-2.22	-2.32	-2.51	-2.59
2001	-1.85	-1.44	-0.68	-0.51	-0.51	-0.61	-0.7	-0.85	-0.96	-1.03	-1.03	-1.1
2002	-0.89	-0.11	0.51	0.96	1.01	0.99	0.99	0.88	0.76	0.76	0.77	1.77
2003	1.44	1.88	2.52	2.82	2.8	2.72	2.62	2.51	2.35	2.14	1.98	1.98
2004	2.33	2.62	2.74	2.74	2.56	2.41	2.28	2.06	1.93	1.75	1.63	1.57
2005	1.56	1.7	1.79	1.74	1.56	1.38	1.22	1.03	0.82	0.69	0.61	0.5
2006	0.77	0.98	1.27	1.45	1.33	1.21	1.05	0.87	0.66	0.52	0.51	0.72
2007	0.83	0.92	1.31	1.4	1.32	1.2	1.05	0.87	0.69	0.57	0.5	0.5
2008	0.6	0.71	0.86	0.77	0.62	0.46	0.26	0.07	-0.13	-0.25	-0.36	-0.36
2009	-0.19	0.04	0.18	0.12	-0.05	-0.19	-0.39	-0.05	-0.77	-0.97	-0.83	-0.65
2010	0.61	1.7	2.43	2.73	2.75	2.72	2.65	2.53	2.39	2.33	2.24	2.54
2011	2.66	3.37	4.19	4.51	4.47	4.39	4.34	4.23	4.18	4.07	3.99	4.1
2012	4.16	4.58	4.71	4.78	4.62	4.48	4.31	4.11	3.98	3.82	3.83	4.34
2013	4.78	5.25	5.23	5.2	5.02	4.77	4.55	4.35	4.21	4.04	4.08	4.39
2014	4.74	4.89	4.76	4.69	4.55	4.34	4.21	3.91	3.71	3.59	3.42	3.42
2015	3.56	3.75	3.89	4.04	3.95	3.81	3.65	3.42	3.25	3.09	2.96	3
2016	2.98	3.67	3.8	3.75	3.57	3.4	3.25	3.08	2.87	2.69	2.49	2.45
2017	2.52	2.98	2.9	2.97	2.9	2.49	2.38	2.27	2.08	1.92	1.79	1.8
2018	1.92	2.23	2.66	2.7	2.66	2.56	2.4	2.24	2.07	1.92	1.87	1.68
2019	1.84	2.07	2.49	2.69	2.66	2.54	2.44	2.25	2.06	1.92	1.98	2.11
2020	2.95	3.75	4.31	4.43	4.39	4.3	4.11	3.9	3.71	3.52	3.35	3.47
2021	3.63	3.88	4.02	4.19	4.1	3.97	3.8	3.6	3.43	3.29	3.26	3.22
2022	3.36	3.65	3.95	3.98	3.82	3.67	3.52	3.31	3.09	3.29	2.64	2.52
2023	2.47	2.5	2.43	2.35	2.27	2.08	1.9	1.73	1.59	1.42	1.35	1.49
2024	1.49	1.59	1.63	1.62	1.5	1.34	1.15	0.98	0.84	0.73	0.8	0.97

Anexo 41. *Serie de referencia de caudales mensuales del estudio de SEDACUSCO para la calibración y validación del modelo hidrológico de la laguna Piuray.*

	Oferta (m3/s)											
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1967	0.72	0.95	1.13	0.66	0.51	0.46	0.49	0.47	0.48	0.60	0.71	0.91
1968	1.08	1.53	0.99	0.61	0.48	0.46	0.54	0.50	0.49	0.48	0.84	0.69
1969	1.27	1.11	0.91	0.59	0.47	0.45	0.44	0.42	0.42	0.44	0.58	0.65
1970	1.02	0.86	0.99	0.83	0.49	0.45	0.43	0.42	0.48	0.53	0.56	1.50
1971	1.73	1.89	1.33	0.74	0.53	0.48	0.45	0.44	0.44	0.56	0.53	1.01
1972	1.19	0.73	0.67	0.52	0.44	0.43	0.42	0.46	0.43	0.40	0.59	0.83
1973	1.73	1.30	1.08	0.76	0.52	0.46	0.44	0.43	0.42	0.50	0.73	0.78
1974	1.09	1.68	1.36	0.72	0.53	0.50	0.45	0.50	0.45	0.49	1.14	1.39
1975	1.32	1.64	0.85	0.84	0.64	0.50	0.45	0.44	0.44	0.54	0.59	1.10
1976	1.45	0.75	0.87	0.78	0.55	0.51	0.44	0.43	0.48	0.44	0.50	0.75
1977	1.05	1.30	0.84	0.64	0.47	0.44	0.45	0.42	0.43	0.50	0.80	0.81
1978	1.42	1.24	1.02	0.58	0.51	0.46	0.43	0.42	0.42	0.48	0.71	1.37
1979	1.98	2.03	1.00	0.66	0.61	0.50	0.49	0.48	0.48	0.48	1.13	0.93
1980	0.93	1.20	1.10	0.60	0.49	0.45	0.44	0.43	0.42	0.58	0.65	0.70
1981	1.52	1.12	1.01	0.81	0.53	0.49	0.45	0.44	0.52	0.71	0.93	1.18
1982	1.52	1.55	1.24	0.81	0.54	0.49	0.46	0.46	0.48	0.53	0.91	0.90
1983	1.21	0.80	0.67	0.62	0.47	0.46	0.43	0.42	0.41	0.43	0.59	0.56
1984	1.37	1.33	0.80	0.78	0.50	0.48	0.45	0.48	0.44	0.77	0.90	0.82
1985	0.96	1.17	0.85	0.69	0.51	0.53	0.46	0.43	0.51	0.56	0.66	1.02
1986	0.73	0.68	0.92	0.66	0.49	0.45	0.43	0.43	0.42	0.46	0.68	0.93
1987	1.85	1.14	0.74	0.52	0.46	0.46	0.46	0.42	0.42	0.49	0.72	1.10
1988	1.83	1.34	1.72	1.28	0.63	0.52	0.48	0.45	0.46	0.49	0.58	1.11
1989	1.46	1.35	1.31	0.90	0.56	0.50	0.46	0.45	0.44	0.72	0.67	0.82
1990	0.95	0.98	0.73	0.65	0.50	0.60	0.46	0.45	0.48	0.72	0.90	0.98
1991	0.89	1.59	1.09	0.65	0.53	0.51	0.45	0.43	0.46	0.54	0.85	0.90
1992	1.09	1.03	0.80	0.58	0.47	0.54	0.44	0.50	0.44	0.49	0.79	0.71
1993	1.53	1.32	0.81	0.68	0.50	0.46	0.44	0.50	0.47	0.61	0.85	1.63
1994	1.86	1.79	1.73	1.00	0.65	0.53	0.48	0.45	0.47	0.57	0.60	1.33
1995	1.06	1.05	1.20	0.60	0.49	0.46	0.44	0.42	0.43	0.46	0.64	1.05
1996	1.36	1.11	0.74	0.60	0.50	0.45	0.43	0.43	0.44	0.50	0.62	0.94
1997	1.06	1.44	1.42	0.65	0.49	0.46	0.44	0.46	0.45	0.46	1.00	1.31
1998	1.25	1.82	0.87	0.60	0.53	0.47	0.44	0.43	0.42	0.57	0.61	0.66
1999	1.24	1.55	1.11	0.69	0.50	0.48	0.44	0.43	0.55	0.47	0.53	1.01
2000	1.61	1.25	1.23	0.63	0.50	0.51	0.47	0.44	0.43	0.63	0.65	1.00
2001	1.92	1.79	1.14	1.01	0.57	0.50	0.47	0.48	0.45	0.60	0.84	0.71
2002	1.11	0.74	1.02	0.96	0.54	0.48	0.49	0.45	0.46	0.59	0.65	0.71
2003	1.11	1.06	1.20	0.58	0.49	0.46	0.44	0.47	0.43	0.48	0.79	0.73
2004	1.39	1.04	1.13	0.77	0.51	0.49	0.48	0.46	0.56	0.69	0.66	0.99
2005	0.92	1.05	0.96	0.56	0.46	0.45	0.43	0.44	0.43	0.49	1.58	1.23
2006	1.52	1.61	0.96	0.70	0.58	0.51	0.49	0.46	0.47	0.50	0.79	0.88
2007	1.06	1.30	0.98	0.67	0.51	0.46	0.44	0.45	0.43	0.45	0.98	1.42
2008	0.97	0.87	0.66	0.54	0.47	0.47	0.43	0.43	0.56	0.56	0.60	0.93
2009	1.62	1.97	1.11	0.73	0.53	0.48	0.47	0.45	0.45	0.55	0.80	0.99
2010	1.77	1.23	1.07	0.68	0.52	0.50	0.49	0.45	0.44	0.57	0.83	1.13
2011	2.00	1.53	1.66	0.74	0.55	0.51	0.47	0.47	0.46	0.54	0.67	0.73
2012	0.92	1.24	0.94	0.68	0.51	0.46	0.44	0.44	0.42	0.52	0.63	0.65
2013	1.50	1.61	1.27	0.61	0.50	0.47	0.47	0.43	0.44	0.49	0.77	1.15
2014	0.93	1.17	1.03	0.64	0.49	0.46	0.51	0.53	0.51	0.49	0.60	0.69
2015	1.22	1.44	0.90	0.90	0.58	0.62	0.52	0.47	0.47	0.52	0.66	0.91
2016	0.79	1.19	1.15	0.67	0.50	0.46	0.45	0.44	0.43	0.46	0.54	0.67
2017	1.06	1.33	0.85	0.59	0.52	0.47	0.44	0.43	0.46	0.47	0.60	1.16
2018	1.29	1.55	1.05	0.62	0.49	0.47	0.44	0.47	0.44	0.51	0.57	0.90
2019	0.88	1.49	1.05	0.59	0.48	0.47	0.44	0.47	0.47	0.55	1.08	1.23
2020	1.33	1.00	1.37	0.82	0.53	0.57	0.48	0.45	0.46	0.63	0.63	0.89
2021	1.29	1.25	1.34	0.67	0.52	0.48	0.53	0.49	0.62	0.56	0.90	1.24
2022	1.27	1.37	1.39	0.69	0.53	0.53	0.48	0.45	0.46	0.72	0.77	0.69

Anexo 42. *Volúmenes de agua de la alguna Piuray en MMC.*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	56.19	57.93	59.46	59.33	59.00	58.63	58.11	57.59	57.10	56.80	56.22	55.97
2001	58.23	59.49	61.82	62.36	62.36	62.04	61.75	61.29	60.95	60.74	60.74	60.52
2002	61.17	63.65	65.65	67.10	67.26	67.20	67.20	66.85	66.46	66.46	66.49	69.82
2003	68.69	70.19	72.38	73.41	73.34	73.07	72.72	72.35	71.80	71.08	70.53	70.53
2004	71.73	72.72	73.13	73.13	72.52	72.01	71.56	70.81	70.36	69.75	69.34	69.13
2005	69.10	69.58	69.88	69.71	69.10	68.48	67.94	67.33	66.65	66.23	65.97	65.62
2006	66.49	67.17	68.10	68.72	68.31	67.91	67.39	66.81	66.14	65.68	65.65	66.33
2007	66.68	66.97	68.24	68.55	68.28	67.88	67.39	66.81	66.23	65.85	65.62	65.62
2008	65.94	66.30	66.78	66.49	66.01	65.49	64.85	64.23	63.59	63.20	62.85	62.85
2009	63.40	64.14	64.59	64.40	63.85	63.40	62.75	62.40	61.53	60.92	61.35	61.91
2010	65.97	69.58	72.07	73.10	73.17	73.07	72.83	72.42	71.94	71.73	71.42	72.45
2011	72.86	75.30	77.85	78.89	78.76	78.50	78.34	77.98	77.82	77.46	77.20	77.56
2012	77.75	79.12	79.54	79.77	79.25	78.79	78.24	77.59	77.16	76.64	76.68	78.34
2013	79.77	81.30	81.23	81.13	80.55	79.73	79.02	78.37	77.91	77.36	77.49	78.50
2014	79.64	80.13	79.70	79.47	79.02	78.34	77.91	76.94	76.29	75.90	75.34	75.34
2015	75.80	76.42	76.87	77.36	77.07	76.61	76.09	75.34	74.88	74.33	73.89	74.02
2016	73.96	76.16	76.58	76.42	75.83	75.41	74.88	74.30	73.58	72.96	72.28	72.14
2017	72.38	73.96	73.68	73.92	73.69	72.29	71.91	71.54	70.89	70.34	69.89	69.93
2018	70.34	71.40	72.87	73.01	72.87	72.53	71.98	71.43	70.85	70.34	70.17	69.52
2019	70.07	70.85	72.29	72.97	72.87	72.46	72.12	71.47	70.82	70.34	70.54	70.99
2020	73.86	76.43	78.25	78.64	78.51	78.22	77.60	76.91	76.30	75.68	75.24	75.52
2021	76.04	76.85	77.30	77.86	77.57	77.14	76.59	75.94	75.39	75.03	74.93	74.79
2022	75.28	76.10	77.08	77.17	76.65	76.17	75.68	75.10	74.34	75.03	72.80	72.39
2023	72.22	72.32	72.08	71.81	71.54	70.89	70.27	69.69	69.21	68.63	68.39	68.87
2024	68.87	69.21	69.35	69.31	68.90	68.35	67.73	67.18	66.73	66.37	66.60	67.15

CAUDAL PROYECTADO EN LA CUENCA PIURAY

Anexo 43. *Datos de proyección de Caudales medios mensuales (m3/s) bajo el escenario SSP2-4.5*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2025	0.64	0.85	0.74	0.41	0.24	0.17	0.14	0.13	0.13	0.17	0.32	0.60
2026	0.67	0.83	0.97	0.51	0.26	0.19	0.15	0.14	0.15	0.20	0.33	0.50
2027	0.60	0.94	0.91	0.40	0.26	0.19	0.14	0.13	0.15	0.16	0.51	0.70
2028	0.85	0.94	0.81	0.41	0.27	0.19	0.15	0.14	0.15	0.23	0.38	0.61
2029	0.70	0.92	0.99	0.48	0.27	0.20	0.16	0.15	0.15	0.24	0.48	0.74
2030	0.76	0.75	0.90	0.48	0.29	0.21	0.16	0.15	0.16	0.22	0.42	0.77
2031	0.83	1.03	1.01	0.46	0.32	0.23	0.17	0.17	0.19	0.25	0.40	0.67
2032	0.71	1.01	1.21	0.54	0.34	0.25	0.19	0.18	0.19	0.27	0.47	0.74
2033	0.84	0.97	1.02	0.50	0.33	0.23	0.18	0.17	0.18	0.21	0.44	0.54
2034	0.81	1.06	0.96	0.48	0.32	0.23	0.18	0.16	0.18	0.25	0.38	0.57
2035	0.74	0.99	1.21	0.55	0.32	0.24	0.18	0.18	0.19	0.22	0.46	0.74
2036	0.73	0.88	1.09	0.48	0.32	0.23	0.19	0.17	0.16	0.22	0.40	0.58
2037	0.90	1.02	1.20	0.60	0.32	0.24	0.19	0.19	0.19	0.24	0.46	0.74
2038	0.78	0.72	0.82	0.48	0.29	0.21	0.16	0.15	0.15	0.20	0.36	0.50
2039	0.70	0.76	0.88	0.45	0.24	0.18	0.14	0.14	0.13	0.19	0.39	0.61
2040	0.66	0.77	0.94	0.40	0.26	0.19	0.16	0.14	0.14	0.21	0.37	0.58
2041	0.71	0.83	0.86	0.40	0.25	0.18	0.15	0.14	0.15	0.20	0.31	0.58
2042	0.63	0.84	0.93	0.41	0.23	0.17	0.14	0.13	0.14	0.18	0.42	0.67
2043	0.87	0.76	0.83	0.37	0.28	0.19	0.15	0.14	0.15	0.21	0.52	0.61
2044	0.74	0.93	1.08	0.54	0.32	0.22	0.17	0.17	0.17	0.24	0.51	0.86
2045	0.79	0.94	1.17	0.57	0.33	0.24	0.20	0.18	0.21	0.26	0.54	0.58
2046	0.84	0.98	0.92	0.48	0.32	0.23	0.18	0.17	0.17	0.24	0.55	0.79
2047	0.75	1.00	1.00	0.49	0.33	0.23	0.19	0.18	0.19	0.27	0.41	0.58
2048	0.63	0.85	0.96	0.45	0.29	0.21	0.17	0.15	0.15	0.21	0.36	0.45
2049	0.68	0.95	0.92	0.49	0.26	0.19	0.16	0.15	0.15	0.18	0.28	0.62
2050	0.84	1.11	1.08	0.48	0.31	0.23	0.17	0.16	0.16	0.26	0.56	0.60
2051	0.78	0.93	0.98	0.50	0.31	0.22	0.17	0.17	0.18	0.22	0.39	0.60
2052	0.76	0.82	0.92	0.48	0.30	0.22	0.18	0.17	0.18	0.19	0.65	0.88
2053	0.69	0.76	0.95	0.46	0.29	0.20	0.15	0.15	0.15	0.20	0.37	0.78
2054	0.79	1.00	1.04	0.54	0.32	0.22	0.17	0.16	0.17	0.25	0.39	0.65
2055	0.85	0.98	1.06	0.46	0.30	0.22	0.18	0.17	0.17	0.20	0.37	0.75
2056	0.75	0.99	1.26	0.54	0.34	0.25	0.19	0.19	0.19	0.24	0.32	0.69
2057	0.70	1.11	1.05	0.47	0.30	0.23	0.18	0.17	0.17	0.22	0.48	0.82
2058	0.83	0.93	0.88	0.50	0.33	0.23	0.18	0.18	0.19	0.24	0.43	0.57
2059	0.87	0.84	0.99	0.48	0.28	0.21	0.17	0.16	0.17	0.22	0.37	0.60
2060	0.79	0.88	1.04	0.51	0.30	0.21	0.17	0.17	0.16	0.24	0.62	0.72
2061	0.78	0.79	0.96	0.53	0.31	0.22	0.18	0.17	0.17	0.19	0.39	0.67
2062	0.83	0.87	0.93	0.48	0.30	0.22	0.16	0.16	0.17	0.22	0.28	0.51
2063	0.70	1.04	0.94	0.40	0.26	0.20	0.16	0.15	0.14	0.20	0.41	0.65
2064	0.71	0.91	0.82	0.42	0.27	0.20	0.16	0.15	0.14	0.23	0.42	0.70
2065	0.79	0.93	0.98	0.52	0.30	0.22	0.17	0.16	0.17	0.19	0.38	0.59

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2066	0.72	0.95	0.94	0.41	0.28	0.19	0.15	0.14	0.14	0.18	0.38	0.57
2067	0.75	1.08	1.16	0.48	0.30	0.22	0.17	0.16	0.16	0.20	0.45	0.79
2068	0.89	0.94	0.97	0.46	0.30	0.22	0.17	0.17	0.17	0.21	0.44	0.67
2069	0.93	1.10	0.94	0.47	0.33	0.24	0.18	0.18	0.20	0.24	0.37	0.76
2070	0.68	1.16	0.91	0.44	0.30	0.22	0.17	0.16	0.18	0.26	0.47	0.59
2071	0.73	0.91	0.87	0.49	0.30	0.21	0.16	0.15	0.15	0.18	0.36	0.59
2072	0.78	0.94	1.19	0.52	0.30	0.21	0.16	0.15	0.16	0.20	0.27	0.64
2073	0.65	0.94	0.82	0.41	0.27	0.18	0.14	0.13	0.13	0.17	0.37	0.77
2074	0.83	0.88	0.95	0.43	0.27	0.20	0.16	0.15	0.14	0.21	0.48	0.63
2075	0.81	1.04	0.98	0.54	0.32	0.23	0.18	0.16	0.18	0.25	0.44	0.51
2076	0.69	0.71	0.72	0.44	0.25	0.18	0.14	0.13	0.12	0.16	0.35	0.83
2077	0.85	0.98	0.86	0.39	0.24	0.17	0.14	0.13	0.14	0.22	0.40	0.61
2078	0.93	0.84	0.72	0.45	0.28	0.19	0.16	0.14	0.16	0.18	0.39	0.56
2079	0.87	1.12	0.93	0.42	0.28	0.21	0.16	0.16	0.17	0.21	0.41	0.66
2080	0.63	1.04	0.86	0.38	0.26	0.20	0.15	0.13	0.14	0.23	0.47	0.79
2081	0.73	0.79	0.85	0.41	0.27	0.20	0.15	0.14	0.14	0.18	0.46	0.65
2082	0.79	1.05	1.11	0.48	0.30	0.22	0.17	0.15	0.16	0.19	0.43	0.77
2083	0.77	0.96	0.90	0.45	0.29	0.21	0.17	0.16	0.17	0.22	0.38	0.80
2084	0.87	0.92	0.91	0.43	0.29	0.20	0.16	0.14	0.15	0.22	0.32	0.55
2085	0.73	0.95	0.90	0.38	0.24	0.18	0.14	0.14	0.14	0.20	0.35	0.63
2086	0.78	0.82	0.64	0.37	0.22	0.15	0.12	0.12	0.13	0.17	0.32	0.68
2087	0.85	0.87	0.94	0.41	0.27	0.20	0.15	0.15	0.16	0.17	0.32	0.65
2088	0.68	0.87	0.93	0.43	0.26	0.18	0.14	0.14	0.13	0.18	0.30	0.65
2089	0.85	1.05	1.08	0.45	0.29	0.20	0.16	0.15	0.15	0.19	0.30	0.77
2090	0.71	1.09	0.92	0.49	0.29	0.21	0.17	0.16	0.15	0.21	0.43	0.67
2091	0.82	1.11	1.20	0.54	0.32	0.23	0.18	0.18	0.19	0.25	0.36	0.59
2092	1.01	1.07	1.13	0.52	0.33	0.22	0.18	0.17	0.19	0.26	0.53	0.66
2093	0.77	1.01	0.99	0.51	0.32	0.23	0.17	0.16	0.17	0.23	0.51	0.82
2094	0.78	0.82	0.89	0.42	0.26	0.19	0.15	0.14	0.14	0.22	0.37	0.70
2095	0.89	1.04	1.06	0.52	0.30	0.20	0.16	0.15	0.15	0.22	0.28	0.52
2096	0.68	0.88	0.87	0.38	0.23	0.18	0.15	0.14	0.14	0.16	0.34	0.58
2097	0.71	0.96	0.92	0.37	0.23	0.18	0.14	0.12	0.12	0.16	0.40	0.68
2098	0.75	0.81	0.73	0.41	0.22	0.16	0.13	0.13	0.14	0.16	0.29	0.45
2099	0.66	0.66	0.83	0.37	0.17	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.34	0.69
2100	0.77	0.88	0.80	0.39	0.24	0.18	0.15	0.12	0.14	0.18	0.62	0.58

Anexo 44. *Datos de proyección de Caudales medios mensuales (m3/s) bajo el escenario SSP5-8.5*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2025	0.58	0.83	0.76	0.40	0.22	0.16	0.15	0.14	0.13	0.22	0.43	0.62
2026	0.78	0.83	0.81	0.42	0.25	0.19	0.16	0.14	0.16	0.21	0.36	0.64
2027	0.65	0.68	0.73	0.42	0.23	0.16	0.14	0.13	0.14	0.19	0.31	0.74
2028	0.72	0.69	0.53	0.40	0.20	0.13	0.11	0.11	0.11	0.16	0.36	0.53
2029	0.62	0.86	0.90	0.41	0.22	0.15	0.13	0.13	0.13	0.19	0.46	0.84
2030	0.63	0.68	0.91	0.44	0.24	0.18	0.15	0.14	0.15	0.21	0.29	0.41
2031	0.62	0.73	0.66	0.37	0.21	0.15	0.11	0.12	0.13	0.23	0.39	0.58
2032	0.66	0.72	0.77	0.43	0.24	0.17	0.15	0.14	0.14	0.20	0.38	0.55
2033	0.65	0.78	0.79	0.43	0.21	0.15	0.13	0.13	0.13	0.15	0.32	0.69
2034	0.72	0.97	0.98	0.49	0.29	0.22	0.18	0.16	0.18	0.28	0.37	0.52
2035	0.59	0.70	0.65	0.40	0.22	0.17	0.13	0.13	0.14	0.16	0.25	0.41
2036	0.60	0.68	0.71	0.38	0.19	0.13	0.11	0.09	0.09	0.13	0.20	0.48
2037	0.70	0.90	0.81	0.42	0.21	0.15	0.12	0.12	0.12	0.15	0.35	0.60
2038	0.64	0.80	0.71	0.42	0.21	0.16	0.12	0.12	0.11	0.20	0.29	0.35
2039	0.68	0.79	0.88	0.43	0.22	0.15	0.12	0.12	0.11	0.18	0.29	0.52
2040	0.69	0.87	0.84	0.41	0.23	0.18	0.16	0.14	0.14	0.21	0.36	0.57
2041	0.71	0.77	0.67	0.44	0.24	0.16	0.14	0.14	0.15	0.19	0.31	0.49
2042	0.55	0.83	0.64	0.37	0.20	0.14	0.11	0.11	0.11	0.18	0.37	0.59
2043	0.66	0.76	0.90	0.45	0.24	0.17	0.15	0.14	0.15	0.22	0.42	0.85
2044	0.61	0.63	0.50	0.45	0.24	0.17	0.13	0.13	0.13	0.20	0.39	0.89
2045	0.85	0.93	0.74	0.48	0.28	0.21	0.18	0.16	0.18	0.23	0.37	0.81
2046	0.84	0.99	0.80	0.46	0.31	0.22	0.18	0.17	0.17	0.24	0.34	0.54
2047	0.58	0.97	0.65	0.45	0.26	0.19	0.16	0.15	0.16	0.21	0.42	0.70
2048	0.82	0.78	0.97	0.43	0.28	0.23	0.18	0.17	0.17	0.29	0.48	0.86
2049	0.83	1.08	0.86	0.52	0.33	0.24	0.20	0.19	0.19	0.24	0.44	0.77
2050	0.76	0.68	0.78	0.44	0.27	0.20	0.16	0.15	0.14	0.20	0.32	0.58
2051	0.72	0.92	0.77	0.39	0.24	0.18	0.15	0.14	0.15	0.20	0.30	0.67
2052	0.68	0.76	0.86	0.45	0.25	0.20	0.17	0.16	0.16	0.22	0.38	0.69
2053	0.66	0.87	0.77	0.45	0.25	0.18	0.15	0.14	0.14	0.20	0.43	0.61
2054	0.71	0.80	0.73	0.41	0.25	0.18	0.14	0.13	0.13	0.20	0.36	0.62
2055	0.84	0.79	0.78	0.42	0.23	0.18	0.16	0.15	0.15	0.18	0.36	0.61
2056	0.77	0.86	0.72	0.39	0.24	0.19	0.16	0.15	0.15	0.19	0.38	0.60
2057	0.74	0.75	0.80	0.42	0.22	0.16	0.14	0.13	0.13	0.19	0.36	0.86
2058	0.68	0.90	0.92	0.44	0.26	0.20	0.16	0.16	0.17	0.22	0.33	0.62
2059	0.72	0.88	0.79	0.43	0.24	0.18	0.16	0.14	0.15	0.20	0.33	0.72
2060	0.89	0.85	0.76	0.46	0.28	0.20	0.17	0.17	0.15	0.23	0.41	0.80
2061	0.76	1.11	0.72	0.46	0.29	0.21	0.18	0.16	0.16	0.22	0.41	0.67
2062	0.81	0.81	0.75	0.45	0.25	0.19	0.15	0.14	0.15	0.17	0.41	0.62
2063	0.85	0.85	0.79	0.40	0.23	0.18	0.15	0.14	0.13	0.16	0.36	0.50
2064	0.81	0.97	0.80	0.45	0.25	0.19	0.15	0.14	0.13	0.21	0.37	0.62
2065	0.81	0.91	0.73	0.37	0.24	0.18	0.15	0.13	0.13	0.18	0.39	0.56
2066	0.62	0.90	0.77	0.43	0.20	0.14	0.12	0.11	0.11	0.15	0.40	0.76

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2067	0.63	0.77	0.63	0.32	0.17	0.13	0.11	0.10	0.10	0.14	0.27	0.54
2068	0.71	0.70	0.94	0.38	0.15	0.10	0.09	0.09	0.10	0.16	0.26	0.63
2069	0.90	0.87	0.83	0.43	0.24	0.18	0.15	0.14	0.15	0.20	0.38	0.59
2070	0.66	1.04	0.87	0.36	0.19	0.15	0.13	0.13	0.13	0.17	0.27	0.74
2071	0.80	0.91	0.76	0.35	0.18	0.14	0.12	0.11	0.11	0.14	0.37	0.58
2072	0.85	0.84	0.81	0.40	0.22	0.15	0.12	0.12	0.12	0.16	0.32	0.64
2073	0.94	1.04	0.80	0.43	0.29	0.19	0.15	0.14	0.14	0.19	0.29	0.75
2074	0.78	0.90	1.00	0.51	0.27	0.19	0.16	0.14	0.13	0.18	0.31	0.66
2075	0.86	0.99	0.56	0.35	0.21	0.15	0.12	0.10	0.11	0.14	0.25	0.44
2076	0.94	0.90	0.70	0.31	0.15	0.11	0.11	0.10	0.09	0.13	0.31	0.47
2077	0.62	0.91	0.68	0.28	0.10	0.06	0.05	0.05	0.05	0.08	0.23	0.55
2078	0.79	0.75	0.66	0.29	0.11	0.06	0.06	0.05	0.06	0.09	0.27	0.61
2079	0.76	0.88	0.60	0.29	0.10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.09	0.21	0.48
2080	0.84	0.84	0.61	0.27	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.08	0.24	0.69
2081	0.90	1.09	0.76	0.34	0.14	0.09	0.08	0.08	0.07	0.11	0.18	0.40
2082	0.66	0.83	0.74	0.32	0.12	0.07	0.05	0.05	0.06	0.10	0.21	0.47
2083	0.81	1.01	0.87	0.40	0.14	0.08	0.08	0.07	0.08	0.12	0.40	0.82
2084	0.66	0.84	0.72	0.30	0.14	0.10	0.09	0.07	0.08	0.13	0.44	0.64
2085	1.01	1.02	0.88	0.38	0.18	0.13	0.11	0.11	0.11	0.15	0.42	0.69
2086	0.93	0.94	0.77	0.40	0.19	0.13	0.10	0.11	0.12	0.16	0.24	0.65
2087	0.98	0.89	0.71	0.38	0.20	0.14	0.12	0.12	0.12	0.13	0.32	0.48
2088	0.85	0.80	0.64	0.35	0.15	0.10	0.08	0.08	0.07	0.12	0.30	0.74
2089	0.86	1.24	1.23	0.49	0.24	0.18	0.16	0.14	0.15	0.18	0.23	0.72
2090	0.97	1.01	1.11	0.52	0.27	0.20	0.16	0.15	0.14	0.24	0.44	0.64
2091	0.90	0.99	0.70	0.42	0.23	0.17	0.14	0.13	0.14	0.17	0.41	0.97
2092	0.96	1.03	0.67	0.40	0.28	0.18	0.15	0.14	0.15	0.22	0.32	0.67
2093	0.83	0.81	0.91	0.43	0.25	0.19	0.14	0.13	0.13	0.15	0.37	0.87
2094	0.85	1.00	1.00	0.57	0.23	0.18	0.15	0.14	0.13	0.20	0.34	0.80
2095	1.05	1.00	0.81	0.38	0.23	0.17	0.14	0.13	0.12	0.16	0.37	0.90
2096	0.89	1.04	1.01	0.55	0.27	0.20	0.17	0.15	0.16	0.18	0.36	0.70
2097	0.83	0.86	0.96	0.48	0.25	0.19	0.15	0.13	0.13	0.16	0.26	0.61
2098	0.83	1.02	0.71	0.40	0.19	0.13	0.12	0.12	0.12	0.14	0.34	0.77
2099	0.72	0.98	0.77	0.31	0.16	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	0.32	0.60
2100	0.90	0.97	0.87	0.45	0.21	0.15	0.13	0.11	0.12	0.19	0.38	0.66

Documentos para recolección de información

Anexo 45. *Solicitud de acceso a la Información meteorológica a Sunami*

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

"Año del bicentenario de la consolidación de nuestra independencia, y de la conmemoración de las batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 30 de setiembre del 2024

Señor:
Ing. Zenon Huaman Gutierrez
Director Zonal del Cusco
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Asunto: **Solicitud de facilidades para el desarrollo de tesis**

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme ante usted con la finalidad de solicitar información hidrometeorológica de las estaciones meteorológicas ubicadas en la región del Cusco, para los alumnos egresados de la facultad de ingeniería civil, Don: **Frank Gutierrez Salas** con **DNI N° 77909389** con código de alumno **192220** y Don: **Teobaldo Arturo Torres Vargas** con **DNI N° 76400028** con código de alumno **161799**. Los datos requeridos incluyen precipitaciones, temperaturas y evaporación (data diaria) para el periodo comprendido entre los años **1981** al **2024**, de las siguientes estaciones meteorológicas:

1. **Estación Anta Ancachuro**
2. **Estación Calca**
3. **Estación Granja Kayra**
4. **Estación Pisac**
5. **Estación Urubamba**
6. **Estación Perayoc**
7. **Estación Chitapampa**

Estos datos son fundamentales para el desarrollo de su tesis titulada **"Impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray, 2024"**, en la cual están evaluando la variación de las condiciones climáticas en la región y su impacto en los recursos hídricos de la alguna de Piuray.

Agradezco de antemano su colaboración en brindarme la información solicitada. Quedo atento a cualquier requisito adicional que deba cumplir para acceder a los datos.

Sin otro particular, me despido de usted, agradeciendo su atención y esperando una respuesta favorable.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DECANO
M. Sc. Ing. JOSE FRANCISCO SERRANO FLORES
DECANO

M.Sc. Ing. Jose Francisco Serrano Flores
Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

FRANK GUTIERREZ SALAS <192220@unsaac.edu.pe>

TESISTA FRANK GUTIERREZ SALAS

1 mensaje

Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) <lgamarra@senamhi.gob.pe> 23 de octubre de 2024, 12:28
Para: "192220@unsaac.edu.pe" <192220@unsaac.edu.pe>, "161799@unsaac.edu.pe" <161799@unsaac.edu.pe>, "Manuel Jesus Valverde Bocanegra (UACGD)" <mvalverde@senamhi.gob.pe>, "Milagros Del Pilar Martinez Tabraj (UACGD)" <mmartinez@senamhi.gob.pe>, "Carmen Rosa Sulca Guzman (UACGD)" <csulca@senamhi.gob.pe>

TESISTA FRANK GUTIERREZ SALAS:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI, a fin de remitirle los datos disponibles de las estaciones comprendidas en el expediente N° 9705 escala DIARIA, período (1981 - 2024); cabe indicar que bajo la modalidad de servicio gratuito es por única vez. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS/INVESTIGACIÓN hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Cabe indicar que de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Directiva Nº 003-2016-SENAMHI-SG-OPP-UM, para la atención a estudiantes, tesistas e investigadores bajo la modalidad de servicio gratuito, dichos usuarios firman una DECLARACIÓN JURADA, que tiene un firme compromiso LEGAL de entregar un ejemplar de su tesis para nuestra biblioteca. En ese sentido la Srta. Carmen Sulca (csulca@senamhi.gob.pe), estará atenta al cumplimiento de dicho acuerdo, saludos.

Nota: Se envía solo lo disponible en escala DIARIA. La estación CALCA solo dispone el periodo (1963 - 1998) y la estación PARAYOC (1955 - 1971)

Expediente: 9705

Luis Felipe Gamarra Chavarry
DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACION Y CONTROL
GERENCIA GENERAL
SENAMHI - PERU

D: Jr. Cahuide 785, Jesús María - Lima
T: 01 6141414 Anexo -
C: -
E: lgamarra@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

5 adjuntos

- **ANTA ANCACHURO_D_1981-2024.xlsx** 222K
- **PISAC_D_1981-2024.xlsx** 220K
- **GRANJA KAYRA_D_1981-2024.xlsx** 222K
- **CALCA_D_1963-1998.xlsx** 220K
- **PERAYOC_D_1955-1971.xlsx** 222K

Anexo 46. *Solicitud de Información Climatológica Complementaria a la Estación Meteorológica Perayoc*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
"Año del bicentenario de la consolidación de nuestra independencia, y de la conmemoración de las batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 02 de octubre del 2024

Señor:
Dr. Nicacio Chaparro Daza
JEFE DE ESTACION METEOROLÓGICA PERAYOC

Asunto: **Solicitud de facilidades de información para el desarrollo de tesis**

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted, para expresarte mi cordial saludo y presentarme como Sr. FRANK GUTIERREZ SALAS, con Código Universitario N° 192220, alumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, la investigación requiere de los siguientes datos para su desarrollo:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERIODO
Perayoc	Precipitación	Diaria	2000-2024
Perayoc	Temperatura	Diaria	2000-2024
Perayoc	Velocidad del viento	Diaria	2000-2024
Perayoc	Humedad relativa	Diaria	2000-2024
Perayoc	Presión atmosférica	Diaria	2000-2024

Estación automática y convencional (años 2000 - 2024)

Agradeceré a usted DARME ACCESO A LOS PARAMETROS MENCIONADOS con el objetivo de desarrollar una investigación más profunda sobre la siguiente tesis titulada **"Impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray, 2024"** en la cual están evaluando la variación de las condiciones climáticas en la región y su impacto en los recursos hídricos de la alguna de Piuray. Los datos solicitados tengan la amabilidad de compartirlos a través del correo 192220@unsaac.edu.pe, en los formatos correspondientes (.xlsx, .csv, etc.).

Agradezco de antemano su colaboración en brindarme la información solicitada. Quedo atento a cualquier requisito adicional que deba cumplir para acceder a los datos.

Sin otro particular, me despido agradeciendo su atención y quedo a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente,

Frank Gutierrez Salas
DNI N° 77909389

Recibí conforme
02-10-24
14:38 p.m.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE GEOGRAFÍA
OBSERVATORIO METEOROLÓGICO "LUIS OLAZO OLIVERA"

DAG

CONSTANCIA

El director del Observatorio Meteorológico "Luis Olazo Olivera – Perayoq" de la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco.

Hace constar:

Que, el señor **Frank Gutierrez Salas,** identificado con DNI **N° 77909389**, Bachiller de la Facultad de Ingeniería Civil – UNSAAC, ha solicitado información registrada por nuestra estación, para trabajos de investigación Proyecto de tesis intitulado **"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"**

En ese sentido, se ha facilitado la información registrada y procesada en Libretas Meteorológicas diarias respectivamente, de los parámetros de Precipitación, temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, presión atmosférica, desde el año 2000 hasta el 2024, asimismo de la Estación Automática DAVIS del período 2011 al 2024 por lo que.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que vea por conveniente.

Cusco, 3 de octubre del 2024.

Atentamente,

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
DIRECCION
DR. NICACIO CHAPARRO DAZA
DIRECTOR
DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE GEOGRAFIA

Anexo 47. *Solicitud de Información Batimétrica y Caracterización Morfométrica a la Autoridad Nacional del Agua (ANA)*

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

"Año del bicentenario de la consolidación de nuestra independencia, y de la conmemoración de las batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 30 de setiembre del 2024

Señor:
Mg. Ing. Lucio Quiñonez Jalisto
Directo Ejecutivo
Centro Guaman Poma de Ayala

Asunto: **Solicitud de facilidades para el desarrollo de tesis**

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted con la finalidad de solicitar su colaboración para proporcionar facilidades que permitan el desarrollo de la tesis de investigación relacionada con la **laguna de Piuray**, a cargo de los egresados de la Facultad de Ingeniería Civil:

- Frank Gutiérrez Salas, DNI N° 77909389, código de alumno 192220
- Teobaldo Arturo Torres Vargas, DNI N° 76400028, código de alumno 161799

La investigación lleva por título "**Impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray, 2024**", y requiere de los siguientes datos para su desarrollo:

1. **Data de aforamiento de fuentes de agua de la laguna de Piuray (entre los años 2000 al 2024)**
2. **Datos batimétricos de la laguna de Piuray (data de levantamiento batimétrico realizados entre los años 2000 al 2024)**

Estos datos son fundamentales para evaluar la variación de las condiciones climáticas en la región y su impacto en los recursos hídricos de la laguna de Piuray.

Agradezco de antemano su apoyo en la provisión de la información solicitada. Estoy a su disposición para atender cualquier requisito adicional que sea necesario para acceder a los datos mencionados.

Sin otro particular, me despido agradeciendo su atención y quedo a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DECANO
M. Sc. Ing. JOSE FRANCISCO SERRANO FLORES
DECANO

M.Sc. Ing. Jose Francisco Serrano Flores
Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

PERÚ | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

ANA
Autoridad Nacional del Agua

Firmado digitalmente por VENERO MELLADO Rocio FAU 20520711865 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09/10/2024 11:07:24

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CUT: 196592-2024

INFORME N° 0132-2024-ANA-AAA.UV/RVM

A : **SAMUEL DONAYRE MOSCOSO**
DIRECTOR (E)
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA - URUBAMBA VILCANOTA

ASUNTO : Remito información Solicitud de facilidades para el desarrollo de Tesis

REFERENCIA : SOLICITUD s/n

FECHA : Wanchaq, 04 de octubre de 2024

Por el presente, me dirijo a Usted, a fin de remitir la información en atención al documento de la referencia, se tiene lo siguiente:

1.- Datos batimétricos de la laguna de Piuray (data de levantamiento batimétrico realizados entre los años 2000 al 2024.

Se remite adjunto lo siguiente:
Informe de Batimetria (Estudio batimétrico de la laguna Piuray + plano de plano batimétrico y perfil longitudinal y transversal)
Perfil Laguna Piuray
Plano planta laguna Piuray

Por lo expuesto, se dé respuesta al solicitante.

Atentamente,

FIRMADO DIGITALMENTE

ROCIO VENERO MELLADO
PROFESIONAL
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA - URUBAMBA VILCANOTA

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado de ANA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de:https://sisged.ana.gob.pe/consultas e ingresando la siguiente clave : 688564FA

Con Punche Perú

BICENTENARIO DEL PERÚ 2021 - 2024

Anexo 48. *Solicitud de información de Nivel de espejo agua de la Laguna Piuray a SEDACUSCO S.A.*

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

"Año del bicentenario de la consolidación de nuestra independencia, y de la conmemoración de las batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 30 de setiembre del 2024

Señor:
Ing. Yabel Silva Guevara
Gerente General
EPS SEDACUSCO S.A.

Asunto: **Solicitud de facilidades para el desarrollo de tesis**

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted con la finalidad de solicitar su colaboración para proporcionar facilidades que permitan el desarrollo de la tesis de investigación relacionada con la **laguna de Piuray**, a cargo de los egresados de la Facultad de Ingeniería Civil:

- Frank Gutiérrez Salas, DNI N° 77909389, código de alumno 192220
- Teobaldo Arturo Torres Vargas, DNI N° 76400028, código de alumno 161799

La investigación lleva por título "**Impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray, 2024**", y requiere de los siguientes datos para su desarrollo:

1. **Data diaria de los niveles del espejo de agua de la laguna de Piuray (años 2000 al 2024).**
2. **Datos hidrometeorológicos diarios de la laguna de Piuray (precipitación, temperatura y evaporación, años 2000 al 2024).**
3. **Caudales de consumo de agua (data diaria o según los cambios registrados entre los años 2000 al 2024).**
4. **Datos del análisis pluviométrico (precipitación de los años 2000 al 2024).**
5. **Datos batimétricos de la laguna de Piuray (levantamientos batimétricos realizados entre los años 2000 al 2024).**

Estos datos son fundamentales para evaluar la variación de las condiciones climáticas en la región y su impacto en los recursos hídricos de la laguna de Piuray.

Agradezco de antemano su apoyo en la provisión de la información solicitada. Estoy a su disposición para atender cualquier requisito adicional que sea necesario para acceder a los datos mencionados.

Sin otro particular, me despido agradeciendo su atención y quedo a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DECANO
M.Sc. Ing. JOSE FRANCISCO SERRANO FLORES
DECANO

M.Sc. Ing. José Francisco Serrano Flores
Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

SEDACUSCO GERENCIA DE INGENIERIA Y PROYECTOS
09 ENE. 2025
Reg. N° 21
Firma: 16:43

Cusco, 09 de enero del 2025

TRAMITE DOCUMENTARIO
- 9 ENE 2025
0201
EXP.:
FIRMA: 14:22

Señor:
Ing. Jose Luis Becerra Silva
Gerente de Ingeniería y proyectos
EPS SEDACUSCO S.A.

Asunto: **Solicito acceso a la información de la alguna de Piuray**

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted con la finalidad de solicitarle acceso a la información que permitan el desarrollo de la tesis de investigación relacionada con la **laguna de Piuray**, a cargo de los egresados de la Facultad de Ingeniería Civil:

- Frank Gutiérrez Salas, DNI N° 77909389, código de alumno 192220
- Teobaldo Arturo Torres Vargas, DNI N° 76400028, código de alumno 161799

10 ENE. 2025
40
9:00

La investigación lleva por título **"Impacto del cambio climático en el volumen de almacenamiento de la laguna de Piuray, 2024"**, y requiere de los siguientes datos para su desarrollo:

EPS SEDACUSCO
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA
13 ENE. 2025
REG.N°
Firma: 9:19

1. **Levantamientos topográficos realizados en la microcuenca de la laguna de Piuray.**
2. **Datos batimétricos de la laguna de Piuray en formato de coordenadas geográficas (X, Y, Z), que describen la profundidad y la topografía del fondo de la laguna (entre los años 2000 al 2024).**

Estos datos son fundamentales para evaluar la variación de las condiciones climáticas en la región y su impacto en los recursos hídricos de la laguna de Piuray, para lo cual le pido encarecidamente pueda facilitar dichos datos en cualquiera de los siguientes formatos .xlsx, .xls, .csv o .txt, .pdf, .dwg a través de los correos 192220@unsaac.edu.pe o 161799@unsaac.edu.pe o comunicarse a los números 973 608 681 o 950 750 282 para su acceso a través de otros dispositivos o medios.

Agradezco de antemano su apoyo en la provisión de la información solicitada. Estoy a su disposición para atender cualquier requisito adicional que sea necesario para acceder a los datos mencionados.

Sin otro particular, me despido agradeciendo su atención y quedo a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente,

SEDACUSCO
OFICINA DE FORMULACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS
18 FEB 2025
HORA: 9:01
FIRMA:

Recibido
c/20/07/2025

Bach. Frank Gutierrez Salas
DNI: 77909389

Bach. T. Arturo Torres Vargas
DNI: 76400028

EPS SEDACUSCO S.A.

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Cusco, 24 de Febrero de 2025

CARTA N° 047-2025-GIP-EPS. SEDACUSCO S.A.

Señores
Frank Gutierrez Salas
Arturo Torres Vargas
Correo: 192220@unsaac.edu.pe – 161799@unsaac.edu.pe
Celular: 973608681 - 950750282
Ciudad-

ASUNTO : **Solicita Acceso a la Información de la Laguna de Piuray para Elaboración de Tesis**

REFERENCIA : **1. Solicitud S/N - Expediente 0201 - 2025**
2. Informe N°138-2025-OFPP-GIP EPS SEDACUSCO S.A.

De mi consideración:

Me dirijo a usted, para saludarlo cordialmente a nombre de la Gerencia de Ingeniería y Proyectos de la EPS SEDACUSCO S.A., y en atención al documento de referencia (1) por el cual solicita acceso a la información de la Laguna de Piuray, para la Tesis denominada "Impacto del Cambio Climático en el Volumen de Almacenamiento de la Laguna de Piuray 2024".

Al respecto, la Oficina de Formulación y Planificación de Proyectos de esta Gerencia, informa que la EPS SEDACUSCO S.A. cuenta con la información Batimetría del año 2020 y estudio higrológico de la Laguna de Piuray, la cual se remite en formato PDF mediante un QR adjunto.

Atentamente,

EPS SEDACUSCO S.A.

ING. LIONEL VILLAFUERTE ARAMBURÚ
GERENTE DE INGENIERIA Y PROYECTOS (e)

c.c.arch.
LVA/jac.-
Adj informe N° 026-2025-HTB-OFPP-GIP-EPS SEDACUSCO S.A.
Adj Exp 0201-2025 (01 Folio)

EPS SEDACUSCO S.A.

GERENCIA DE INGENIERIA Y PROYECTOS
24 FEB. 2025
Reg. N° 27
Firma:

INFORME Nº138-2025-OFPP-GIP-EPS SEDACUSCO S.A.

A	:	**Ing. Lionel Villafuerte Aramburu** **Gerente De Ingeniería Y Proyectos**
DE	:	**Ing. John Henry Cuno Choquehuancca** **Jefe de la Oficina de Formulación y Planificación de Proyectos**
ASUNTO	:	**REMITO ACCESP A LA INFORMACION DE LA LAGUNA DE PIURAY – DISTRITO DE SANTIAGO.**
REFERENCIA	:	**(1) EXPEDIENTE N°0201-2025** **(2) INFORME N°026-2025-HTB-OFPP-GIP EPS SEDACUSCO S.A.**
FECHA	:	**Cusco, 24 de febrero del 2025**

EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A. • EPS SEDACUSCO S.A.

Tengo a bien dirigirme a usted a fin de informar que, mediante documento de referencia (1) los tesistas Frank Gutierrez Salas y Teobaldo Arturo Vargas de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, solicitan acceso a la información de la Laguna de Piuray, para la Tesis denominada "Impacto del Cambio Climatico en el Volumen de Almacenamiento de la Laguna Piuray 2024", para lo que requieren la siguiente uinformacion:

- ✓ Levantamiento topográfico realizado en la microcuenca de la Laguna Piuray.
- ✓ Datos Batimétricos de la Laguna Piuray de loa años 2000 al 2024.

Al respecto, mediante documento de referencia (2) la Ing. Henry Taipe Bustamante informa que, la EPS SEDAUSCO S.A. cuenta con la información de Batimetría del año 2020 Y Estudio Hidrologico de la Laguna de Piuray.

Por lo tanto, se remite dicha información a los tesistas mediante un QR para que puedan tener acceso en formato PDF adjunto en el documento de referencia (2), así mismo en coordinación con los tesistas para que se nos facilite una copia del estudio realizado de la Laguna Piuray a la EPS SEDACUSCO S.A.

En ese sentido solicito que, a través de su Despacho, se haga de conocimiento a los interesados.

Atentamente,

EPS SEDACUSCO S.A.

Ing. John Henry Cuno Choquehuanca
Jefe Oficina Formulación y Planificación de Proyectos
AFD/
CC.
Se Adjunta:
(1) EXPEDIENTE N°0201-2025
(2) INFORME N°026-2025-HTB-OFPP-GIP EPS SEDACUSCO S.A.

EPS SEDACUSCO S.A.

HOJA DE ENVIO

EXPEDIENTE N°: ¨0201

FECHA : ¨09/01/2025

Nombre: FRANK GUTIERREZ SALAS

Asunto: SOLICITO ACCESO A LA INFORMACION DE LA LAGUNA DE PIURAY

PARA ENTREGAR A		FECHA	HORA	FIRMA
GIP	1	¨09/01/2025		
GCP.	01	09/01/25		
Dpto. Producción	(2)	10/01/25		
Ing. Ephraim Silva	6.	13/01/25		
G.I.P. (*)	02	14/01/25		
OFPP		17/02/25		
Ing. Henry Inga	03	18/02/25		

Sírvase no Desglosar esta hoja del Documento

1 Su conocimiento
2 Acción necesaria
3 Investigación e Informe
4 Proceda de acuerdo a lo infor.
5 Su atención
6 Preparar respuesta
7 Hacer saber al interesado
8 Transcripción
9 Revisión y trámite
10 Preparar resolución
11 Según solicitado
12 Archivo

13 (*) por corresponder.
14
15
16

FOTOGRAFIAS

Anexo 49. *Fotografía de vista panorámica de la Laguna Piuray y su entorno.*



Anexo 50. *Fotografía de la captación de agua de la laguna de Piuray*



Anexo 51. *Fotografia de la vista de captación de la bocatoma de SEDACUSCO*



Anexo 52. *Fotografia de la vista de la compuerta de la laguna Piuray.*



Anexo 53. *Fotografia de descarga natural de la laguna evidenciando caudal nulo durante la toma de datos*



Anexo 54. *Fotografia de Zona agrícola ubicada en la ribera de la Laguna Piuray*



Anexo 55. *Fotografia de cobertura vegetal dominada por plantaciones de Eucalypto en el área de estudio*



Anexo 56. *Fotografia de área de pastizales mejorados destinados a actividad ganadera.*



Anexo 57. *Fotografia de presencia de totorales (Schoenoplectus californicus) en sectores puntuales de la laguna*



Anexo 58. *Fotografia de afluente secundario con caudal mínimo previo a su ingreso a la Laguna Piuray*



Anexo 59. *Fotografia de otro afluente secundario con caudal reducido que descarga hacia la Laguna Piuray.*



Anexo 60. *Fotografia Afluente principal próximo a la laguna evidenciando disminución ignificativa de caudal.*



Anexo 61. *Fotografía Tramo del afluente principal en proceso de descarga hacia la Laguna Piuray*



Anexo 62. *Fotografía de la orilla de la Laguna Piuray donde se evidencia retracción del espejo de agua.*



PLANOS
DE LA CUENCA

LISTA DE PLANOS

Plano 1. Mapa de ubicación de la cuenca Piuray

Plano 2. Mapa de comunidades campesinas - cuenca Piuray

Plano 3. Mapa de delimitación de subcuencas y parámetros morfométricos

Plano 4. Mapa de uso de cobertura de la cuenca Piuray

Plano 5. Mapa de tipo de suelo e la cuenca Piuray

Plano 6. Mapa de pendientes de la cuenca Piuray

Plano 7. Mapa de unidades de respuesta hidrológica

Plano 8. Mapa de curva numero

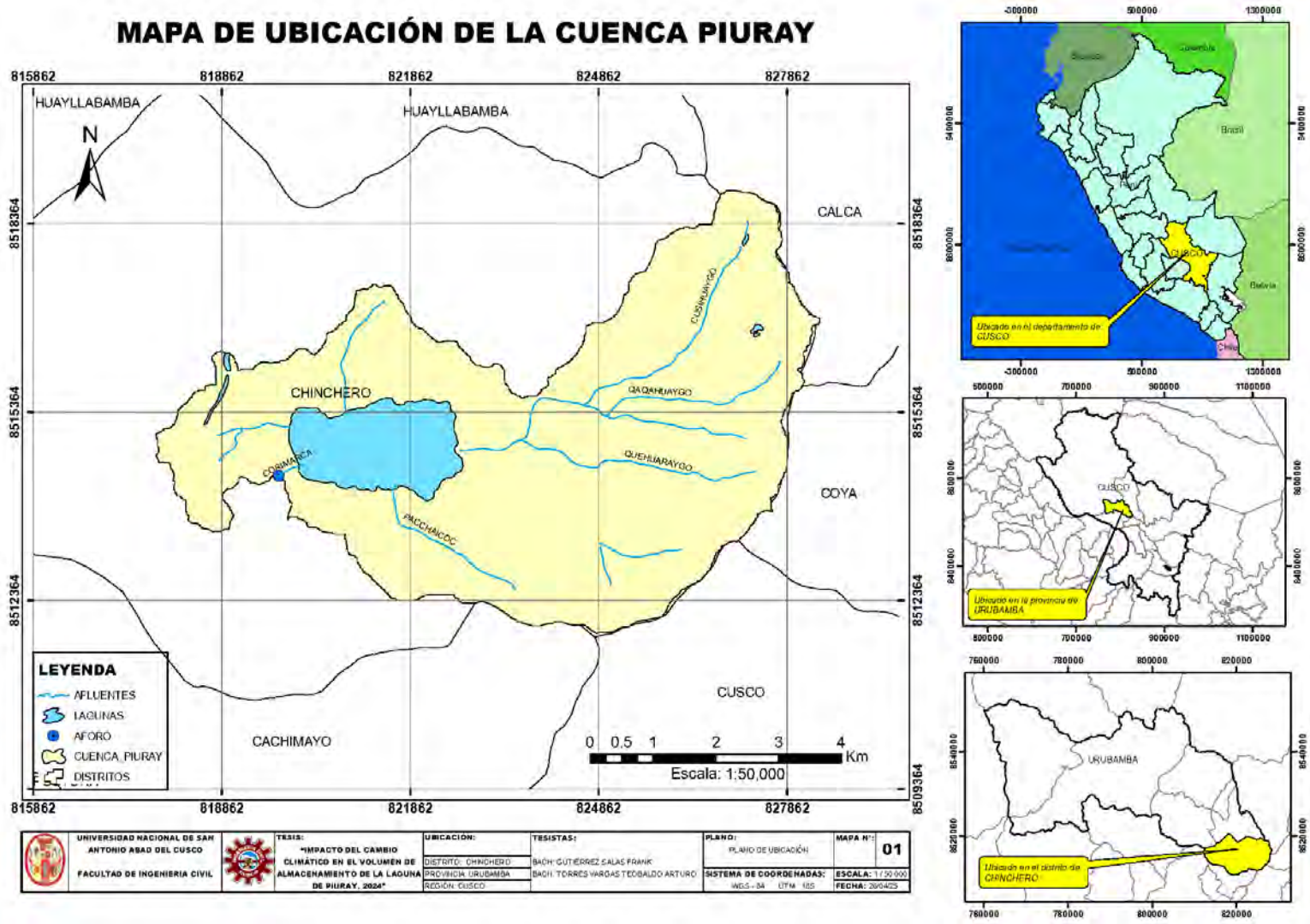
Plano 9. Mapa de estaciones meteorológicas

Plano 10. Plano batimétrico de la laguna Piuray

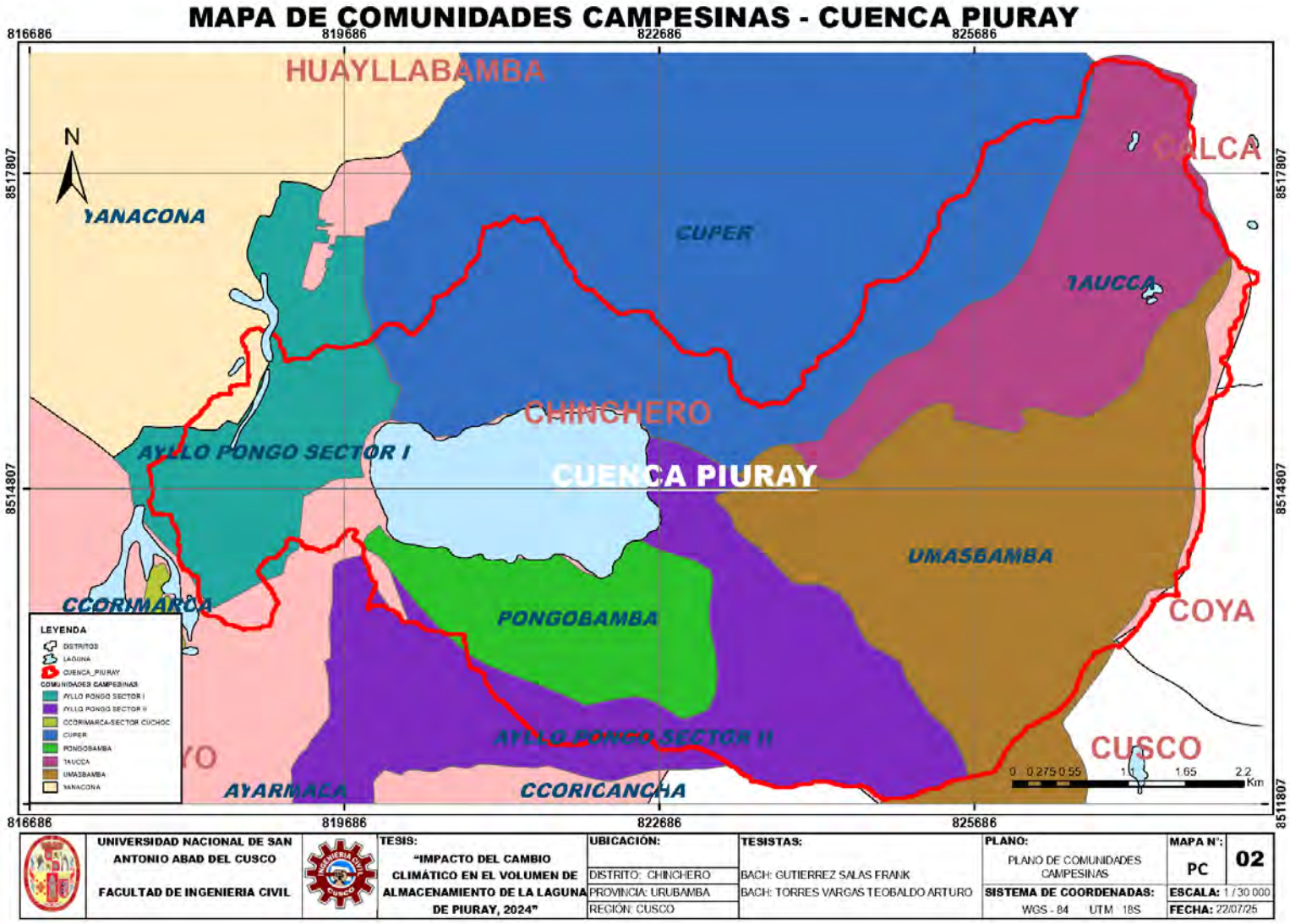
Plano 11. Plano perfil longitudinal y transversal de la laguna Piuray

Plano 12. Plano geológico de la cuenca Piuray

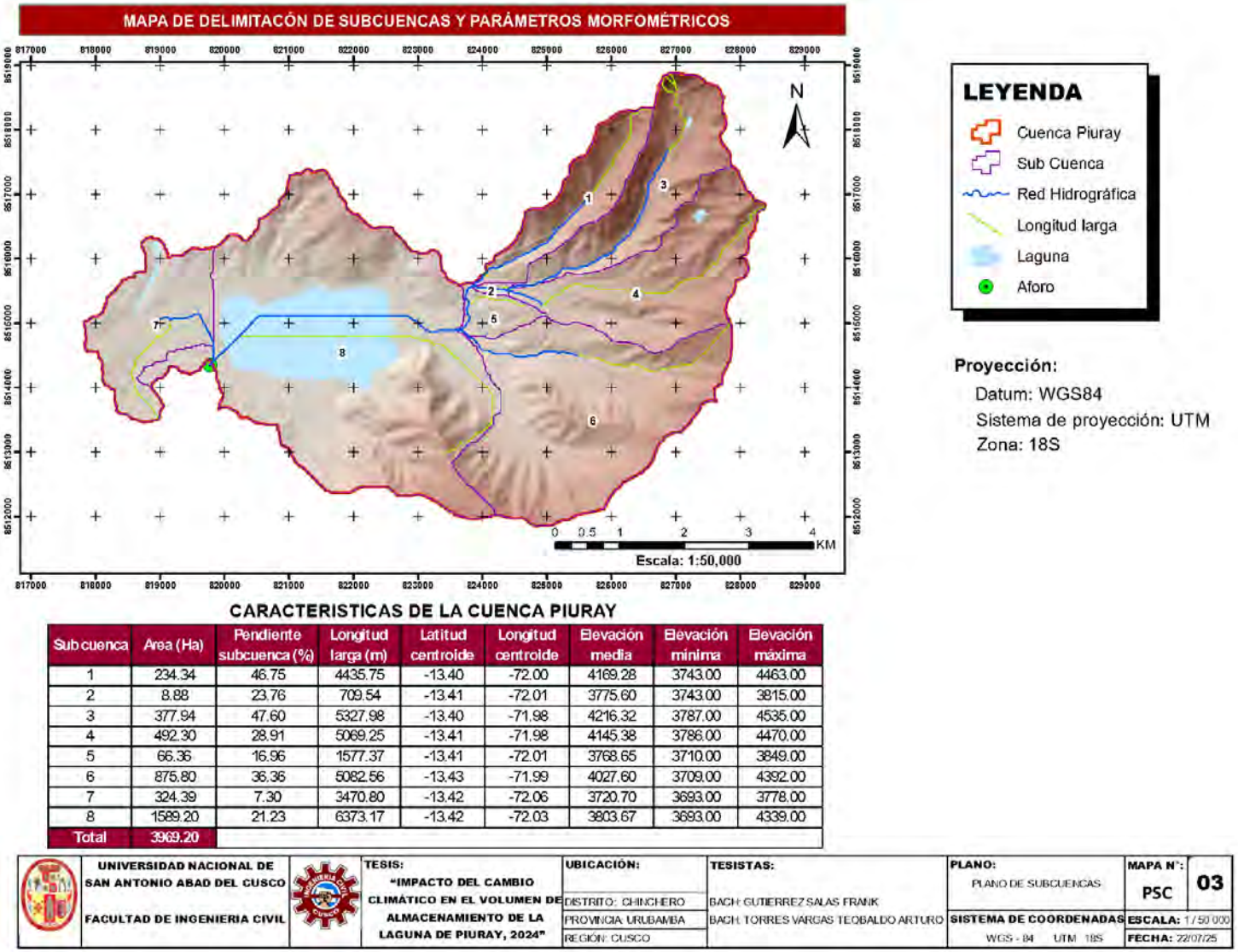
Plano 1. *Mapa de ubicación de la cuenca Piuray*



Plano 2. *Mapa de comunidades campesinas - cuenca Piuray*



Plano 3. *Mapa de delimitación de subcuencas y parámetros morfométricos*

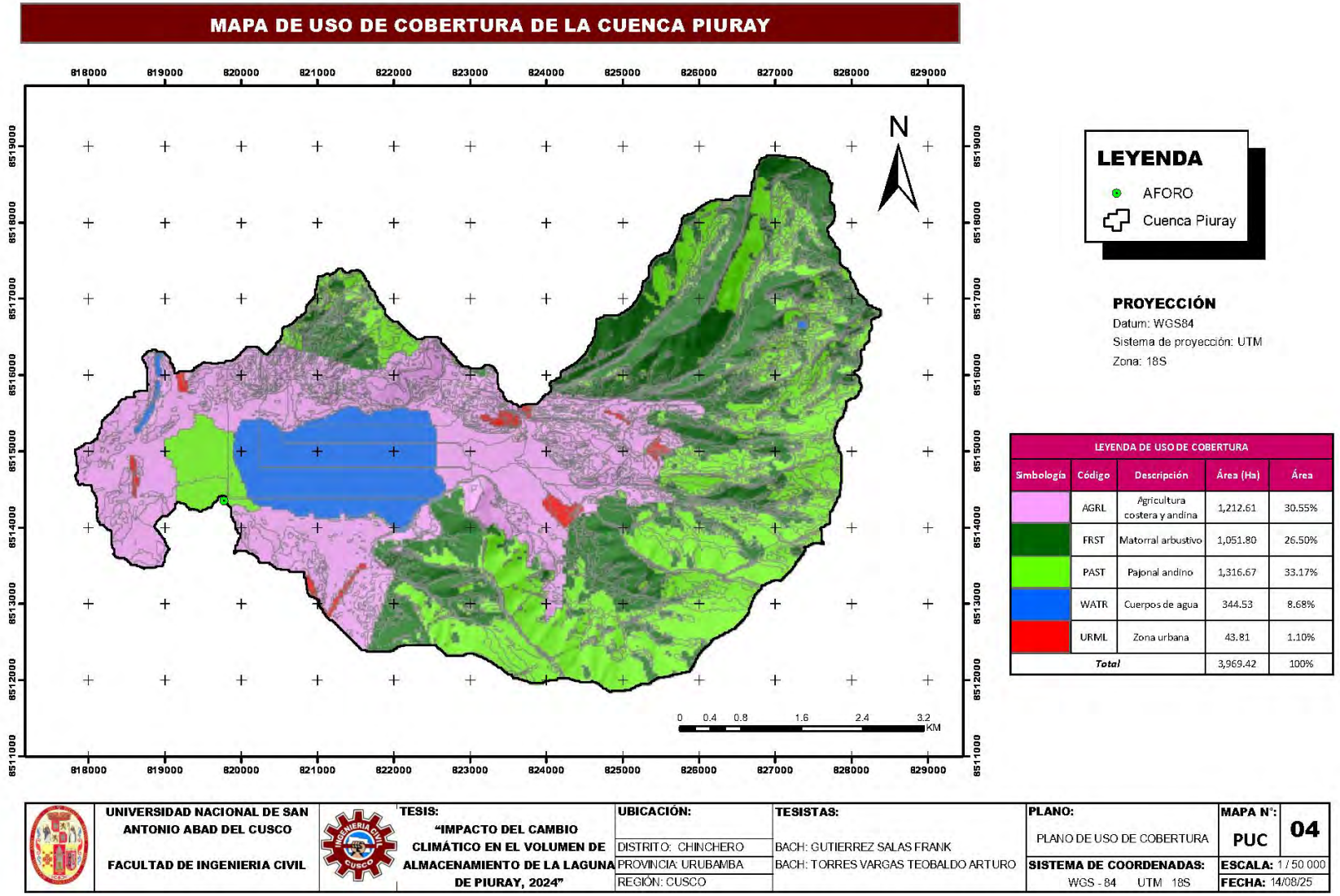


CARACTERISTICAS DE LA CUENCA PIURAY

Subcuenca	Area (Ha)	Pendiente subcuenca (%)	Longitud larga (m)	Latitud centroide	Longitud centroide	Elevación media	Elevación mínima	Elevación máxima
1	234.34	46.75	4435.75	-13.40	-72.00	4169.28	3743.00	4463.00
2	8.88	23.76	709.54	-13.41	-72.01	3775.60	3743.00	3815.00
3	377.94	47.60	5327.98	-13.40	-71.98	4216.32	3787.00	4535.00
4	492.30	28.91	5069.25	-13.41	-71.98	4145.38	3786.00	4470.00
5	66.36	16.96	1577.37	-13.41	-72.01	3768.65	3710.00	3849.00
6	875.80	36.36	5082.56	-13.43	-71.99	4027.60	3709.00	4392.00
7	324.39	7.30	3470.80	-13.42	-72.06	3720.70	3693.00	3778.00
8	1589.20	21.23	6373.17	-13.42	-72.03	3803.67	3693.00	4339.00
Total	3969.20							

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	TESIS: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"	UBICACIÓN: DISTRITO: CHINCHERO PROVINCIA: URUBAMBA REGIÓN: CUSCO	TESISTAS: BACH: GUTIERREZ SALAS FRANK BACH: TORRES VARGAS TEOBALDO ARTURO	PLANO: PLANO DE SUBCUENCAS SISTEMA DE COORDENADAS: WGS - 84 UTM 18S MAPA N°: PSC 03 ESCALA: 1/50 000 FECHA: 22/07/25

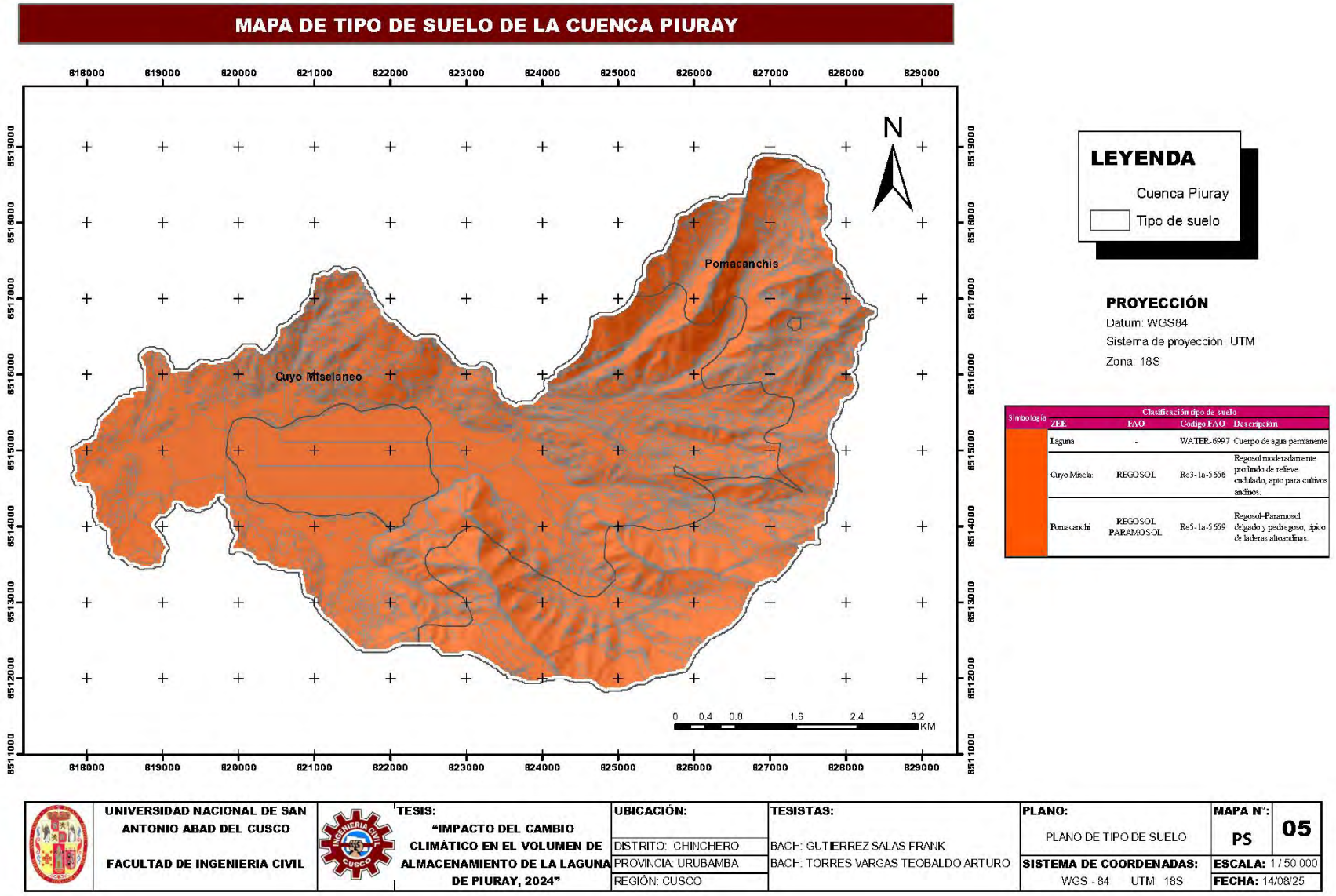
Plano 4. *Mapa de uso de cobertura de la cuenca piuray*



LEYENDA DE USO DE COBERTURA				
Simbología	Código	Descripción	Área (Ha)	Área
	AGRL	Agricultura costera y andina	1,212.61	30.55%
	FRST	Matorral arbustivo	1,051.80	26.50%
	PAST	Pajonal andino	1,316.67	33.17%
	WATR	Cuerpos de agua	344.53	8.68%
	URML	Zona urbana	43.81	1.10%
Total			3,969.42	100%

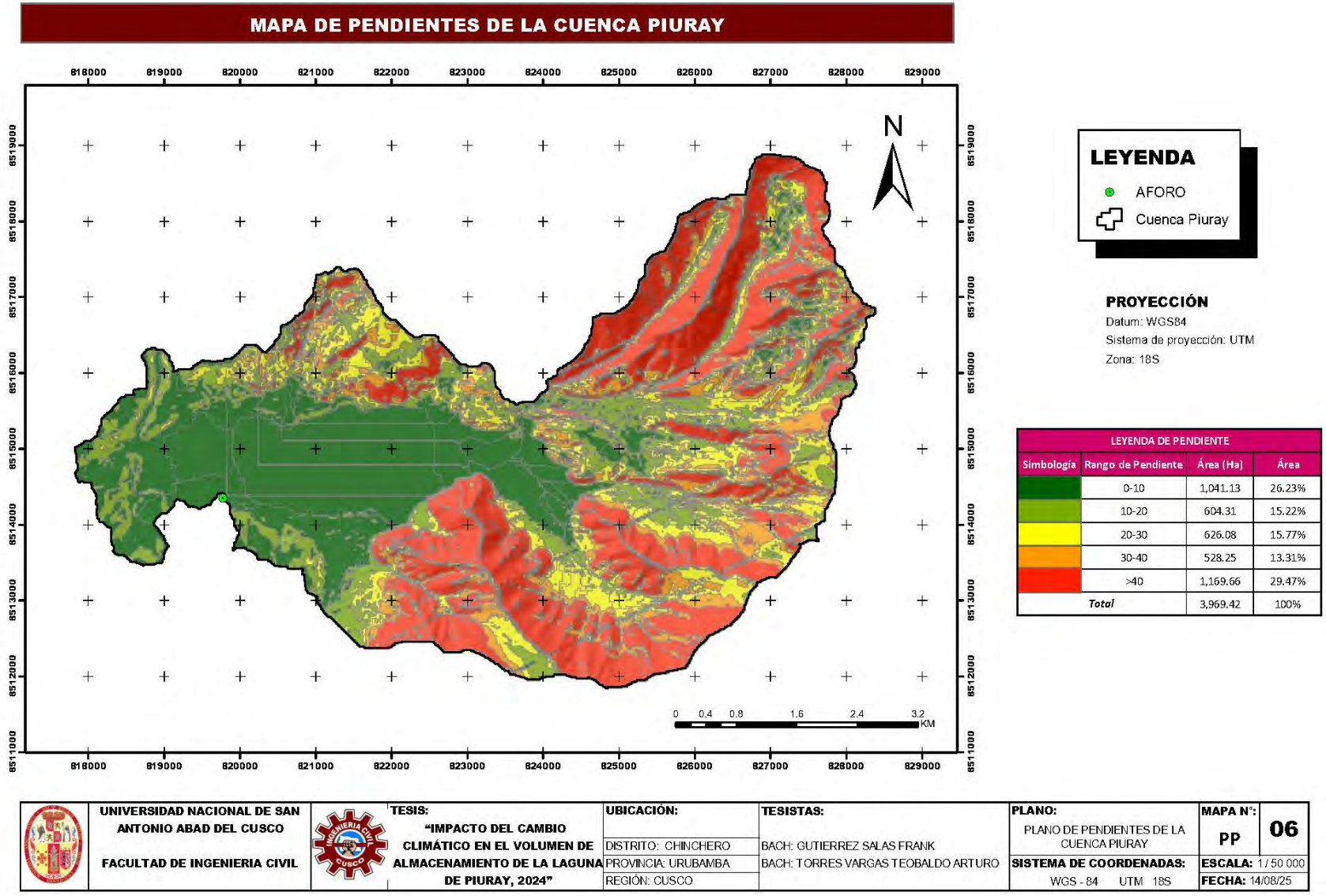
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	TESIS: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"	UBICACIÓN: DISTRITO: CHINCHERO PROVINCIA: URUBAMBA REGIÓN: CUSCO	TESISTAS: BACH: GUTIERREZ SALAS FRANK BACH: TORRES VARGAS TEOBALDO ARTURO	PLANO: PLANO DE USO DE COBERTURA SISTEMA DE COORDENADAS: WGS - 84 UTM 18S	MAPA N°: PUC 04 ESCALA: 1 / 50 000 FECHA: 14/08/25

Plano 5. *Mapa de tipo de suelo de la cuenca piuray*

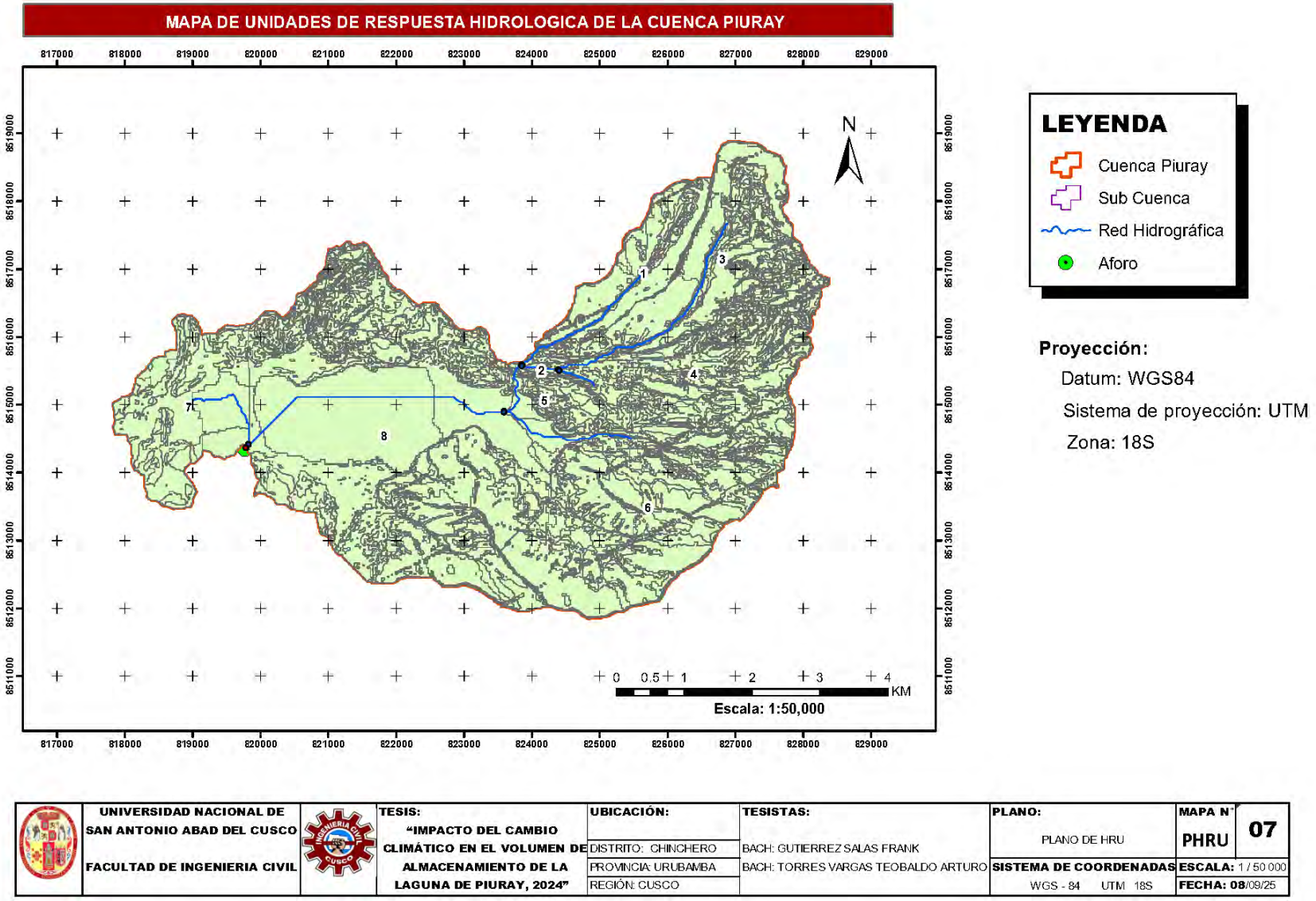


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	TESIS: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"	UBICACIÓN: DISTRITO: CHINCHERO PROVINCIA: URUBAMBA REGIÓN: CUSCO	TESISTAS: BACH: GUTIERREZ SALAS FRANK BACH: TORRES VARGAS TEOBALDO ARTURO	PLANO: PLANO DE TIPO DE SUELO SISTEMA DE COORDENADAS: WGS - 84 UTM 18S	MAPA N°: PS 05 ESCALA: 1 / 50 000 FECHA: 14/08/25

Plano 6. *Mapa de pendientes de la cuenca piuray*

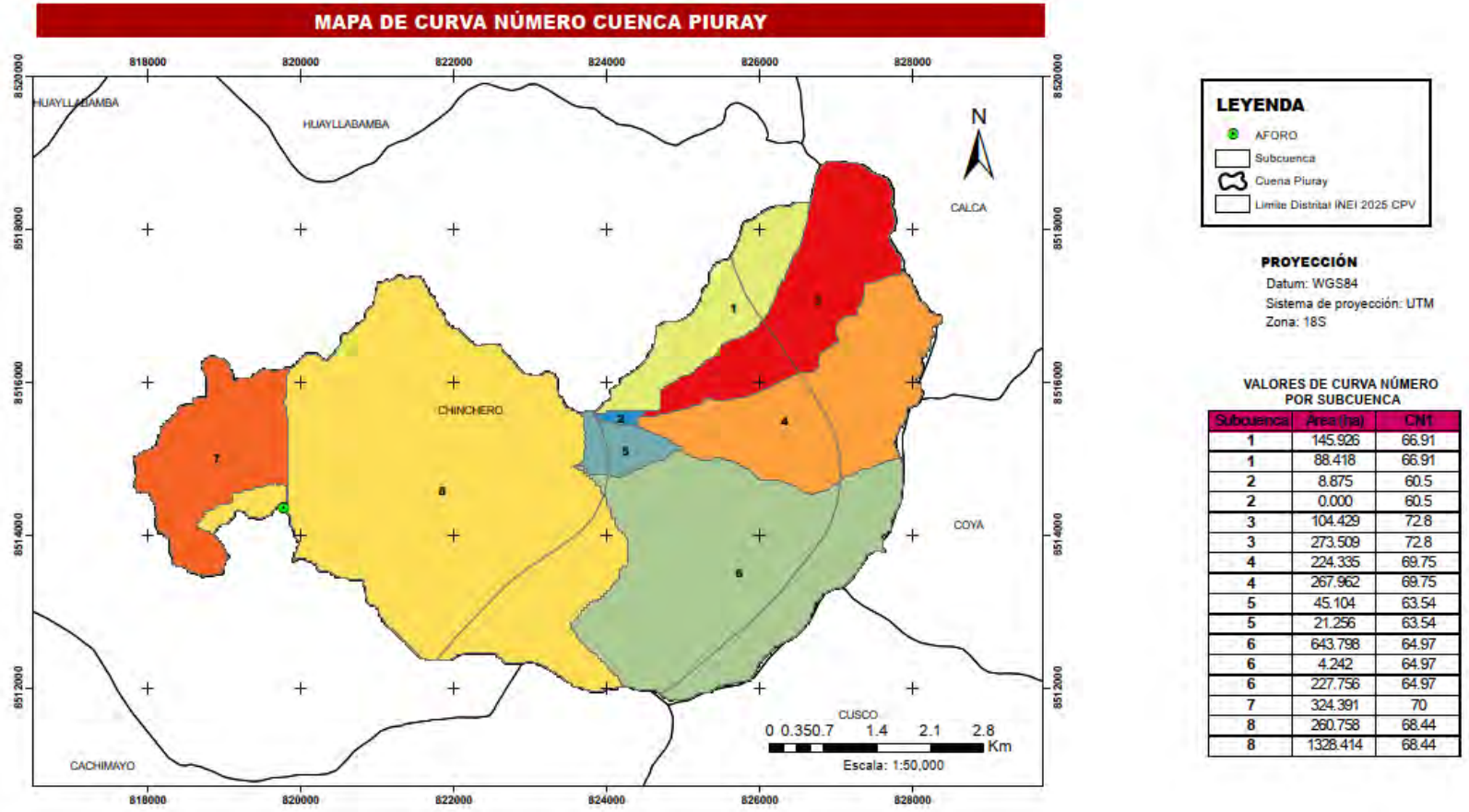


Plano 7. *Mapa de unidades de respuesta hidrológica*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	TESIS: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"	UBICACIÓN: DISTRITO: CHINCHERO PROVINCIA: URUBAMBA REGIÓN: CUSCO	TESISTAS: BACH: GUTIERREZ SALAS FRANK BACH: TORRES VARGAS TEOBALDO ARTURO	PLANO: PLANO DE HRU SISTEMA DE COORDENADAS WGS - 84 UTM 18S	MAPA N° PHRU 07 ESCALA: 1 / 50 000 FECHA: 08/09/25

Plano 8. *Mapa de curva numero*



LEYENDA

- AFORO
- Subcuenca
- Cuena Piuray
- Limite Distrital INEI 2025 CPV

PROYECCIÓN

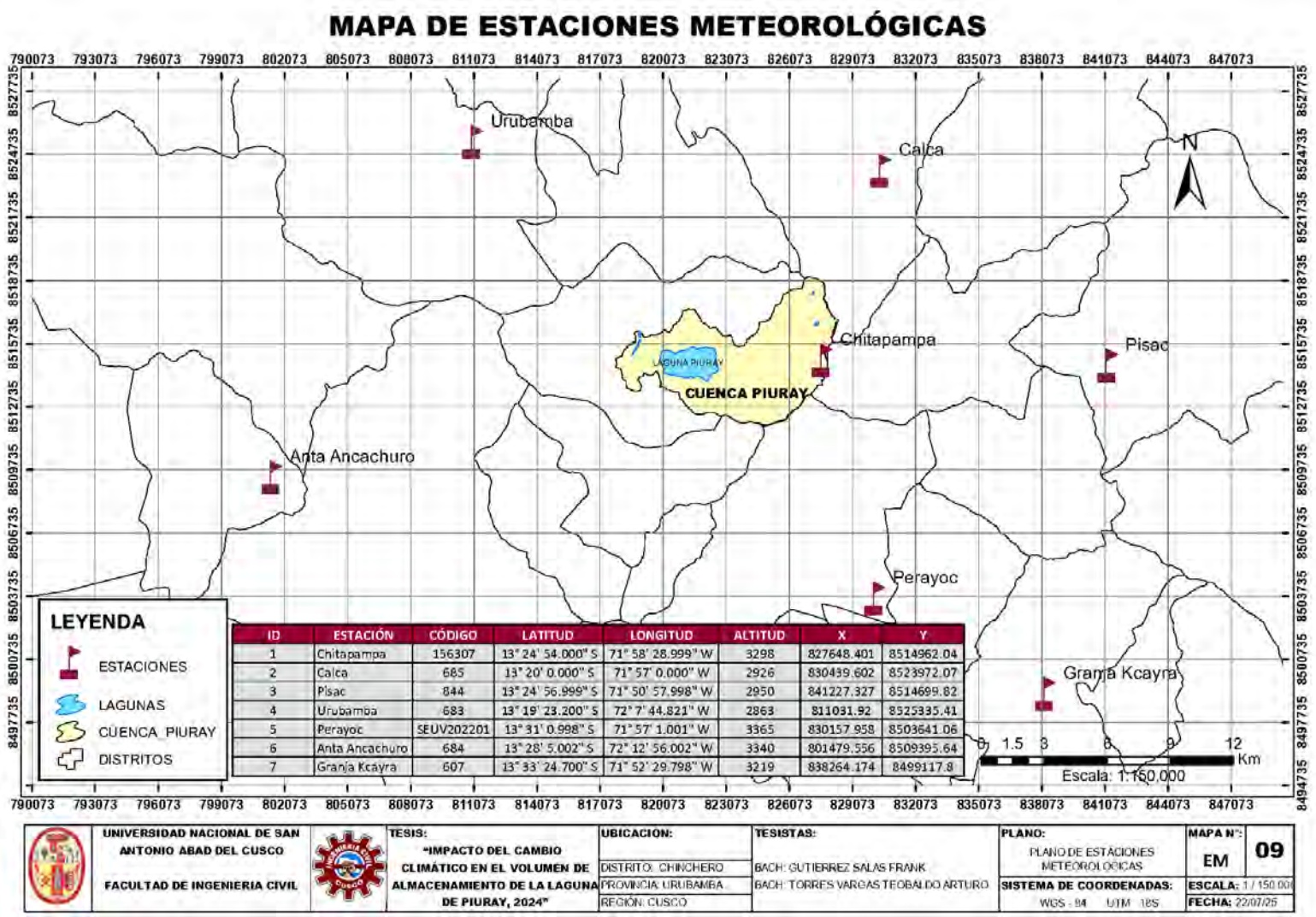
Datum: WGS84
Sistema de proyección: UTM
Zona: 18S

VALORES DE CURVA NÚMERO POR SUBCUENCA

Subcuenca	Area (ha)	CN1
1	145.926	66.91
1	88.418	66.91
2	8.875	60.5
2	0.000	60.5
3	104.429	72.8
3	273.509	72.8
4	224.335	69.75
4	267.962	69.75
5	45.104	63.54
5	21.256	63.54
6	643.798	64.97
6	4.242	64.97
6	227.756	64.97
7	324.391	70
8	260.758	68.44
8	1328.414	68.44

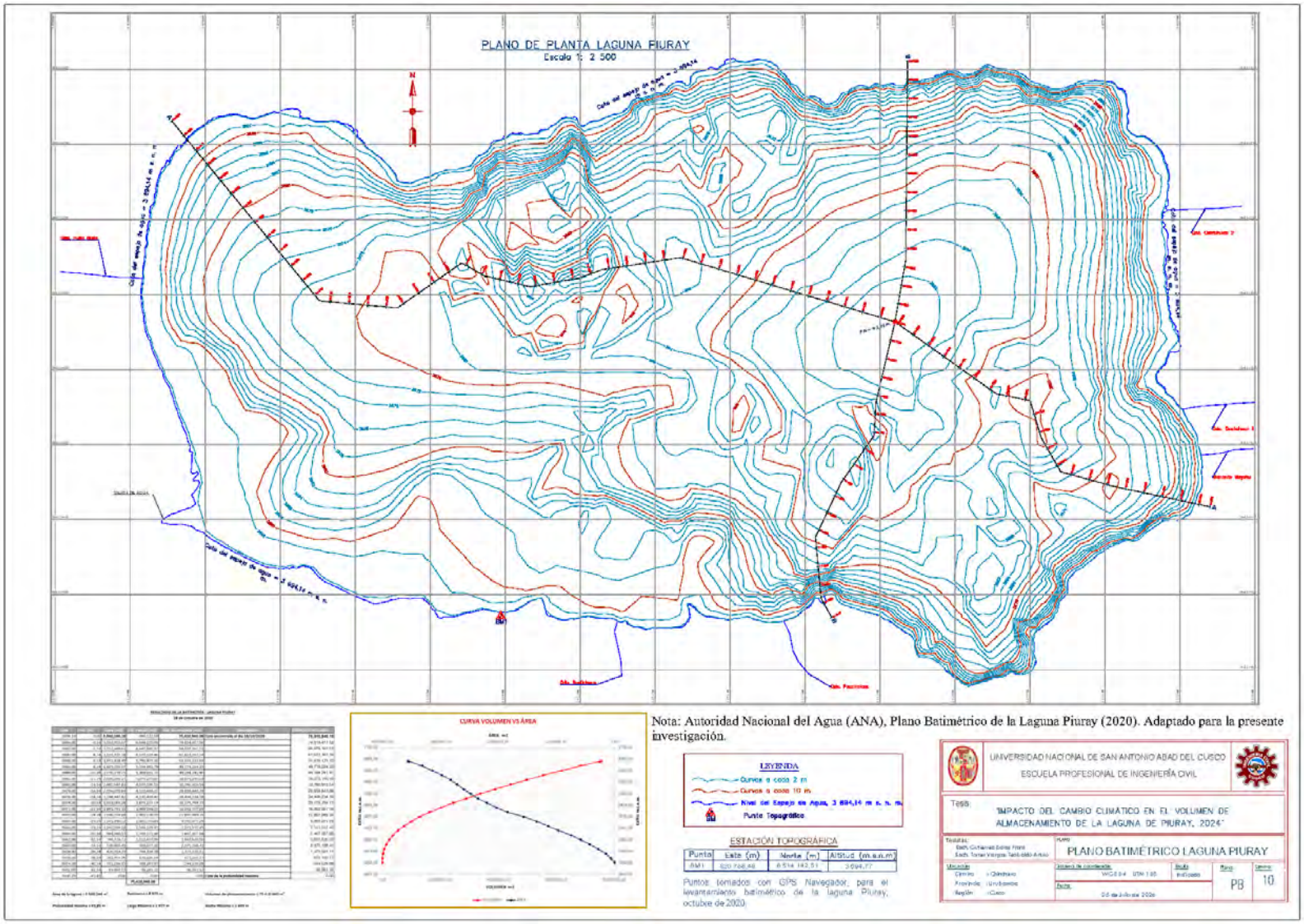
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	TESIS: "IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE PIURAY, 2024"	UBICACIÓN: DISTRITO: CHINCHERO PROVINCIA: URUBAMBA REGIÓN: CUSCO	TESISTAS: BACH: GUTIERREZ SALAS FRANK BACH: TORRES VARGAS TEOBALDO ARTURO	PLANO: PLANO DE CURVA NUMERO INICIAL DE LA CUENCA PIURAY SISTEMA DE COORDENADAS: WGS - 84 UTM 18S	MAPA N°: PCN 08 ESCALA: 1 / 75 000 FECHA: 19/01/26

Plano 9. *Mapa de estaciones meteorológicas*



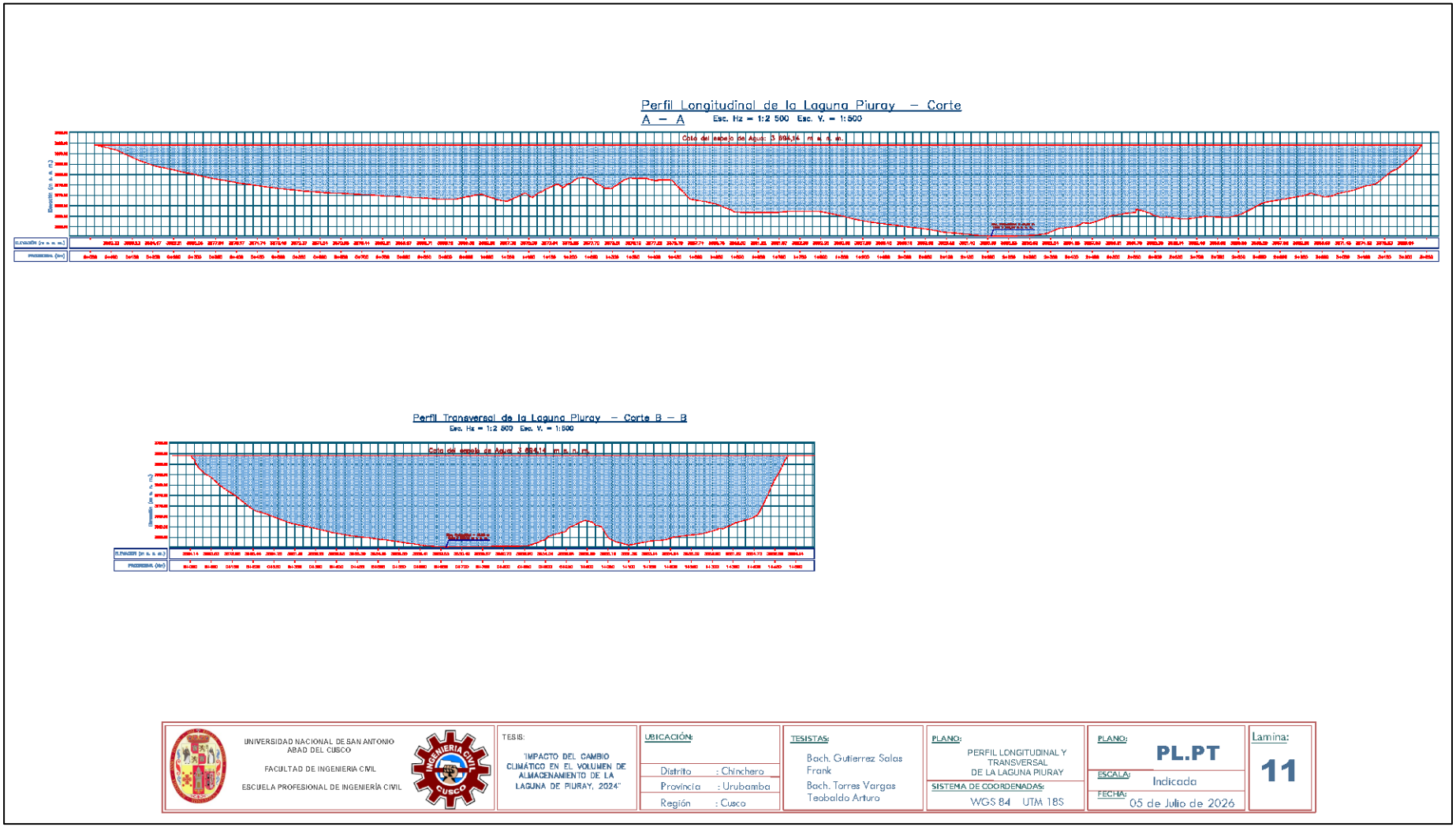
ID	ESTACIÓN	CÓDIGO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	X	Y
1	Chitapampa	156307	13° 24' 54.000" S	71° 58' 28.999" W	3298	827648.401	8514962.04
2	Calca	685	13° 20' 0.000" S	71° 57' 0.000" W	2926	830439.602	8523972.07
3	Pisac	844	13° 24' 56.999" S	71° 50' 57.998" W	2950	841227.327	8514699.82
4	Urubamba	683	13° 19' 23.200" S	72° 7' 44.821" W	2863	811031.92	8525335.41
5	Perayoc	SEUV202201	13° 31' 0.998" S	71° 57' 1.001" W	3365	830157.958	8503641.06
6	Anta Ancachuro	684	13° 28' 5.002" S	72° 12' 56.002" W	3340	801479.556	8509395.64
7	Granja Kcayra	607	13° 33' 24.700" S	71° 52' 29.798" W	3219	838264.174	8499117.8

Plano 10. *Plano batimétrico de la laguna Piuray*

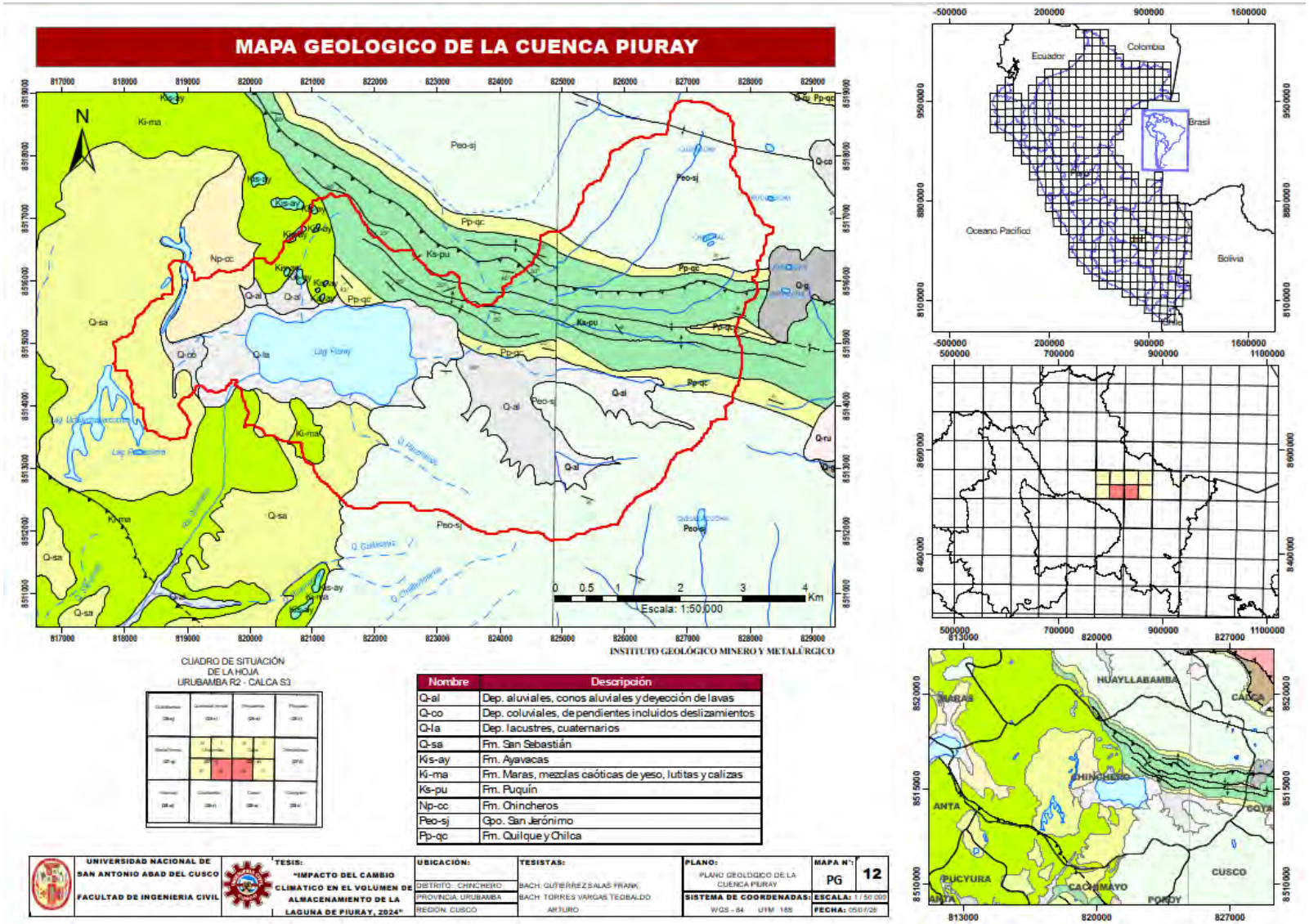


Nota: Autoridad Nacional del Agua (ANA), Plano Batimétrico de la Laguna Piuray (2020). Adaptado para la presente investigación.

Plano 11. *Plano perfil longitudinal y transversal de la laguna Piuray*



Plano 12. *Plano geológico de la cuenca Piuray*



Plano 13. *Plano corte hidrogeológico de la cuenca Piuray*

