

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA  
GENERACIÓN DE LOS CAUDALES DE LA CUENCA ALTA  
DEL RIO MAPACHO, REGIÓN CUSCO, 2023**

**PRESENTADO POR:**

BR. DANITZA VERONICA CCOPA MAQUE

BR. THALYA NOELY CAMINO MOROCCO

**PARA OPTAR AL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

DR. ING. EDWIN ASTETE SAMANEZ

**CUSCO- PERÚ**

**2025**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:” **INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GENERACIÓN DE LOS CAUDALES DE LA CUENCA ALTA DEL RIO MAPACHO, REGIÓN CUSCO, 2023**”

Presentado por: Bach. THALYA NOELY CAMINO MOROCCO con DNI Nro.: 70371259

Presentado por: Bach. DANITZA VERONICA CCOPA MAQUE con DNI Nro.: 72460403

Para optar el título profesional/grado académico de: Ingeniero civil.


Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **10%**

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 se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica 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 la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 19 de mayo de 2025



Firma

Post firma EDWIN ASTETE SAMANEZ

Nro. de DNI 25222417

ORCID del Asesor:0000-0001-7696-7371

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: trn:oid:::27259:458930808

# DANITZA VERÓNICA / THALYA NOELY CCOPA MAQ...

## TESIS PREGRADO\_ INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS CAUDALES DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAPACHO-v2

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:458930808

Fecha de entrega

13 may 2025, 5:41 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

19 may 2025, 12:41 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS PREGRADO\_ INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS CAUDALES DE LA CUENCA ALTA ....pdf

Tamaño de archivo

3.4 MB

196 Páginas

46.324 Palabras

252.236 Caracteres




# 10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

## Top Sources

- 9%  Internet sources
- 1%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags

### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## DEDICATORIA

***Danitza Verónica Ccopa Maque***

*A Dios por ser la fuente de esperanza y por darme fuerzas para seguir.*

*A mis amados padres Bertha y Justino, por todo su amor y apoyo incondicional.*

*A mis hermanas Ingrid y Rosmery, por su cariño y ser un soporte en las buenas y malas.*

*A mis pequeños sobrinos Micaela y Santiago, por todas las alegrías y sonrisas que me brindan.*

*A mis doctores, por su apoyo y comprensión y convertirse en aliados.*

***Thalya Noely Camino Morocco***

*A Dios por darme la fuerza necesaria para continuar.*

*A mis amados padres Nilda y Nicanor, por su paciencia y su amor incondicional.*

*A mi hermano Alvaro por acompañarme y apoyarme en este proceso.*

*A mis amigas del colegio por motivarme y estar presentes siempre cuando las necesito.*

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a nuestra alma mater, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y a los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSAAC que contribuyeron con nuestra formación académica y profesional, a través de sus conocimientos, enseñanzas y experiencias.

A nuestro asesor de tesis, Dr. Ing. Edwin Astete Samanez, por todo su apoyo, mentoría y disponibilidad de tiempo en la elaboración de la presente tesis a través de sus conocimientos y experiencia.

Al especialista de la Dirección Zonal 12- Cusco del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Ing. Juan Carlos Jimenez Nina, por el valioso aporte de información de los registros solicitados para el presente estudio.

A los ingenieros dictaminantes y replicantes de la tesis, Dr. Ing. Dante Rojas Huarcaya, MSc. Ing. Sandro Gutiérrez Samanez, Mgt. Ing. Gorki Ascue Salas e Ing. Rómulo Rivera Quiroga, por su tiempo, revisión y observaciones ofrecidas en la etapa final de la investigación.

A nuestro amigo, Ing. Ivan Guillen Chalco, por su apoyo tecnológico en la parte final de la tesis.

Expresar nuestro sincero agradecimiento al Convenio ARES- UNSAAC por el financiamiento económico otorgado para la ejecución de proyectos de investigación y tesis de pregrado a través del Programa de Apoyo Institucional 2022-2027, lo cual contribuyó con la generación de información y desarrollo de la presente tesis de pregrado.

Las autoras

## Índice

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
Lista de Tablas .....	vi
Lista de Figuras .....	viii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Situación Problemática .....	3
1.2. Formulación del Problema .....	4
1.2.1. Problema General .....	4
1.2.1. Problemas Específicos .....	4
1.3. Justificación de la investigación .....	5
1.3.1. Justificación técnica .....	5
1.3.2. Justificación social .....	5
1.3.3. Justificación por viabilidad .....	6
1.3.4. Justificación por relevancia .....	6
1.4. Objetivos de la investigación .....	6
1.4.1. Objetivo General .....	6
1.4.2. Objetivos Específicos .....	6
1.5. Limitaciones en la investigación .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1. Antecedentes de investigación a nivel internacional .....	8
2.1.2. Antecedentes de investigación a nivel nacional .....	9
2.1.3. Antecedentes de investigaciones a nivel regional .....	10
2.2. Base Teórica .....	11
2.2.1. Caudales .....	11
2.2.2. Cambio climático .....	20
2.3. Marco conceptual .....	26
2.3.1. Ciclo hidrológico .....	26
2.3.2. Parámetros hidrometeorológicos .....	29

2.3.3. Cuenca hidrográfica .....	35
2.3.4. Parámetros de la cuenca .....	38
2.4. Hipótesis de la investigación .....	42
2.4.1. Hipótesis General .....	42
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	43
2.5. Identificación de variables e indicadores.....	43
2.5.1. Variables.....	43
2.5.2. Indicadores .....	43
2.6. Operacionalización de variables .....	44
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	45
3.1. Ámbito de estudio .....	45
3.1.1. Ubicación de la zona de estudio .....	45
3.1.2. Delimitación hidrológica de la cuenca .....	47
3.1.3. Caracterización de la cuenca en estudio.....	52
3.1.4. Información hidrometeorológica disponible .....	57
3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación .....	61
3.2.1. Tipo de investigación .....	61
3.2.2. Nivel o alcance de investigación.....	61
3.2.3. Diseño de investigación .....	61
3.3. Unidad de Análisis.....	62
3.4. Población y muestra de estudio.....	63
3.4.1. Población.....	63
3.4.2. Muestra.....	63
3.5. Técnicas de recolección de información.....	63
3.5.1. Análisis documental .....	63
3.5.2. Observación directa.....	63
3.6. Técnicas de análisis e interpretación de información .....	64
3.6.1. Materiales.....	64
3.7. Etapas de la metodología .....	65
3.7.1. Información hidrometeorológica.....	65
3.7.2. Caracterización de la cuenca.....	65
3.7.3. Tratamiento de datos hidrometeorológicos .....	65
3.7.4. Modelamiento hidrológico SWAT.....	66

3.7.5. Análisis climático con Modelos Climáticos Globales.....	69
3.7.6. Cuantificación de la tasa de variación de las variables climáticas. ....	70
3.8. Esquema metodológico .....	71
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	72
4.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados.....	72
4.1.1. Características generales de la cuenca en estudio .....	72
4.1.2. Procesamiento de información de precipitación histórica.....	78
4.1.3. Procesamiento de información de temperatura histórica .....	103
4.1.4. Procesamiento de datos hidrométricos .....	116
4.1.5. Modelamiento hidrológico SWAT.....	122
4.1.6. Calibración y validación con SWAT-CUP .....	135
4.1.7. Selección del modelo climático global en la cuenca.....	144
4.2. Presentación de resultados .....	152
4.2.1. Modelamiento hidrológico con escenarios climáticos .....	152
4.2.2. Análisis de las proyecciones de cambio climático .....	153
4.2.3. Tendencias futuras y respuesta hidrológica en los periodos de estudio .....	156
4.2.5. Discusión de resultados.....	172
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	174
5.1. Conclusiones.....	174
5.2. Recomendaciones .....	174
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	176
ANEXOS .....	183

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Criterios de rendimiento del modelo hidrológico</i>	19
<b>Tabla 2</b>	<i>Métodos de corrección de sesgo para precipitación y temperatura</i>	25
<b>Tabla 3</b>	<i>Unidades hidrográficas</i>	38
<b>Tabla 4</b>	<i>Clasificación de las unidades hidrográficas de acuerdo al área</i>	39
<b>Tabla 5</b>	<i>Valores de forma en una cuenca</i>	39
<b>Tabla 6</b>	<i>Tipos de forma según el coeficiente de compacidad</i>	40
<b>Tabla 7</b>	<i>Interpretación de la densidad de drenaje</i>	41
<b>Tabla 8</b>	<i>Operacionalización de variables</i>	44
<b>Tabla 9</b>	<i>Coordenadas de la cuenca alta Mapacho</i>	45
<b>Tabla 10</b>	<i>Coordenadas de la Estación hidrométrica Chacllabamba</i>	49
<b>Tabla 11</b>	<i>Lagunas en el ámbito de la cuenca</i>	53
<b>Tabla 12</b>	<i>Principales glaciares dentro de la cuenca</i>	54
<b>Tabla 13</b>	<i>Áreas correspondientes a cada clasificación climatológica de la cuenca Yavero</i>	55
<b>Tabla 14</b>	<i>Resultados microbiológicos de análisis de agua</i>	56
<b>Tabla 15</b>	<i>Resultados químicos del análisis de agua</i>	56
<b>Tabla 16</b>	<i>Resultados analíticos del análisis de agua</i>	57
<b>Tabla 17</b>	<i>Información de estaciones meteorológicas de la cuenca Mapacho</i>	58
<b>Tabla 18</b>	<i>Información de estaciones hidrométricas en la cuenca Alta del Río Mapacho</i>	58
<b>Tabla 19</b>	<i>Periodo de estudio de la investigación</i>	62
<b>Tabla 20</b>	<i>Programas y herramientas utilizadas en la investigación</i>	64
<b>Tabla 21</b>	<i>Datos de entrada del modelo SWAT para la cuenca alta del río Mapacho</i>	66
<b>Tabla 22</b>	<i>Parámetros para la obtención del hidrograma</i>	77
<b>Tabla 23</b>	<i>Parámetros morfológicos de la cuenca alta del río Mapacho</i>	77
<b>Tabla 24</b>	<i>Información de cantidad de años completos en las estaciones</i>	79
<b>Tabla 25</b>	<i>Decisión sobre la utilización de datos en base al número de estaciones completas</i>	80
<b>Tabla 26</b>	<i>Formación de grupos 1 y 2 para la completación de datos</i>	87
<b>Tabla 27</b>	<i>Vector regional para el Grupo 1</i>	88
<b>Tabla 28</b>	<i>Cuadro resumen de la desviación estándar de desvíos- Datos del Grupo 1</i>	88
<b>Tabla 29</b>	<i>Vector regional para Grupo 2</i>	89
<b>Tabla 30</b>	<i>Cuadro resumen de la desviación estándar de datos de estaciones-Grupo 2</i>	89
<b>Tabla 31</b>	<i>Resumen de coeficientes obtenidos por método del Vector regional</i>	90
<b>Tabla 32</b>	<i>Resumen de los coeficientes de correlación (R) de la información PISCO y SENAMHI para los datos de precipitación</i>	96
<b>Tabla 33</b>	<i>Sobreestimación y subestimación de datos de precipitación mensuales en las estaciones seleccionadas para el año 2016</i>	97
<b>Tabla 34</b>	<i>Coefficientes de escalamiento para las precipitaciones de la Estación Challabamba (1981-1990)</i>	99
<b>Tabla 35</b>	<i>Precipitación media mensual (mm) durante el periodo 1981-2022</i>	101
<b>Tabla 36</b>	<i>Precipitación mensual promedio (1981-2022) en la cuenca alta del río Mapacho</i>	102
<b>Tabla 37</b>	<i>Coefficiente de correlación (R) de la información PISCO y SENAMHI para las estaciones seleccionadas</i>	109
<b>Tabla 38</b>	<i>Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura máxima en las estaciones (2016)</i>	110

<b>Tabla 39</b> <i>Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura mínima en las estaciones (2016)</i> .....	110
<b>Tabla 40</b> <i>Coefficientes de escalamiento para las temperaturas máximas en las estaciones para el año 2016</i> .....	112
<b>Tabla 41</b> <i>Coefficientes de escalamiento para las temperaturas mínimas en las estaciones para el año 2016</i> .....	112
<b>Tabla 42</b> <i>Temperatura media mensual de las estaciones seleccionadas</i> .....	113
<b>Tabla 43</b> <i>Temperatura promedio mensual (1981-2022) de la cuenca alta del río Mapacho</i> ...	114
<b>Tabla 44</b> <i>Caudal y niveles de agua medidos en el año 2013, Estación Chacllabamba</i> .....	117
<b>Tabla 45</b> <i>Coordenadas de la Estación hidrométrica Paucartambo</i> .....	119
<b>Tabla 46</b> <i>Caudales observados en la Estación Chacllabamba (m<sup>3</sup>/s)</i> .....	121
<b>Tabla 47</b> <i>Cobertura vegetal en la cuenca alta del Río Mapacho</i> .....	125
<b>Tabla 48</b> <i>Tipos de suelos y atributos en la cuenca alta del río Mapacho</i> .....	127
<b>Tabla 49</b> <i>Rangos de pendiente (%) utilizados en el modelo hidrológico SWAT</i> .....	128
<b>Tabla 50</b> <i>Periodos de simulación en el SWAT</i> .....	134
<b>Tabla 51</b> <i>Tabla de parámetros seleccionados y evaluados en el análisis de sensibilidad.</i> .....	137
<b>Tabla 52</b> <i>Valores resultantes del rendimiento de la calibración</i> .....	139
<b>Tabla 53</b> <i>Análisis de sensibilidad de los parámetros seleccionados</i> .....	140
<b>Tabla 54</b> <i>Parámetros sensibles obtenidos con SWAT-CUP</i> .....	141
<b>Tabla 55</b> <i>Valores de bondad de ajuste del modelo SWAT- Cuenca alta del río Mapacho</i> .....	142
<b>Tabla 56</b> <i>Resumen de indicadores de bondad de ajuste del modelo SWAT- Cuenca alta del río Mapacho</i> .....	143
<b>Tabla 57</b> <i>Resultados de caudales simulados obtenidos de SWAT (2003-2022)</i> .....	143
<b>Tabla 58</b> <i>Modelos climáticos globales representativos para Perú</i> .....	145
<b>Tabla 59</b> <i>Coefficiente BIAS y coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) para la precipitación y temperatura obtenida y datos simulados con MCGs en el periodo (2016-2022)</i> .....	152
<b>Tabla 60</b> <i>Generación de caudales mediante calibración en SWAT utilizando modelos climáticos</i> .....	153
<b>Tabla 61</b> <i>Precipitación media mensual (mm) de los datos observados y de los MCG en el escenario SSP2-4.5</i> .....	156
<b>Tabla 62</b> <i>Variación porcentual de la precipitación media mensual- Escenario SSP2-4.5</i> .....	157
<b>Tabla 63</b> <i>Valores de la precipitación media mensual del MGC y los datos observados- SSP585</i> .....	159
<b>Tabla 64</b> <i>Valores de tasas de cambio de la precipitación futura</i> .....	160
<b>Tabla 65</b> <i>Comportamiento de la temperatura máxima media mensual del GCM y los datos observados- SSP2-4.5</i> .....	162
<b>Tabla 66</b> <i>Valores de la variación de Temperatura máxima mensual futura (°C)- Escenario SSP2-4.5</i> .....	163
<b>Tabla 67</b> <i>Comportamiento de la temperatura máxima media mensual del GCM y los datos observados- SSP5-8.5</i> .....	165
<b>Tabla 68</b> <i>Valores de la variación de Temperatura máxima mensual futura (°C)- Escenario SSP5-8.5</i> .....	166
<b>Tabla 69</b> <i>Caudales simulados (m<sup>3</sup>/s)- Escenario SSP2-4.5</i> .....	168
<b>Tabla 70</b> <i>Tasa de variación de caudales (%) - Escenario SSP2-4.5</i> .....	169
<b>Tabla 71</b> <i>Caudales simulados (m<sup>3</sup>/s)- Escenario SSP5-8.5</i> .....	170

<b>Tabla 72</b> Tasa de variación de caudales (%) - Escenario SSP5-8.5 .....	171
<b>Tabla 73</b> Distritos pertenecientes a la cuenca alta del río Mapacho .....	185
<b>Tabla 74</b> Población y densidad poblacional de la provincia de Paucartambo .....	185
<b>Tabla 75</b> Condición de pobreza en las provincias dentro de la cuenca alta del río Mapacho (%) .....	186
<b>Tabla 76</b> Indicadores del IDH a nivel distrital- Paucartambo- Año 2019.....	186
<b>Tabla 77</b> Indicadores del IDH a nivel distrital- Quispicanchi- Año 2019 .....	187
<b>Tabla 78</b> Uso del suelo en la cuenca Mapacho .....	188
<b>Tabla 79</b> Ubicación de estaciones dentro de la cuenca de estudio .....	197
<b>Tabla 80</b> Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura máxima en las estaciones (2016).....	200
<b>Tabla 81</b> Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura mínima en las estaciones (2016).....	201
<b>Tabla 82</b> Caudales incompletos - Estación Chacllabamba (m <sup>3</sup> /s).....	208

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> A) Modelo de tipo agregado, B) Modelo Semi distribuido y C) Modelo Distribuido .....	13
<b>Figura 2</b> Clasificación de los Modelos Hidrológicos .....	14
<b>Figura 3</b> Esquema del ciclo hidrológico simulado con SWAT .....	15
<b>Figura 4</b> Clasificación de Métodos de regionalización .....	24
<b>Figura 5</b> Esquema del ciclo hidrológico.....	27
<b>Figura 6</b> Ciclo hidrológico sistematizado .....	28
<b>Figura 7</b> Plataforma de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua (ANDREA) .....	30
<b>Figura 8</b> Ubicación de las estaciones en la interfaz de la plataforma ANDREA .....	31
<b>Figura 9</b> Hidrograma unitario.....	34
<b>Figura 10</b> Diferencias en el número de estaciones.....	35
<b>Figura 11</b> Cuencas según la altitud .....	36
<b>Figura 12</b> Tipos de cuencas según desembocadura .....	37
<b>Figura 13</b> Delimitación de los límites de la cuenca .....	37
<b>Figura 14</b> Unidades hidrográficas- estructura graduada de una cuenca .....	38
<b>Figura 15</b> Área de influencia de Paucartambo- Vista satelital .....	45
<b>Figura 16</b> Mapa político administrativo dentro del ámbito de estudio.....	46
<b>Figura 17</b> DEM de la zona de estudio .....	48
<b>Figura 18</b> Proceso de delimitación de cuenca .....	49
<b>Figura 19</b> Polígono que marca los detalles superficiales de la subcuenca en formato Shapefile .....	50
<b>Figura 20</b> Delimitación del área de estudio .....	51
<b>Figura 21</b> Vista satelital de la cuenca en estudio .....	52
<b>Figura 22</b> Esquema topológico de la hidrografía del río Yavero- Mapacho .....	55
<b>Figura 23</b> Muestras de agua para el análisis de calidad de agua .....	57
<b>Figura 24</b> Ubicación de las estaciones meteorológica e hidrométricas en la cuenca Mapacho .....	59
<b>Figura 25</b> Ubicación de estaciones hidrométricas en la cuenca alta del río Mapacho .....	60
<b>Figura 26</b> Periodos de tiempo para los datos utilizados y etapas del modelamiento .....	63

<b>Figura 27</b>	<i>Datos de entrada para la simulación en SWAT</i> .....	67
<b>Figura 28</b>	<i>Proceso de modelamiento en SWAT</i> .....	70
<b>Figura 29</b>	<i>Esquema metodológico del estudio</i> .....	71
<b>Figura 30</b>	<i>Perfil del cauce del río Mapacho</i> .....	75
<b>Figura 31</b>	<i>Curva hipsométrica y altura media de la cuenca Mapacho</i> .....	75
<b>Figura 32</b>	<i>Hidrograma unitario sintético para la cuenca</i> .....	77
<b>Figura 33</b>	<i>Ubicación de las estaciones seleccionadas</i> .....	81
<b>Figura 34</b>	<i>Datos de precipitación total mensual (mm)- Estación Colquepata</i> .....	82
<b>Figura 35</b>	<i>Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Colquepata</i> .....	82
<b>Figura 36</b>	<i>Datos de precipitación total mensual- Estación Ccatca</i> .....	83
<b>Figura 37</b>	<i>Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Ccatcca</i> ...	83
<b>Figura 38</b>	<i>Datos de precipitación total mensual- Estación Challabamba</i> .....	84
<b>Figura 39</b>	<i>Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Challabamba</i> .....	84
<b>Figura 40</b>	<i>Datos de precipitación total mensual- Estación Paucartambo</i> .....	85
<b>Figura 41</b>	<i>Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Paucartambo</i> .....	85
<b>Figura 42</b>	<i>Visualización de la ubicación de las estaciones en la interfaz de ANDREA</i> .....	86
<b>Figura 43</b>	<i>Visualización del dendograma de las estaciones seleccionadas</i> .....	87
<b>Figura 44</b>	<i>Completación de datos Método Cut-off</i> .....	90
<b>Figura 45</b>	<i>Flujograma de completación de datos</i> .....	91
<b>Figura 46</b>	<i>Correlación entre variables por Cutoff- Grupo 1</i> .....	92
<b>Figura 47</b>	<i>Correlaciones entre estaciones</i> .....	93
<b>Figura 48</b>	<i>Correlación de datos de precipitación obtenida por PISCO con la precipitación registrada en la Estación Challabamba</i> .....	94
<b>Figura 49</b>	<i>Correlación de datos de precipitación obtenida de PISCO con la precipitación registrada en la Estación Paucartambo</i> .....	95
<b>Figura 50</b>	<i>Correlación de datos de precipitación obtenida por PISCO con la precipitación registrada en la Estación Colquepata</i> .....	95
<b>Figura 51</b>	<i>Correlación de datos de precipitación obtenida por PISCO con la precipitación registrada en la Est. Ccatca</i> .....	96
<b>Figura 52</b>	<i>Evaluación del registro pluviométrico- Est. Challabamba- Años 1981-2016</i> .....	98
<b>Figura 53</b>	<i>Evaluación del registro pluviométrico-Est. Challabamba año 2016</i> .....	98
<b>Figura 54</b>	<i>Datos de precipitación completos, Estación Challabamba</i> .....	100
<b>Figura 55</b>	<i>Datos de precipitación completos, Estación Colquepata</i> .....	100
<b>Figura 56</b>	<i>Datos de precipitación completos, Estación Ccatca</i> .....	101
<b>Figura 57</b>	<i>Datos de precipitación completos, Estación Paucartambo</i> .....	101
<b>Figura 58</b>	<i>Histograma de la precipitación media mensual de las estaciones consideradas</i> .....	102
<b>Figura 59</b>	<i>Tendencia de la precipitación total anual en la cuenca alta del río Mapacho (1981- 2022)</i> .....	103
<b>Figura 60</b>	<i>Temperatura máxima diaria (1981-2022)</i> .....	104
<b>Figura 61</b>	<i>Temperatura mínima diaria (1981-2022)</i> .....	105
<b>Figura 62</b>	<i>Correlación de datos de temperatura máxima por PISCO con la temperatura máxima en la Est. Challabamba del SENAMHI</i> .....	105

<b>Figura 63</b>	<i>Correlación de datos de temperatura máxima de PISCO con la temperatura máxima en la Est. Paucartambo del SENAMHI</i> .....	106
<b>Figura 64</b>	<i>Correlación de datos de temperatura máxima de PISCO con la temperatura máxima en la Est. Colquepata del SENAMHI</i> .....	106
<b>Figura 65</b>	<i>Correlación de datos de temperatura máxima de PISCO con la temperatura máxima en la Est. Ccatca del SENAMHI</i> .....	107
<b>Figura 66</b>	<i>Correlación de datos de temperatura mínima de PISCO con la temperatura mínima en la Est. Challabamba del SENAMHI</i> .....	107
<b>Figura 67</b>	<i>Correlación de datos de temperatura mínima de PISCO con la temperatura mínima en la Est. Paucartambo del SENAMHI</i> .....	108
<b>Figura 68</b>	<i>Correlación de datos de temperatura mínima por PISCO con la temperatura mínima en la Estación Colquepata del SENAMHI</i> .....	108
<b>Figura 69</b>	<i>Correlación de datos de temperatura mínima de PISCO con la temperatura mínima en la Estación Ccatca del SENAMHI</i> .....	109
<b>Figura 70</b>	<i>Evaluación de las temperaturas máximas-Est. Challabamba año 2016</i> .....	111
<b>Figura 71</b>	<i>Evaluación de las temperaturas mínimas-Est. Challabamba año 2016</i> .....	111
<b>Figura 72</b>	<i>Representación gráfica de la temperatura media mensual de las estaciones seleccionadas</i> .....	114
<b>Figura 73</b>	<i>Tendencia de la temperatura máxima anual de la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)</i> .....	115
<b>Figura 74</b>	<i>Tendencia de la temperatura mínima anual de la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)</i> .....	115
<b>Figura 75</b>	<i>Tendencia de la temperatura promedio anual de la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)</i> .....	116
<b>Figura 76</b>	<i>Curva de ajuste del caudal final</i> .....	118
<b>Figura 77</b>	<i>Área de cuenca delimitada – Punto de aforo Paucartambo</i> .....	120
<b>Figura 78</b>	<i>Hidrograma de los caudales en la estación hidrométrica Chacllabamba (m<sup>3</sup>/s)</i> .....	121
<b>Figura 79</b>	<i>Subcuencas resultantes de la modelación hidrológica en SWAT</i> .....	123
<b>Figura 80</b>	<i>Cobertura vegetal de la cuenca Mapacho</i> .....	124
<b>Figura 81</b>	<i>Clasificación de suelos según la cuenca de estudio</i> .....	126
<b>Figura 82</b>	<i>Banda de pendientes de la cuenca del río Mapacho</i> .....	129
<b>Figura 83</b>	<i>HRUs en la cuenca alta del río Mapacho</i> .....	130
<b>Figura 84</b>	<i>Formato de ingreso de precipitación para SWAT</i> .....	131
<b>Figura 85</b>	<i>Formato de ingreso de temperatura para SWAT</i> .....	132
<b>Figura 86</b>	<i>Número de curva para cada subcuenca del modelo hidrológico SWAT</i> .....	133
<b>Figura 87</b>	<i>Representación gráfica de los caudales observados y simulados- Simulación inicial</i> .....	135
<b>Figura 88</b>	<i>Proceso de calibración en SWAT</i> .....	136
<b>Figura 89</b>	<i>Datos de caudales medios mensuales observados subidos al SWAT-CUP</i> .....	138
<b>Figura 90</b>	<i>Resultados de la incertidumbre de los parámetros calibrados para la cuenca Mapacho</i> .....	141
<b>Figura 91</b>	<i>Hidrograma de simulación final con SWAT-CUP</i> .....	142
<b>Figura 92</b>	<i>Hidrograma de los caudales simulados con SWAT-CUP (2003-2022)</i> .....	144
<b>Figura 93</b>	<i>Interface de Cds.Copernicus</i> .....	146
<b>Figura 94</b>	<i>Interfaz de descarga de datos</i> .....	147

<b>Figura 95</b> Datos climáticos descargados .....	147
<b>Figura 96</b> Diagrama de procesamiento de datos para la proyección futura con CMhyd .....	148
<b>Figura 97</b> Interfaz de CMhyd .....	149
<b>Figura 98</b> CMhyd para downscaling de datos de precipitación .....	150
<b>Figura 99</b> Modelo climático CanESM5 descargado para la precipitación en el escenario SSP2-4.5 .....	150
<b>Figura 100</b> Reducción de sesgo y extracción de datos con CMhyd .....	151
<b>Figura 101</b> Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	154
<b>Figura 102</b> Precipitación total anual histórica (1981-2022) y Precipitación total anual futura (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 .....	155
<b>Figura 103</b> Tendencia del caudal promedio anual histórico (1981-2022) y Caudal promedio anual futuro (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	155
<b>Figura 104</b> Comportamiento de precipitación media mensual proyectada- Escenario SSP2-4.5 .....	157
<b>Figura 105</b> Variación de precipitación (%)- Futuro cercano SSP2-4.5 (2023-2049) .....	158
<b>Figura 106</b> Variación de precipitación (%)- Futuro cercano SSP2-4.5 (2023-2049).....	158
<b>Figura 107</b> Variación de precipitación (%)- Futuro lejano SSP2-4.5 (2075-2099).....	158
<b>Figura 108</b> Comportamiento de precipitación media mensual proyectada- Escenario SSP5-8.5 .....	160
<b>Figura 109</b> Variación de precipitación (%)- Futuro cercano (2023-2049)- Escenario SSP5-5.8.....	161
<b>Figura 110</b> Variación de precipitación (%)- Futuro medio (2050-2074)- Escenario SSP5-5.8 ..	161
<b>Figura 111</b> Variación de precipitación (%)- Futuro lejano (2075-2099)- Escenario SSP5-5.8 ...	162
<b>Figura 112</b> Comportamiento de la temperatura media mensual proyectada- Escenario SSP2-4.5 .....	163
<b>Figura 113</b> Variación de temperatura (°C)- Futuro cercano (2023-2049)- Escenario SSP2-4.5 ..	164
<b>Figura 114</b> Variación de temperatura (°C)- Futuro medio (2050-2074)- Escenario SSP2-4.5 ...	164
<b>Figura 115</b> Variación de temperatura (°C)- Futuro lejano (2075-2099)- Escenario SSP2-4.5 ...	164
<b>Figura 116</b> Comportamiento de la temperatura máxima media mensual del GCM y los datos observados- SSP5-8.5 .....	166
<b>Figura 117</b> Variación de temperatura (°C)- Futuro cercano (2023-2049)- Escenario SSP5-8.5 ..	167
<b>Figura 118</b> Variación de temperatura (°C)- Futuro medio (2050-2074)- Escenario SSP5-8.5 ...	167
<b>Figura 119</b> Variación de temperatura (°C)- Futuro lejano (2075-2099)- Escenario SSP5-8.5 ...	167
<b>Figura 120</b> Caudales proyectados (2023-2099)- Escenario SSP2-4.5 .....	169
<b>Figura 121</b> Caudales proyectados (2023-2099)- Escenario SSP5-8.5 .....	171
<b>Figura 122</b> Rango de tiempo de la información completa e incompleta de las estaciones meteorológicas.....	189
<b>Figura 123</b> Análisis visual de la precipitación total mensual (mm)- Estación de Kayra.....	190
<b>Figura 124</b> Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Kayra ..	190
<b>Figura 125</b> Datos de precipitación total mensual- Estación Pisac.....	191
<b>Figura 126</b> Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Pisac....	191
<b>Figura 127</b> Datos de la precipitación total mensual- Estación Sicuani.....	192
<b>Figura 128</b> Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Sicuani ..	192
<b>Figura 129</b> Datos de la precipitación total mensual- Estación Caicay .....	193
<b>Figura 130</b> Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Caicay ..	193

<b>Figura 131</b> Datos de la precipitación total mensual- Estación Perayoc .....	194
<b>Figura 132</b> Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Perayoc .....	194
<b>Figura 133</b> Histograma con datos completados de la Est. Kayra .....	195
<b>Figura 134</b> Histograma con datos completados de la Est. Pisac .....	195
<b>Figura 135</b> Histograma con datos completados de la Est. Sicuani .....	195
<b>Figura 136</b> Histograma con datos completados de la Est. Perayoc .....	196
<b>Figura 137</b> Histograma con datos completados de la Est. Caicay .....	196
<b>Figura 138</b> Combinación de histogramas con datos completados .....	196
<b>Figura 139</b> Página de acceso para descarga de datos PISCO .....	198
<b>Figura 140</b> Ubicación de las estaciones meteorológicas y pixeles de precipitación PISCO. ....	198
<b>Figura 141</b> Código R para la extracción de datos PISCO .....	199
<b>Figura 142</b> Corrección de datos diarios de la Estación Colquepata para el mes de Enero (1981) .....	201
<b>Figura 143</b> Elección de la función de distribución .....	202
<b>Figura 144</b> Distribución Log Gamma para la función .....	203
<b>Figura 145</b> Ejemplo de parámetros para estimar la bondad de ajuste .....	203
<b>Figura 146</b> Gráficos de las funciones de distribución de ajuste .....	204
<b>Figura 147</b> Elección del método de Kolmogorov-Smirnov .....	204
<b>Figura 148</b> Generación de números aleatorios .....	205
<b>Figura 149</b> Números aleatorios generados para la completación de datos de temperatura ...	205
<b>Figura 150</b> Cartilla de Control de Descargas – SENAMHI .....	206
<b>Figura 151</b> Aforo de caudales según SENAMHI .....	207
<b>Figura 152</b> Curva de ajuste del caudal – primera regresión .....	207
<b>Figura 153</b> Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Ccatca .....	247
<b>Figura 154</b> Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Challabamba .....	248
<b>Figura 155</b> Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Paucartambo .....	248
<b>Figura 156</b> Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Colquepata .....	249

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación consiste en analizar la influencia del cambio climático en la generación de caudales de la cuenca alta del río Mapacho localizado en las provincias de Paucartambo y Quispicanchi de la región del Cusco al año 2099, implementando el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

Se utilizaron como datos de entrada a la información del Modelo Digital de Elevación, los tipos de suelos, los usos de suelos, además de la información climática de precipitación y temperatura de 4 estaciones del SENAMHI que se encuentran dentro de la cuenca, así como datos del producto grillado PISCO con su respectiva corrección de sesgo en el periodo de tiempo de 1981 al 2022. A partir del modelamiento, fue necesario calibrar y validar el modelo hidrológico con los datos de caudales mensuales medidos en la estación hidrométrica Chacllabamba.

Las simulaciones climáticas provienen de tres modelos del proyecto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project) bajo los escenarios de emisión de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP4.5 y SSP8.5, en el periodo de referencia (2016-2022) y en el periodo futuro (2023-2099). Las proyecciones de precipitación y temperatura proceden de los modelos climáticos globales (GCMs) MPI.ESM1-2-LR, CNRM-CM6-1 y CanESM5 regionalizados con la técnica de Mapeo de distribución (DM) para la precipitación y temperatura en el software CMhyd, dando como resultado al modelo MPI.ESM1.2.LR como el que mejor se ajusta según los criterios estadísticos. El modelo mostró un desempeño adecuado según los indicadores estadísticos Nash-Sutcliffe (NSE), PBIAS y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Los resultados muestran que, para el caso de los caudales, en los meses de junio-agosto (época de secas) existe una disminución hasta en un -19.6% (SSP4.5) y hasta un -20.3% (SSP8.5), mientras que para los meses de lluvias comprendidos entre noviembre - abril existe un incremento de la oferta hídrica en un +19.2% (SSP4.5) y hasta un +43.9% (SSP8.5). Asimismo, en las próximas décadas, la temperatura media anual aumenta en promedio en 2.35 °C en el escenario SSP2-4.5 y en 3.34°C en el escenario SSP5-8.5 proyectado al año 2099. Por su parte, la precipitación muestra una tendencia de incremento en un 11.55% (SSP2-4.5) y un incremento de 18.63% para el escenario SSP5-8.5.

El incremento tanto en las precipitaciones como en los caudales podría implicar un riesgo de inundaciones, teniendo repercusiones sociales y económicas en la población. Por lo tanto, es fundamental considerar planes de mitigación y gestión de recursos hídricos en la cuenca alta del río Mapacho ante los posibles efectos del cambio climático.

**Palabras clave:** Caudales, cambio climático, modelo SWAT, modelos climáticos globales y cuencas altoandinas.

## ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the influence of climate change on streamflow generation within the upper basin of the Mapacho River, located in the provinces of Paucartambo and Quispicanchi in the Cusco region, projected to the year 2100. This analysis is conducted through the implementation of the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model.

The model inputs included a Digital Elevation Model, soil type classifications, land use data, and climatic variables—specifically precipitation and temperature records—from four SENAMHI meteorological stations located within the basin. Additionally, gridded climate data from the PISCO dataset, corrected for bias, were incorporated for the historical period spanning 1981 to 2022. Model calibration and validation were carried out using monthly streamflow data recorded at the Chacllabamba hydrometric station.

Future climate simulations were obtained from three General Circulation Models (GCMs) participating in the CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), under two Shared Socioeconomic Pathway (SSP) emission scenarios: SSP2-4.5 and SSP5-8.5. These simulations covered both the reference period (2016–2022) and the future projection period (2023–2099). The selected GCMs—MPI-ESM1-2-LR, CNRM-CM6-1, and CanESM5—were downscaled using the Distribution Mapping (DM) technique for precipitation and temperature via the CMhyd software. Among them, the MPI-ESM1-2-LR model demonstrated the best statistical performance and was therefore selected for subsequent analyses. The hydrological model exhibited satisfactory performance based on the Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), Percent Bias (PBIAS), and the Coefficient of Determination ( $R^2$ ).

The results indicate significant alterations in climatic variables. Specifically, during the dry season months (June to August), streamflows are projected to decrease by up to 19.6% under the SSP2-4.5 scenario and by 20.3% under SSP5-8.5. Conversely, during the wet season (November to April), water availability is expected to increase by approximately 19.2% (SSP2-4.5) and up to 43.9% (SSP5-8.5). Furthermore, average annual temperatures are projected to rise by 2.35 °C under SSP2-4.5 and by 3.34 °C under SSP5-8.5 by the end of the 21st century. Precipitation also shows a positive trend in both scenarios, with increases of 11.55% and 18.63%, respectively.

The anticipated increase in both precipitation and streamflow suggests a heightened risk of flooding in the basin. Consequently, it is imperative to incorporate climate change projections into future water resource management and mitigation planning strategies for the upper Mapacho River basin.

**Keywords:** Streamflows, climate change, SWAT model, global climate models, and high-Andean watersheds.

# INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GENERACIÓN DE LOS CAUDALES DE LA CUENCA ALTA DEL RIO MAPACHO, REGIÓN CUSCO, 2023

## INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas, se observa un evidente cambio en el clima, que persiste durante largos periodos de tiempo, y que impacta a nivel global en diversas escalas. Es así que, con la motivación de encontrar respuestas sobre el comportamiento del clima futuro y de qué manera ello podría afectar en los diversos sectores, se crearon instituciones internacionales especializadas en la materia, siendo una de las más relevantes el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) que a través de sus informes, muestran los múltiples efectos del cambio climático y los que se podrían presentar en el futuro, enfatizando en las consecuencias sobre los diversos ecosistemas naturales, zonas costeras, agricultura, recursos hídricos y salud (IPCC, 2020).

En el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC (2021) se estima que los impactos más significativos del cambio climático para América Latina serán sobre sus recursos hídricos. De este modo, se evalúan efectos directos sobre la oferta hídrica futura que variarán de acuerdo a cada zona del mundo, y que dependen del comportamiento futuro de variables climáticas como la precipitación y la temperatura. Para prever este comportamiento futuro, se utilizan modelos avanzados de interacción Océano-Atmósfera, conocidos como Modelos Climáticos Globales (Global Climate Model, GCM). Es decir, para evaluar el cambio climático y su impacto en los recursos hídricos, los GCM permiten estimar la precipitación y temperatura futura. A partir de estos datos, se puede utilizar un modelo hidrológico para calcular el caudal futuro en la cuenca de interés, lo que permite cuantificar el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua futura. Actualmente, los GCM se emplean bajo escenarios que consideran diferentes trayectorias socioeconómicas compartidas, que consideran el impacto de la industria y la concentración de gases de efecto invernadero (SSP, por sus siglas en inglés).

Además, según Urrutia y Vuille (2009), en los Andes tropicales, es probable que un aumento considerable de la temperatura y modificaciones en los patrones de precipitación, impacten la extensión y distribución de los glaciares y humedales, la estabilidad de los ecosistemas, así como la disponibilidad de agua para consumo humano, riego y generación de energía. De esa manera, se han identificado zonas altoandinas dentro de la región del Cusco, como es el caso de la cuenca alta del río Mapacho, cuyas aguas se originan por el derretimiento de

nevados, presentándose como una cuenca vulnerable ante los posibles efectos del cambio climático y la disponibilidad hídrica futura.

El trabajo de investigación está organizado de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se presenta la descripción del problema de investigación, las preguntas de investigación, la justificación y los objetivos de la investigación

El Capítulo 2 ofrece información sobre el marco teórico y el marco conceptual. En el marco teórico se presenta la revisión de información vinculada a las variables, mientras que en el marco conceptual se explican los principales conceptos sobre el desarrollo.

En el Capítulo 3 se identifica la zona de estudio e información disponible sobre la misma. Además, se describe la metodología utilizada y las técnicas de recolección y análisis de información.

El Capítulo 4 expone el análisis y los resultados de la investigación, incluyendo el procesamiento climático y simulación del SWAT, los resultados del análisis estadístico, los resultados del modelado hidrológico y el análisis de las tendencias climáticas futuras.

Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones de la tesis de investigación. También se incluyen las referencias consultadas para la investigación.

# CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Situación Problemática

En el Perú existen estudios realizados por el Ministerio del Ambiente (2011) que indican que el cambio climático ha ido ocasionando alteraciones dentro del ciclo hidrológico. Ello por la variación en los patrones climáticos y los regímenes hídricos, así como la intensidad adquirida en los fenómenos climáticos extremos (ANA & MINAGRI, 2013). Asimismo, es notable la mayor recurrencia del fenómeno de El Niño y su variante El Niño Costero (Oxfam, 2007), demostrándose que nuestro país presenta gran vulnerabilidad ante las variaciones climáticas drásticas, que afectan la disponibilidad de los recursos hídricos para diversos usos y repercuten en la calidad de vida de la población (Vargas, 2009).

Así, la región del Cusco, ubicada en el sur peruano, viene presentando un comportamiento pluvial inestable, ocasionando la presencia de sequías prolongadas y presencia de avenidas máximas en época de lluvias, lo cual ha motivado la construcción de defensas ribereñas y entre otras obras hidráulicas para mitigar los efectos de desastres naturales como inundaciones, huaycos, deslizamientos, y entre otros (SENAMHI, 2019). En ese sentido, las zonas altoandinas de la región del Cusco, no se muestran exentas a estos impactos del cambio climático.

Tal es el caso de la cuenca alta del río Mapacho, la cual se caracteriza por ser una zona de producción agrícola, pecuaria y con mayor dinamismo social en los últimos años, cuyas fuentes hídricas superficiales y subterráneas se originan por el deshielo glaciar de los nevados de la cordillera del Vilcanota. Según el inventario de fuentes hídricas elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en la cuenca Mapacho se han identificado 1836 manantiales, 1300 quebradas, 67 ríos, 27 bofedales y 14 lagunas (ANA, 2020). Estas fuentes hídricas enfrentan la amenaza de la pérdida de volumen de agua disponible por el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación pluvial en época de estiaje.

Según el Centro de Estudios y Prevención de Desastres- PREDES (2011) una de las mayores vulnerabilidades de las zonas altoandinas de las provincias de Quispicanchi y Paucartambo, es la ocurrencia de eventos naturales extremos durante época de lluvias como la presencia de inundaciones por el incremento considerable de los niveles de caudales en los ríos y el desbordamiento de lagunas pro glaciares, lo que ha tenido incidencias negativas y ha requerido de ayuda externa inmediata para el control de dichas avenidas en la cuenca. Ante estos hechos, se comprueba que las condiciones climáticas extremas como precipitaciones intensas pueden ocasionar perjuicios como crecidas de ríos, erosión de suelos y alteración de los ecosistemas, lo cual luego se traduce en efectos colaterales como perjuicios sociales, económicos y ambientales; por lo que es posible entender que el comportamiento muy variable de los caudales puede significar un riesgo para la población en la zona de la cuenca.

Ante este contexto es importante evaluar la disponibilidad hídrica futura a fin de proponer planes de acción para una gestión estable y sostenible del agua, para lo cual existen herramientas como el modelo SWAT que permiten simular y evaluar las variaciones del sistema hídrico en una cuenca utilizando de insumo los Modelos climáticos globales. Para estudiar la influencia del cambio climático en la variación de los caudales, que es el objetivo de esta investigación, se utilizarán los Modelos Climáticos Globales (MCG) (Moya et al., 2015).

Los datos de precipitación de salida del MCG escogido se utilizan para la estimación de los caudales medios mensuales utilizando un modelo hidrológico calibrado y validado previamente. Los resultados obtenidos en aplicación de los modelos climáticos servirán para la toma de decisiones y la gobernanza hídrica de las poblaciones en los aspectos socioeconómicos como la agricultura, el abastecimiento de agua potable, la gestión, la prevención del riesgo de desastres y la generación de energía hidroeléctrica (Fernández, 2017).

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

**PG:** ¿De qué manera influye el cambio climático en la generación de los caudales en la cuenca alta del río Mapacho bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099?

### **1.2.1. Problemas Específicos**

**PE1:** ¿Cuál es la variación porcentual entre los caudales históricos y los caudales futuros proyectados bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2- 4.5 y SSP5- 8.5 en el periodo de tiempo del año 2023 al 2099 en la cuenca alta del Río Mapacho?

**PE2:** ¿En qué medida varía la precipitación histórica de la precipitación futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2- 4.5 y SSP5- 8.5 en el periodo de tiempo del año 2023 al 2099 en la cuenca alta del Río Mapacho?

**PE3:** ¿En qué medida varía la temperatura histórica de la temperatura futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2- 4.5 y SSP5- 8.5 en el periodo de tiempo del año 2023 al 2099 en la cuenca alta del Río Mapacho?

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1. Justificación técnica**

El estudio de la cuenca alta del río Mapacho representa una oportunidad técnico-científica para integrar fuentes de información y analizar el impacto del cambio climático sobre la generación de caudales futuros.

Para evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca a largo plazo en relación al cambio climático se utilizan modelos basados en procesos como la herramienta de evaluación del agua y suelo: SWAT. Esta es una herramienta que tiene establecido su aplicabilidad para estudios de impacto hidrológico, empleada para simular y evaluar los efectos de los cambios de la hidrología de las cuencas y usos de suelos (Abbaspour et al., 2015).

Es así que en la presente tesis se realiza un estudio que permite contribuir a disminuir las brechas de información hidro-climática y morfológica en la cuenca de estudio que podría servir de base para la construcción de medidas estructurales y no estructurales. Asimismo, la tesis se convierte en un precedente para futuras investigaciones relacionadas al análisis de cuencas y disponibilidad hídrica a nivel nacional e internacional.

### **1.3.2. Justificación social**

Según información recopilada de los Planes de Desarrollo Provincial de Paucartambo y Quispicanchi, a través del tiempo, en sus respectivas zonas altas se ha manifestado un crecimiento desordenado de los poblados, reducción de la oferta hídrica en épocas de estiaje, una deficiente gestión de los sistemas de recursos hídricos que genera pérdidas de agua, aumento del nivel del agua en los ríos y sus consecuentes desbordes y deslizamientos. Esto último ha generado efectos sobre la afectación de terrenos agrícolas con cultivos (maíz, cebada, trigo, quinua), pérdidas de cosechas y forraje para animales por la erosión fluvial, los daños físicos de las viviendas, centros educativos e infraestructura que se encuentran aledañas a las fuentes hídricas, representando así un riesgo para la población.

Por ello, resulta importante analizar los caudales futuros de agua para satisfacer las demandas, garantizar la seguridad hídrica y el desarrollo de las actividades económicas y sociales de forma sostenible. A partir del estudio se tiene información que sirve de insumo para los municipios y población en general, de manera que sea utilizable en el diseño de proyectos ingenieriles y planes de gestión, lo cual podría significar mayor calidad de vida para la población ante los impactos del cambio climático.

### **1.3.3. Justificación por viabilidad**

La zona de estudio del proyecto se encuentra en provincias que cuentan con vías de acceso que facilitaron la realización del trabajo de campo. Fue posible recabar información de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de influencia a partir del suministro de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Además, para el desarrollo de la investigación se emplearon técnicas e instrumentos de investigación y programas estadísticos para el procesamiento de información. Para la modelación hidrológica y generación de caudales actuales y futuros se utilizó el software SWAT.

### **1.3.4. Justificación por relevancia**

El cambio climático y sus efectos en la disponibilidad de recursos hídricos es una preocupación a escala global. Los futuros índices de caudales de la presente investigación podrían colaborar en el desarrollo de soluciones, tales como: afianzamiento de la cuenca, áreas inundables, proyección de obras hidráulicas, incremento de trasvases de agua dentro de la cuenca y propuestas de represamientos en las zonas altoandinas.

A través del presente estudio se podría lograr mayores propuestas institucionales integrales para el manejo de los recursos hídricos de la cuenca. Los datos resultantes de caudales medios técnicamente obtenidos, podrían servir de referencia para estudiantes, profesionales, proyectistas, diseñadores y entidades encargadas de la gestión y manejo del agua velando por el desarrollo socio-económico de la región Cusco, específicamente las provincias de Paucartambo y Quispicanchi. Dentro de algunas de las instituciones involucradas se pueden mencionar a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), PLAN MERIS, municipalidades provinciales y distritales y entre otros entes tomadores de decisiones.

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo General**

**OG:** Analizar la influencia del cambio climático sobre la generación de los caudales bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

**OE1:** Determinar la variación entre los caudales históricos y los caudales futuros proyectados bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

**OE2:** Determinar la variación entre la precipitación histórica y la precipitación futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

**OE3:** Determinar la variación entre la temperatura histórica y la temperatura futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

## **1.5. Limitaciones en la investigación**

Para el cálculo de los caudales, el presente estudio no consideró el aporte de los glaciares a los caudales obtenidos y las incertidumbres en la selección de Modelos Climáticos Globales para las futuras proyecciones.

En el presente estudio tampoco se consideró la variación en el tiempo de la cobertura vegetal en la zona de estudio, para la generación de los caudales en el punto de aforo se consideró el mapa de cobertura vegetal elaborado por el Ministerio del Ambiente del Perú en el año 2015.

Además, para el análisis del cambio climático se consideró la variación de las variables de precipitación y temperatura en el periodo de tiempo de 1981 al 2099.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Diversos investigadores vienen desarrollando estudios relacionados con la hidrología y cambio climático.

#### 2.1.1. Antecedentes de investigación a nivel internacional

El estudio “*Evaluación del impacto del cambio climático en la cuenca del río Mixteco, Oaxaca, México*” realizado por Colin et al., (2024) y publicado en la revista científica Hydrology utilizó el modelo SWAT para simular el balance hídrico en la cuenca del río Mixteco bajo escenarios climáticos futuros en regiones donde los recursos hídricos representan una problemática. Las proyecciones de temperatura y precipitación se obtuvieron a partir de modelos climáticos globales (GCMs) del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados en su sexta fase (CMIP6) cuyos sesgos fueron corregidos con el software CMhyd y se seleccionó el modelo climático global con el desempeño más favorable para su implementación en el modelo hidrológico SWAT. En referencia con el modelo MPI-ESM1-2-LR, se proyecta una reducción en la precipitación alrededor de 83.71 mm y 225.83 mm, y un incremento en la temperatura que oscilaría entre 2.57 °C y 4.77 °C. Los resultados indicaron una posible disminución del caudal hídrico entre el 47.4% y el 61.0% debido al cambio climático, destacando la necesidad de medidas de adaptación y mitigación en la zona.

En cuanto a la investigación realizada por Waheed et al. (2024) en el artículo publicado en la revista Heliyon a través del estudio: “*Análisis basado en múltiples modelos CMIP6 sobre los posibles efectos del cambio climático en el escurrimiento de una cuenca utilizando el modelo SWAT: Estudio de caso de la cuenca del río Kunhar, Pakistán*”. Se explica que los regímenes hidrológicos de las cuencas podrían tener modificaciones significativas como consecuencia del cambio climático. En el estudio, se utilizaron nueve modelos de circulación general (GCMs), que, tras la corrección de sesgos, fueron aplicados bajo dos escenarios de emisiones correspondientes a las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs). Los indicadores de rendimiento del modelo como el coeficiente de correlación ( $R^2$ ), la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el sesgo porcentual (PBIAS) fueron mayores a 0.75, lo que muestra una alta precisión en la simulación del comportamiento del escurrimiento en la cuenca a nivel mensual y diario. Según las proyecciones de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la precipitación media anual podría aumentar en un 3.08 % y un 5.86 %, respectivamente, en comparación con el periodo base de 1980 a 2015. Asimismo, se estima que las temperaturas máximas diarias medias podrían incrementarse entre 2.08 °C y 3.07 °C, mientras que las mínimas diarias medias lo harían entre 2.09 °C y 3.39 °C para el periodo comprendido entre 2020 y 2099. Asimismo, se proyecta que el escurrimiento anual se

incremente en un 5.47 % (SSP2-4.5) y un 7.60 % (SSP5-8.5) debido a los efectos del cambio climático.

### **2.1.2. Antecedentes de investigación a nivel nacional**

A nivel nacional existen estudios realizados sobre el cambio climático y los modelos hidrológicos tal y como se muestra en el artículo de investigación realizado por Ricardo León, Domingo Portuguese y Eduardo Chávarri (2019) a través de la investigación: “*Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura-Perú, considerando la incidencia del cambio climático*”. En este estudio se evaluaron los impactos del cambio climático en la oferta hídrica superficial en la subcuenca media y alta del río Piura. Se utilizó el modelo hidrológico SWAT que fue calibrado y validado para el periodo de 1986 al 2008, donde se utilizaron datos diarios de 6 estaciones y caudales mensuales en un punto. Para la evaluación futura se consideraron los modelos climáticos HADGEM2-ES y CSI-RO-MK3-6-0 en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Los datos proyectados en el periodo del 2025 al 2054, se corrigieron y redujeron de escala usando el MarkSim, donde se prevé el incremento de 2.9°C en la temperatura, y una variación de 39.3% en precipitación. Los resultados indican una variación generalizada de la escorrentía superficial, donde la escorrentía superficial se incrementará en una estación húmeda (+71.8%) entre octubre y abril y presentará un decrecimiento en la estación seca (-66.1%), ocurriendo mayores descensos en los meses de julio, agosto y setiembre. Por ello, se debe tomar acciones preventivas en la cuenca como implementar sistemas de alerta temprana, identificar áreas propensas a sequías e inundaciones y mejorar la gestión del agua con infraestructura.

En la tesis doctoral en Recursos Hídricos por la Universidad Nacional Agraria La Molina titulada “*Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú*” realizado por Sandra Del Águila Ríos (2021), se analizó el modelado hidrológico de las cuencas de la sierra central del Perú, que se encuentran en zonas de cabecera. El objetivo principal de la investigación fue realizar el modelamiento en las cuencas Anya y Mchique, que forman parte de la cuenca del río Mantaro (Junín). Para ello, se emplearon dos modelos para generar escorrentía: el modelo empírico mensual Lutz Scholtz (LS) y el modelo semidistribuido diario SWAT. Se analizó el efecto espacio-temporal del cambio climático sobre el escurrimiento de las cuencas utilizando cinco modelos climáticos globales (Acces, bcc\_csm1, BNU\_ESM, CMCC\_CM y GISS\_E2) y dos escenarios de emisiones (RCP 4.5 y RCP 8.5). La simulación se realizó con SWAT para el periodo 2070-2100, sugiriendo un incremento en los caudales en comparación con el periodo base 1980-2010 en ambas cuencas; en promedio, el caudal en Anya aumentaría en un 29.4% y 34.1%, y en Mchique, en un 5.4% y 10.8% bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente.

De la misma manera, en la tesis de pregrado por la Universidad Nacional de Ingeniería titulada “Evaluación del cambio climático y su efecto en la disponibilidad hídrica futura de la cuenca Caplina- Tacna” por Froilán Rodas (2022), se consiguió evaluar los efectos del cambio climático mediante la cuantificación de la variación futura del caudal superficial del río Caplina ubicada en la región Tacna, la cual fue declarada con fuentes superficiales agotadas por el gobierno, desde hace años. Para ello, el autor evaluó 32 modelos climáticos globales (MCG), eligiendo 14 modelos más adecuados para su posterior ejecución y calibración dentro del modelo hidrológico GR2M. Se encontró que la disponibilidad hídrica presenta disminución del 38.8% en el escenario RCP4.5 y un 41.3% en el escenario RCP8.5 entre los meses de febrero-agosto. En cuanto al periodo de setiembre-enero, se observó un incremento de un 91.5% en el escenario RCP4.5 y un 79.2% en el escenario RCP8.5. Asimismo, se observó que existe una disminución en el caudal medio anual en el futuro cercano (2020-2040) disminuyendo 5.3% y 3.6 % en el escenario RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente. Para el futuro medio (2041-2070) disminuye en 6.3% (RCP4.5) y en 8.8% (RCP8.5), finalmente, para el futuro lejano (2071-2100) se proyecta una disminución en 6.7% (RCP4.5) y en 2% (RCP8.5).

### **2.1.3. Antecedentes de investigaciones a nivel regional**

Existen antecedentes regionales como el artículo de la revista *Climate and Atmospheric Science* publicado el año 2023 y realizado por Potter et al., a través de la investigación “*A future of extreme precipitation and droughts in the Peruvian Andes*” donde analizan la escorrentía en las cuencas fluviales andinas cubiertas por glaciares y resaltan su importancia crucial para mantener los medios de vida de millones de personas. En el estudio se aplica un modelo climático de alta resolución en las dos regiones más glaciadas de Perú como es la cuenca del Santa y la cuenca del Vilcanota, donde se analizaron las tendencias climáticas pasadas de precipitación y temperatura. Los cambios futuros se proyectan utilizando un conjunto de modelos climáticos globales reducidos estadísticamente. Las proyecciones bajo un escenario de altas emisiones sugieren incrementos significativos en la temperatura, de 3,6 °C y 4,1 °C en las dos regiones, acompañados de un aumento del 12% en las precipitaciones para finales del siglo XXI. En particular, se prevé un aumento considerable en las precipitaciones extremas (aproximadamente el 75% de la precipitación total en días muy húmedos) junto con un fortalecimiento de las sequías meteorológicas debido a una mayor evapotranspiración. A pesar del incremento en las precipitaciones, las pérdidas de masa glaciar aumentan tanto en el escenario de emisiones más altas como en el de estabilización de emisiones. Este modelo ofrece una nueva proyección de riesgos combinados y contrastantes en una región que ya está viviendo cambios ambientales rápidos.

A nivel de la cuenca del Vilcanota que incluye las regiones de Cusco, Madre de Dios y Ucayali, se realizó la tesis “*Cuantificación de la alteración hidrológica en la cuenca del río Vilcanota para el periodo 1965-2016*” presentada por Cinthya Bello (2019) para la obtención del grado de magister en Gestión integral de cuencas hidrográficas. En esta investigación refiere que existen variaciones en la estacionalidad del caudal, incrementándose en temporada seca y una reducción importante en la temporada húmeda, lo cual no guarda relación con el periodo natural. Para ello se utilizó métodos de Ecoflujo e Indicadores de Alteración Hidrológica (IAH) para la cuantificación del cambio del régimen de caudales en el río Vilcanota, resultando ambos métodos complementarios para el mejor análisis.

Otro estudio de tesis de Maestría en Recursos Hídricos por la UNALM, titulado “*Reconstrucción histórica y proyecciones de cambio climático de la seguridad hídrica en la cuenca Vilcanota, Urubamba*” elaborado por Andrés Goyburo (2021), tuvo como objetivo el evaluar la seguridad hídrica futura hasta el año 2099 dentro de la cuenca Vilcanota- Urubamba. Para tal propósito se utilizó el modelo hidrológico distribuido WEAP, donde se realizó un balance hídrico de ofertas y demandas hídricas, obteniéndose un superávit actual de oferta hídrica. Sin embargo, al evaluar los horizontes de tiempos, se proyecta que para el año 2050 se prevé un incremento de la demanda hídrica para los cuatro escenarios evaluados, con un incremento de temperatura y precipitación. Para el periodo 2041- 2070 se estima una demanda no cubierta de 56.72 hm<sup>3</sup> para el escenario 1 y para el escenario 2, siendo las principales demandas de uso poblacional y agrícola las no cubiertas. Por ello, se concluye y recomienda que se debe de mejorar en la gestión y distribución del recurso hídrico en toda la cuenca, dado que con el tiempo las demandas hídricas no podrán ser cubiertas por la oferta hídrica.

## **2.2. Base Teórica**

### **2.2.1. Caudales**

Para el cálculo de los caudales en la presente investigaciones se consideró los siguientes conceptos:

#### **2.2.1.1. Modelo hidrológico**

La modelación hidrológica se ha convertido en una herramienta muy utilizada para la gestión y planeamiento de recursos hídricos; dado que es posible manejar hipótesis realistas con cierto grado de confianza para la toma de decisiones, por lo que es necesario tener conocimiento de las entradas y salidas del sistema, ya que a partir de ellas se puede estudiar la relación causa-efecto de una cuenca (Chow, 1994).

Es así que, los modelos hidrológicos pueden fundamentarse en ecuaciones físicas que describen el comportamiento de las variables del ciclo hidrológico de una cuenca, o también

pueden ser de naturaleza conceptual (esquemas) donde se representan los procesos (Pascual & Díaz, 2016).

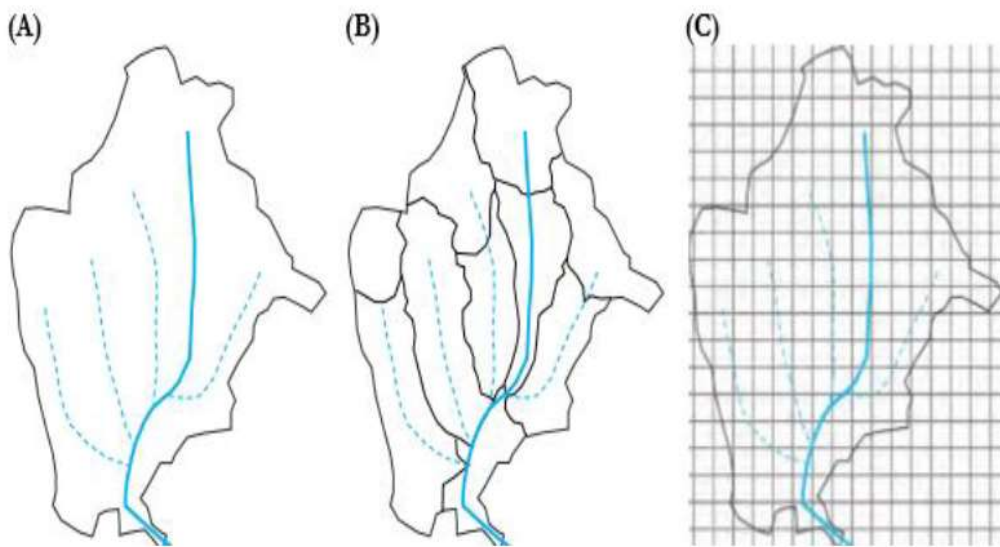
**a) Clasificación de los modelos hidrológicos**

Según Mediero (2007), los modelos hidrológicos se clasifican en función de la representación espacial en tres grupos:

- **Modelos agregados:** Consideran una distribución uniforme de los parámetros de los submodelos para toda la cuenca, manteniéndose constantes durante el modelamiento (Mediero, 2007).
- **Modelos semi distribuidos:** Estos modelos consideran cierta variabilidad espacial y temporal donde la lluvia y los parámetros de los submodelos se mantienen constantes en cada división de subcuencas. De esa manera, usualmente, se segmenta el área de estudio en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs), generando salidas de forma agregada, pero que también mantienen interacciones entre ellas (Mediero, 2007).
- **Modelos distribuidos:** Estos modelos muestran la variación espacial y temporal de la lluvia y los parámetros al dividir la cuenca en una cuadrícula de celdas más pequeñas, donde se simulan los distintos procesos hidrológicos en cada porción de área, donde cada una presenta su propio conjunto de variables de entrada (Mediero, 2007).

## Figura 1

A) Modelo de tipo agregado, B) Modelo Semi distribuido y C) Modelo Distribuido



Nota: Tomado de Pascual y Díaz (2016)

### b) Tipos de modelos hidrológicos

Para desarrollar un modelo hidrológico se consideran factores como el espacio, el tiempo y la aleatoriedad. De esa forma, los modelos hidrológicos se pueden clasificar en modelos determinísticos y estocásticos:

#### Modelo determinístico

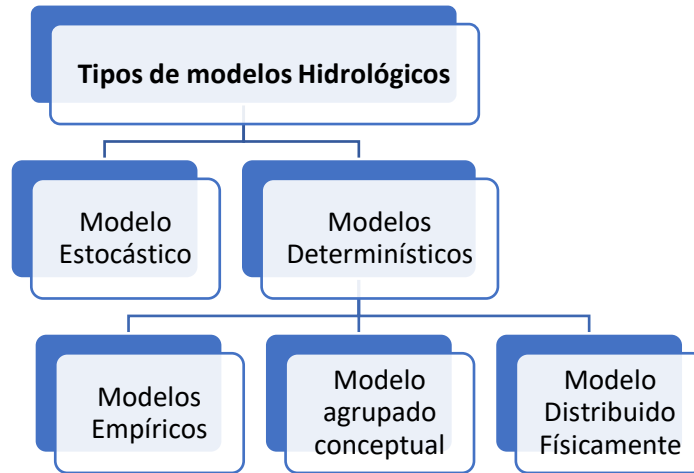
Este modelo no contempla incertidumbre, considerando una entrada que produce siempre una misma salida.

#### Modelo estocástico

Las variables del proceso utilizadas son variables en el tiempo y otros factores y poseen su propia función de distribución de probabilidad que pueden o no estar correlacionadas entre sí.

**Figura 2**

*Clasificación de los Modelos Hidrológicos*



*Nota:* Adaptado de Refsgaard y Storm, 1995

### **2.2.1.2. Soil & Water Assessment Tool (SWAT)**

#### **a) Descripción del modelo**

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo hidrológico desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) que permite predecir el impacto del manejo del uso de la tierra sobre la producción de agua, sedimentos y sustancias agroquímicas, en cuencas pequeñas y complejas, con distintos tipos de suelos, cobertura y uso de la tierra y otras condiciones de manejo de tierras (Neitsch et al., 2005).

Además, al ser un modelo semi distribuido, puede simular varios procesos físicos como el escurrimiento superficial, flujo subsuperficial, flujo subterráneo, percolación, evapotranspiración, derretimiento de nieve y retención en reservorios a diferentes escalas temporales como a escala anual, mensual, diaria y sub diaria (Neitsch et al., 2005).

De esa manera, este modelo puede ser útil en varios aspectos tales como: la toma de decisiones con respecto a alternativas de gestión hídrica; la evaluación de la contaminación proveniente de fuentes no puntuales, y la predicción del impacto de la agricultura sobre los sedimentos, compuestos químicos y recursos hídricos de cuencas con diferentes condiciones de gestión, tipos de suelo y usos del terreno, durante periodos prolongados (Neitsch et al., 2005; Abbaspour et al., 2015).

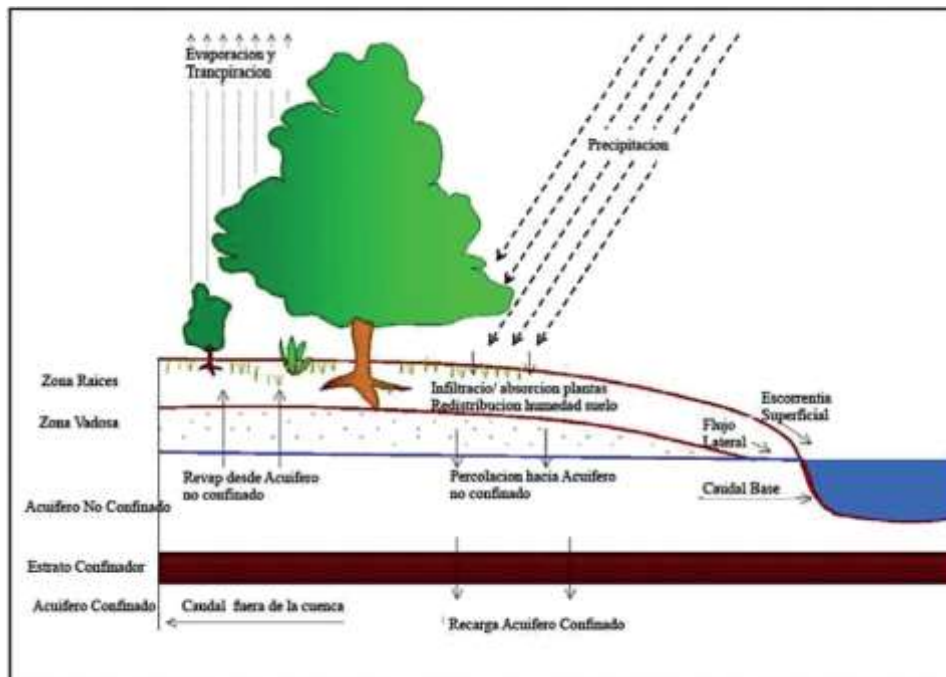
La ecuación del balance hídrico de la fase terrestre del ciclo hidrológico se presenta a continuación:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

- SWt: Contenido final de agua del suelo en el día t (mmH<sub>2</sub>O)
- SWo: Contenido inicial de agua del suelo (mmH<sub>2</sub>O)
- T: Tiempo (día)
- Rday: Cantidad de precipitación en el día (mm H<sub>2</sub>O)
- Qsurf: Cantidad de escorrentía superficial en el día i (mm H<sub>2</sub>O)
- Ea: Cantidad de evapotranspiración en el día i (mm H<sub>2</sub>O)
- Wseep: Cantidad de percolación y flujo de derivación en el fondo del perfil del suelo en el día i (mm H<sub>2</sub>O)
- Qgw: Cantidad de flujo de retorno en el día i (mm H<sub>2</sub>O)

### Figura 3

*Esquema del ciclo hidrológico simulado con SWAT*



*Nota:* Tomado de Neitsch et al. (2005)

#### a) Componentes del Modelo SWAT

Los componentes del modelo son los siguientes:

#### Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU)

Cada subcuenca se divide en regiones que mantienen formas irregulares y tamaños diversos denominados Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU, por sus siglas en inglés), que tienen características homogéneas de tipo de suelo, uso del suelo y pendiente dentro de una

subcuenca específica. Por ello, en el SWAT la simulación hidrológica en la fase terrestre no solo se realiza a nivel de subcuenca, sino también a nivel de HRU (Arnold et al., 2012).

### **Escorrentía superficial- Método Número de Curva (CN)**

Del Águila (2024) expresa que “*el modelo SWAT simula los volúmenes y promedios máximos de escorrentía para cada Unidad de Respuesta Hidrológica, utilizando datos diarios o sub diarios de lluvia*” (p. 99).

La estimación de la escorrentía puede basarse en la metodología del Número de Curva (CN) propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y el método Green y Ampt; sin embargo, este último método requiere de la presencia de datos de precipitación en intervalos sub diarios u horarios que pueden dificultarse en su obtención y aplicación. Por lo tanto, en el presente estudio se utilizó el método del Número de Curva del SCS, considerando como “*datos de lluvia diarios, características de la cuenca como el uso del suelo, propiedades del suelo y las condiciones de humedad al momento de la precipitación*” (Del Águila, 2024, p. 99).

Lo anterior está basado en las siguientes ecuaciones:

$$Q_{surf} = \frac{R_{day} - 0.2 * S^2}{(R_{day} + 0.8 * S)}$$
$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{N} - 10 \right)$$

Donde:

$Q_{surf}$ : Escorrentía superficial (mm)

$R_{day}$ : Precipitación diaria (mm)

$S$ : Pérdidas máximas de agua (mm)

$CN$ : Parámetro curva número

### **Infiltración**

Según Fernández (2017, como se cita en Del Águila, 2024) expone que:

“*La infiltración se refiere a la entrada de agua en el perfil del suelo desde la superficie terrestre, y su eficacia depende de las características de la capa superior del suelo. A medida que la infiltración avanza, el suelo se satura, lo que provoca que la tasa promedio de infiltración disminuya con el tiempo hasta estabilizarse en un valor constante*” (p. 99).

### **Clima**

Según Uribe (2010, como se cita en Del Águila, 2024) expresa que:

*“el clima de una cuenca brinda la humedad, energía y las variables climáticas que intervienen en los distintos procesos del ciclo hidrológico. Para el modelo SWAT, las variables climáticas requeridas son la precipitación diaria, las temperaturas máxima y mínima, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa”* (p. 100).

### **Evapotranspiración**

*“La evapotranspiración incluye los procesos por los cuales el agua de la superficie terrestre se convierte en vapor atmosférico. El modelo calcula por separado la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. La evaporación del suelo se estima con ecuaciones exponenciales que dependen de la profundidad del suelo y su contenido de agua, mientras que la transpiración se determina mediante una función lineal que relaciona la evapotranspiración potencial con el índice de área foliar”* (Uribe, 2010, como se cita en Del Águila, 2024, p. 100).

### **Evapotranspiración potencial**

La evapotranspiración potencial se produce en áreas amplias y uniformemente cubiertas con vegetación que tiene acceso ilimitado de suministro de agua considerando un suelo que se encuentra saturado. El modelo SWAT ofrece diversas opciones para estimar la evapotranspiración potencial: Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), Priestley y Taylor (Priestley y Taylor, 1972) y Penman-Monteith (Monteith, 1965), siendo este último método el elegido para el presente estudio.

### **Redistribución**

Según Uribe (2010, como se cita en Del Águila, 2024) expone lo siguiente:

*“La redistribución se refiere al movimiento continuo del agua a través de la superficie terrestre después de su entrada, ya sea por precipitación o irrigación. Cuando el contenido de agua en el perfil es uniforme, la redistribución disminuye. Este componente utiliza un almacenamiento que estima el flujo en cada capa del suelo en la zona activa”* (p. 101).

### **Percolación**

*“La percolación es el movimiento del agua a través de los medios permeables de un suelo saturado. Ambos fenómenos están estrechamente relacionados, ya que la percolación no puede continuar sin la previa infiltración”* (Fernández, 2017, como se cita en Del Águila, 2024, p. 14).

### **Flujo lateral subsuperficial**

*“El flujo de agua subsuperficial es un componente del flujo que se origina debajo de la superficie, justo por encima de las áreas saturadas. Este flujo lateral en el perfil del suelo (0-2 m) se calcula de manera simultánea con la redistribución. Se emplea un modelo físico de almacenamiento para predecir el flujo subsuperficial en cada capa del suelo”* (Fernández, 2017, como se cita en Del Águila, 2024, p. 101).

### **Flujo base (Flujo de retorno)**

De acuerdo a Arnold et al. (2012) afirma que:

*“El flujo de retorno, o flujo base, es el volumen de agua subterránea que proviene de un acuífero poco profundo situado por debajo del nivel freático y a una mayor presión atmosférica. Este flujo contribuye a las corrientes dentro de la cuenca hidrográfica, así como al flujo de aguas provenientes de un acuífero profundo que se dirige a las corrientes fuera de la cuenca”* (p.1492).

#### **b) Calibración, validación y análisis de sensibilidad en SWAT**

La calibración es el proceso mediante el cual se ajustan los parámetros del modelo hidrológico, de manera que los datos simulados y los datos observados tengan una mínima diferencia. De esa manera, se trata de elegir combinaciones de parámetros donde la *“correlación entre los valores de las variables de salida generadas por el modelo y las medidas en el sistema real sean coincidentes”* (Del Águila, 2024, p. 92).

El análisis de sensibilidad es el proceso que permite encontrar al conjunto de parámetros que tienen el mayor relevancia e impacto en el sistema hidrológico que se encuentra en estudio (Abbaspour, 2015). Identificar ello es importante porque los parámetros representan procesos físicos, y al seleccionar los más relevantes, es posible reducir la cantidad de parámetros a evaluar, mejorando la eficiencia del proceso de calibración (Abbaspour et al., 2015).

El análisis de sensibilidad es empleado para examinar y evaluar cómo las salidas originadas del modelo varían debido a cambios en sus entradas (parámetros). Ello es importante para identificar los parámetros más importantes y la precisión requerida en la calibración (Arnold et al., 2012).

La validación se utiliza para comprobar el funcionamiento adecuado del modelo hidrológico utilizando una serie de datos diferentes a los que se utilizaron en el proceso de calibración (Del Águila, 2024).

#### **c) Descripción del algoritmo SUFI-2 en SWAT-CUP**

Actualmente, existen métodos automatizados que son empleados para mejorar los procesos de calibración y validación descritos anteriormente, como es el SWAT-CUP

(Calibration and Uncertainty Programs for SWAT), el cual por su aplicabilidad en diversos estudios y cuencas resulta muy útil en la calibración.

Abbaspour (2015) describe al SWAT-CUP como un programa de accesibilidad pública que presenta herramientas dentro del mismo para realizar el análisis de sensibilidad, calibración, validación y análisis de incertidumbre incluyendo cinco algoritmos: SUFI-2, GLUE, ParaSol y los Métodos de Inferencia Bayesiana (MCMC).

Para el caso de la presente investigación, la calibración y el análisis de sensibilidad de SWAT se hizo uso del algoritmo SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting versión 2) dentro del SWAT-CUP2012 (Abbaspour, 2015).

Abbaspour et al. (2015) expone:

El algoritmo SUFI-2 permite la definición de parámetros y rangos de variables para evaluar su sensibilidad mediante los coeficientes t-Stat y p-valor, que calculan la diferencia en unidades de error estándar y determinan la significancia de los parámetros, respectivamente. Este algoritmo también encuentra las incertidumbres y busca capturar la mayoría de los datos medidos dentro de un intervalo de predicción del 95% del modelo.

#### d) Criterios de valoración del comportamiento del modelo

Se han utilizado los criterios de evaluación del comportamiento del modelo definidos por Moriasi *et al.* (2015) y se muestran a continuación:

**Tabla 1**

*Criterios de rendimiento del modelo hidrológico*

Criterio estadístico	Rango de valores	Rendimiento del modelo
<b>Nash- Sutcliffe Efficiency</b> $NSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2} \right]$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	Excelente
	$0.65 < NSE \leq 0.75$	Bueno
	$0.50 < NSE \leq 0.65$	Satisfactorio
	$0.40 < NSE \leq 0.5$	Aceptable
	$NSE \leq 0.4$	Malo
<b>Coefficiente de determinación</b>		
$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})(Y_i^{sim} - \bar{Y}^{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - \bar{Y}^{sim})^2}} \right]$	$R \geq 0.5$	Satisfactorio
	$0 \leq R < 0.5$	Malo

<b>Porcentaje de sesgo</b>	$PBIAS < \pm 10$	Excelente
$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \times 100$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	Bueno
	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	Satisfactorio
	$PBIAS \geq \pm 25$	Malo
	<hr/>	
<b>Relación entre el RSME y la desviación estándar</b>	$0 < RSR \leq 0.5$	Excelente
$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2}}$	$0.5 < RSR \leq 0.60$	Bueno
	$0.6 < RSR \leq 0.7$	Satisfactorio
	$NSE \geq 0.7$	Malo
	<hr/>	
<p>Donde:</p> <p><math>Y_i^{obs}, Y_i^{sim}</math>: Son los caudales observados y simulados en el tiempo i</p> <p><math>\bar{Y}^{obs}, \bar{Y}^{sim}</math>: Es el promedio de los caudales observados y simulados en el tiempo i</p> <p>n: Número de observaciones</p>		

Nota: Adaptado de Moriasi et al. (2015)

## 2.2.2. Cambio climático

### 2.2.2.1. Definición de cambio climático

El cambio climático, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) es definido como “*el cambio del clima a través del tiempo que sea producto de la variación natural o resultado de la actividad humana*” (IPCC, 2007).

Estas causas de origen humano han sido complementadas por las variaciones naturales que existieron desde el inicio de la historia de la Tierra, como las relacionadas con los “*cambios en los parámetros orbitales, la deriva continental o periodos de vulcanismo intenso, que fueron observadas en un periodo de tiempo comparables*” (ONU, 1992). El principal motor del cambio climático es el aumento de la concentración del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, con el pasar del tiempo esto genera un forzamiento radiactivo positivo (IPCC, 2014).

### 2.2.2.2. Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC)

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático fue creado en 1988 en marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), cuya misión consiste en brindar mayor conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático y dar a conocer reportes de evaluaciones periódicas sobre las causas, posibles impactos y estrategias de respuesta (IPCC, 2018). Desde sus inicios, el IPCC ha venido elaborando una serie de documentos puestos a disposición de la comunidad internacional, incluidos los responsables políticos y público en

general. Actualmente, la última publicación fue en 2022 y corresponde al Sexto Informe de Evaluación (AR6).

### **2.2.2.3. Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP)**

El Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) es un proyecto que analiza y compara los resultados de modelos climáticos globales, ofreciendo una infraestructura para diagnosticar, validar, comparar e informar sobre los datos generados por estos modelos. Estos modelos tienen la capacidad de simular parámetros climáticos como la temperatura superficial media anual y las precipitaciones basándose en fases recientes como CMIP3, CMIP5 y CMIP6. Los modelos actuales se evalúan en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC, donde la resolución horizontal promedio es aproximadamente 200 km.

CMIP6 corresponde a la sexta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, una iniciativa global destinada a coordinar la comparación de modelos climáticos avanzados. Este proyecto reúne a diversas instituciones científicas y centros de investigación para generar simulaciones climáticas que ayuden a comprender mejor cómo cambiará el clima en el futuro debido a la actividad humana y otros factores.

Los modelos involucrados en CMIP6 están diseñados para reproducir el sistema climático de la Tierra, abarcando la atmósfera, los océanos, los glaciares y otros componentes. Los resultados obtenidos se utilizan para elaborar proyecciones sobre el cambio climático, que son esenciales para la toma de decisiones en áreas como políticas medioambientales, planificación de infraestructuras, mitigación de riesgos y adaptaciones frente al cambio climático.

Las principales áreas de enfoque de CMIP6 incluyen:

- **Escenarios de emisiones**

Basados en diferentes trayectorias de gases de efecto invernadero (como los RCPs, que han sido reemplazados por los SSPs, Shared Socioeconomic Pathways).

- **Proyecciones climáticas**

Se elaboran predicciones sobre cómo cambiarán las temperaturas globales, las precipitaciones y otros indicadores climáticos bajo distintos escenarios futuros.

- **Simulaciones de impacto:**

Permiten evaluar los efectos del cambio climático en diversas regiones del planeta y en diferentes ecosistemas.

CMIP6 es crucial para mejorar las predicciones sobre el cambio climático y sirve como base científica para numerosos informes y evaluaciones, como los elaborados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

#### **2.2.2.4. Modelos Climáticos**

##### **a) Modelos Climáticos Globales (GCM)**

Los Modelos Climático Globales (MCG) tienen la capacidad de representar matemáticamente los componentes del sistema climático (hidrósfera, atmósfera, biósfera, litósfera y criósfera) y sus interacciones, considerando las propiedades químicas, físicas y biológicas (IPCC, 2014), es decir, los modelos climáticos son herramientas para evaluar la respuesta del sistema climático ante el cambio climático, estos se basan en procesos físicos para simular la transferencia de energía y materiales a través del sistema climático.

Los primeros trabajos que se desarrollaron sobre los MCG inducidos por el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fueron en la mayoría modelos oceánicos acoplados a modelos atmosféricos de circulación general. Con la evolución de la capacidad y velocidad de las computadoras, los MCG dieron un gran avance en su resolución espacial e incluyendo más componentes y procesos del sistema climático (IPCC, 2007).

##### **b) Escenarios de Emisión del Cambio Climático**

Los escenarios brindan un pronóstico en referencia a lo que podría suceder en el futuro en relación a las variables del cambio climático con el fin de evaluar sus impactos a futuro. Según el IPCC (2021) en su Sexto Informe de Evaluación (AR6), los Shared Socioeconomic Pathways – Representative Concentration Pathways (SSPs-RCPs) se describen como escenarios que incluyen proyecciones a futuro sobre emisiones y concentraciones de todos los gases de efecto invernadero (GEI), uso del suelo, cobertura vegetal, así como los aspectos socioeconómicos.

Las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) son escenarios posibles que describen diferentes tendencias socioeconómicas, que están basados en aspectos como el crecimiento económico, políticas de desarrollo, tecnología, demografía y desigualdades sociales. Estos escenarios desarrollados por el IPCC son puestos a disposición para modelar los posibles impactos del cambio climático bajo diferentes contextos socioeconómicos y resultan de importancia para evaluar cómo las decisiones humanas y políticas pueden impactar en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Existen cinco Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) principales:

- **SSP1 (Desarrollo Sostenible):** Describe un futuro con un enfoque en la sostenibilidad donde existe crecimiento económico inclusivo y cooperación global.

- **SSP2 (Camino Intermedio):** Corresponde a un futuro con crecimiento moderado, donde las tendencias de desarrollo no varían drásticamente y tampoco se adoptan políticas drásticas de mitigación.
- **SSP3 (Rivalidad Regional):** Describe un futuro con características de desigualdad social, polarización geopolítica y menor cooperación global.
- **SSP4 (Desigualdad Creciente):** Es un escenario con un alto nivel de desigualdad, mayor tecnología y políticas no muy relevantes para el medio ambiente.
- **SSP5 (Crecimiento Rápido):** Un futuro caracterizado por la presencia de un fuerte crecimiento económico global y el uso intensivo de recursos, grandes avances tecnológicos, y en consecuencia un alto nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Por otro lado, los Escenarios de Concentración Representativos (RCP) son escenarios que describen las posibles concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera en el futuro, en función de las emisiones de gases y otros forzamientos climáticos. Tal como se describe en el Informe V de evaluación del IPCC (2002) donde se han desarrollado escenarios de emisión, estos están definidos por 4 grupos denominados Rutas de Concentraciones Representativas (Representative Concentration Pathway, RCP), que hace referencia a la cantidad aproximada del forzamiento radiactivo para el año 2100 y sus cantidades equivalentes en partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2002). Estos escenarios se definen a continuación:

- **RCP 2.6:** El forzamiento radiactivo adquiere cerca de 3 W/m<sup>2</sup>, (correspondiente a 490 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente) y para el 2100 disminuirá a 2.6 W/m<sup>2</sup>.
- **RCP 4.5:** Forzamiento radiactivo de 4.5 W/m<sup>2</sup> estabilizante en 2100, correspondiente a 650 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente.
- **RCP 6.0:** Forzamiento radiactivo de 6.0 W/m<sup>2</sup> estabilizante en 2100, correspondiente a 850 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente.
- **RCP 8.5:** Se incrementa el forzamiento radiactivo a 8.5 W/m<sup>2</sup> al 2100, correspondiente a 1370 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente.

De esa manera, el escenario SSP-RCP permite comprender las repercusiones a largo plazo de las decisiones tomadas a corto plazo, el primer término SSP hace referencia a una serie de escenarios relacionados con el desarrollo socioeconómico esperado, mientras que el segundo término RCP se refiere a los escenarios de incremento en el forzamiento radiactivo proyectado para el año 2100.

#### ***2.2.2.5. Técnicas de Reducción de Escala***

Existen limitaciones de los Modelos Climáticos Globales (MGC) ante la forma de representar los datos, tanto por su baja resolución y su capacidad para modelar patrones climáticos

locales. Ante ello, los investigadores desarrollaron técnicas de reducción de escala o regionalización de las variables climáticas involucradas.

Para la reducción de escala, existe el enfoque dinámico y el enfoque estadístico. Estas se diferencian según la forma de regionalizar y el costo computacional a emplear, el desarrollo combinado de estas se denominan híbridas.

**Figura 4**

*Clasificación de Métodos de regionalización*



*Nota:* Elaboración propia

#### **a) Escalamiento Dinámico**

Este enfoque se desarrolla mediante Modelos Climáticos Regionales (MCR), son modelos con mayor resolución espacial que los Modelos Climáticos Globales (MCG), donde los MCR emplean como sus condiciones de borde los resultados de salida de los MCG.

La escala espacial aproximada comprende entre 10 km y 50 km, lograr modelar las características del clima regional pero no es competente para modelar un clima local. Los MCR son desarrollados en centros numéricos de Instituciones de investigación meteorológicas y requiere un alto costo computacional (Astorayme, 2017).

#### **b) Escalamiento Estadístico**

Este tipo de escalamiento es un conjunto de técnicas desarrolladas para corregir el sesgo de la información climática que se presenta al evaluar la salida de los GCMs o RCMs en un área relativamente pequeña (ciudad o cuenca) por lo que la técnica también es denominada Bias Correction (Astorayme, 2017). Las relaciones empíricas estadísticas tienen mayor certidumbre que los Modelos Climáticos Globales que permiten corregir el sesgo de las variables climáticas.

Las técnicas estadísticas se basan en una relación observada entre fenómenos a gran escala y datos locales, como la precipitación diaria o la temperatura. Esta relación se utiliza luego

en los resultados de los Modelos Climáticos Globales (GCM) para identificar señales de cambio climático a nivel local y regional (Amador & Alfaro, 2007).

**Tabla 2**

*Métodos de corrección de sesgo para precipitación y temperatura*

<b>Corrección de sesgo para precipitación</b>	<b>Corrección de sesgo para temperatura</b>
- Escalamiento Lineal (LS)	- Escalamiento Lineal (LS)
- Escalamiento de intensidad local (LOCI)	- Escalamiento de la varianza (VARI)
- Transformación de potencia (PT)	- Mapeo de distribución para temperatura usando la función de distribución gaussiana (DM)
- Mapeo de distribución para precipitación usando la función de distribución gamma (DM)	
- Mapeo de cuantiles (QM)	

Nota: Tomado de Fang et al., 2015

### **i) Escalamiento Lineal (LS) para precipitación y temperatura**

El método de escalamiento lineal busca que la media de los valores corregidos coincida exactamente con la media de los valores observados (Lenderink et al., 2007). La corrección se realiza a partir de las diferencias entre los datos observados y los datos brutos (provenientes de los modelos de circulación general, GCM).

Para los datos a escala mensual, la corrección de la precipitación se efectúa mediante un multiplicador, mientras que para la temperatura se utiliza un término aditivo.

$$P_{cor,m} = P_{sim,m} \times \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{sim,m})}$$

$$T_{cor,m} = T_{sim,m} + \mu(T_{obs,m}) - \mu(T_{sim,m})$$

Donde:

$P_{cor,m}$  y  $T_{cor,m}$ : Precipitación y temperatura corregida en el mes m

$P_{sim,m}$  y  $T_{sim,m}$ : Precipitación y temperatura corregida en el mes m

$\mu$ : Media

## ii) Distribución Mapping (DM) para precipitación y temperatura

Según Fang et al. (2015):

*"El método de Mapeo de Distribución (DM) implica en hacer coincidir la función de distribución de los datos originales con la de las observaciones. Se emplea para ajustar la media, la desviación estándar y los cuantiles" (p. 2551).*

Fang et al. (2015) explican que el mapeo de probabilidad es un enfoque ampliamente utilizado para corregir sesgos, especialmente en estudios relacionados con el cambio climático. Este método emplea funciones de transferencia, como las distribuciones gamma para la precipitación y gaussiana (normal) para la temperatura. En cuanto a la precipitación, primero se especifica la intensidad de la misma, y luego se utiliza para calcular la probabilidad acumulada de la precipitación simulada. Posteriormente, el valor de precipitación corregido se selecciona según esa probabilidad acumulada. Para el caso de la temperatura, se calcula la probabilidad acumulada de los datos simulados de temperatura, y a partir de esta probabilidad se elige el valor de temperatura corregido. La distribución gaussiana puede expresarse matemáticamente como:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] du$$

Donde:

$\mu$ : Media

$\sigma$ : Desviación estándar

$z = \frac{(x-\mu)}{\sigma}$ : Variable reducida para la distribución gaussiana

### 2.2.2.6. Herramienta de corrección de sesgo CMhyd

Al simular el impacto de las condiciones climáticas futuras en los procesos hidrológicos de cuencas hidrográficas y fluviales, frecuentemente se observan sesgos en las variables de temperatura y precipitación. Estos sesgos son el resultado de errores sistemáticos en el modelo y del promedio espacial dentro de las celdas de la rejilla (resolución espacial de las proyecciones climáticas), lo que complica el uso de los datos climáticos simulados como entradas directas para modelos hidrológicos.

## 2.3. Marco conceptual

### 2.3.1 Ciclo hidrológico

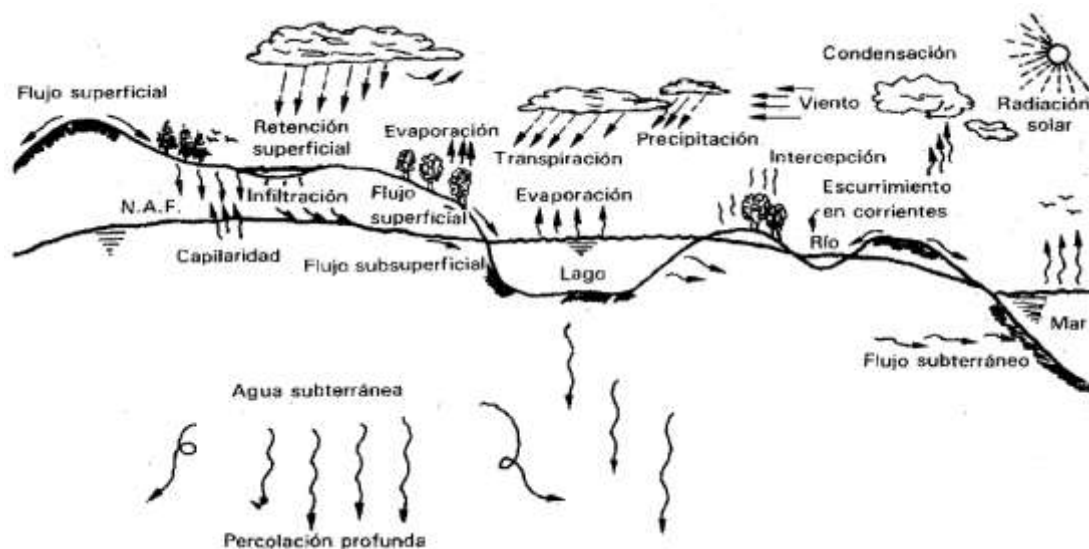
Según Chereque (1980):

El ciclo hidrológico se define como el proceso en el que el agua experimenta cambios en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma, presentándose como agua superficial o subterránea. Este proceso es fundamental en el estudio de la hidrología y nos ayuda a entender la importancia del trayecto del agua en cada una de sus etapas, donde:

- El agua que se encuentra en la superficie terrestre o cerca de ella se evapora debido a la radiación solar y al viento.
- El vapor de agua generado se eleva y se transporta en la atmósfera en forma de nubes, hasta que se condensa y precipita en la tierra.
- A lo largo de su trayecto hacia la superficie, el agua que precipita puede volver a evaporarse o ser capturada por plantas y otros organismos, luego fluir por la superficie hacia corrientes o infiltrarse.
- El agua capturada, así como una parte de la que se infiltra y la que corre por la superficie, puede evaporarse nuevamente.

**Figura 5**

*Esquema del ciclo hidrológico*



*Nota:* Tomado de Aparicio (1992)

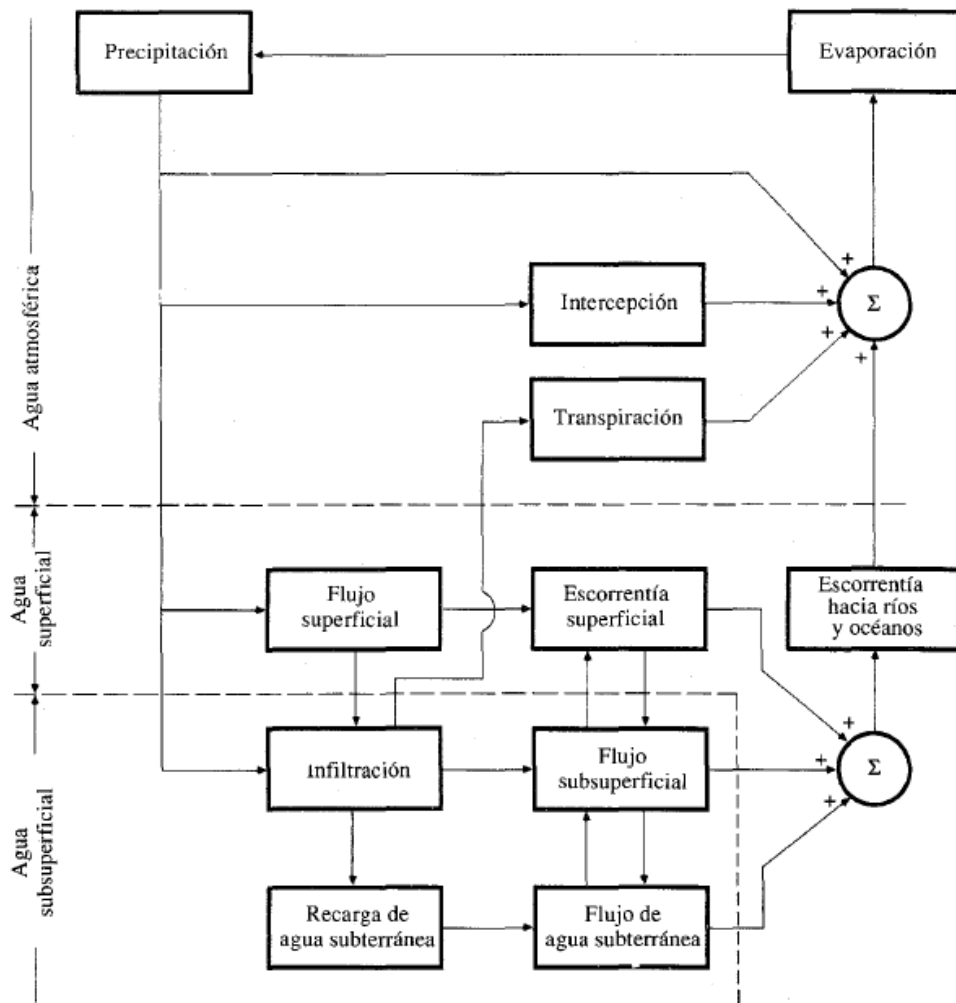
El ciclo hidrológico puede ser representado como un sistema, donde los componentes como la precipitación, evaporación, escorrentía, etc., vendrían a ser subsistemas, esta representación se denomina como ciclo hidrológico sistematizado.

La representación gráfica de Chow (1994), mostrado en la Figura 6, explica el ciclo hidrológico esquematizado e indica los tres subsistemas de la hidrósfera, los cuales son: el sistema de agua atmosférica, agua superficial y agua sub superficial.

En primer lugar, el sistema de agua atmosférica incluye los fenómenos de la precipitación, evaporación, interceptación y transpiración. Por su parte, el sistema de agua superficial contiene los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua subsuperficial y subterránea, y escorrentía a ríos y océanos. Finalmente, el sistema de agua subsuperficial abarca los procesos de infiltración, flujo subsuperficial y flujo de agua subterránea. Cabe señalar que el flujo de agua subterránea se presenta en estratos profundos de suelo y roca, mientras que el flujo de agua subsuperficial ocurre en la capa del suelo más próxima a la superficie (Chow, 1994).

**Figura 6**

*Ciclo hidrológico sistematizado*



*Nota:* Tomado de Chow (1994)

## 2.3.2 Parámetros hidrometeorológicos

Los parámetros del ciclo hidrológico son los siguientes:

### 2.3.2.1. Precipitación

La precipitación se entiende como todas las formas de humedad ya sea en estado sólido o líquido que salen de la atmósfera para ser depositados en la superficie terrestre. De acuerdo a Chow (1994), la precipitación es el proceso por el cual el agua desciende a la superficie terrestre, la cual incluye procesos como lluvia, nieve, granizo, etc. Para que este fenómeno tenga lugar se requiere que una masa de agua se eleve a un punto tal que se enfríe y parte de su humedad se condense.

La ingeniería hidrológica define a la precipitación como, *“la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y al control del agua”* (Villón, 2002, p.12).

#### - **Medición de la Precipitación**

La precipitación se mide en términos de altura de lámina de agua que expresa la cantidad de lluvia como la de altura de agua caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable (Monsalve, 1999) y siendo su unidad de medida el milímetro.

Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. En nuestro país, la medición de información pluviométrica está a cargo del SENAMHI. Para muchos problemas hidrológicos se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona, la cual puede estar referida a la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual.

#### - **Completación de datos de precipitación**

Para el análisis y diseño hidrológico se utiliza información obtenida de las mediciones de precipitación. De ahí la importancia de las estaciones meteorológicas, que, sin embargo, no están exentas a presentar información incompleta por diversas razones. Actualmente, se han desarrollado métodos para la realización de la completación de datos de precipitación. Algunos de estos métodos son: promedio simple, proporciones, transformada de Wavelet y Cutoff.

#### **Método de Cutoff**

Es una técnica que utiliza la naturaleza espacio-temporal de los datos para obtener de manera precisa y eficiente los datos faltantes. La metodología imputa los datos faltantes, determinando los datos próximos espaciales y luego definiendo los datos temporales dentro de estos vecinos espaciales (Feng et al., 2014). El método se extiende de forma natural a datos diarios, semanales, trimestrales o anuales, etc.

En la presente investigación, para el desarrollo de la completación de datos de precipitación se utilizó la plataforma virtual de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos para el Agua (ANDREA) creada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para el procesamiento de datos de precipitación y su respectiva completación de datos faltantes; que, a su misma vez, dentro de sus múltiples opciones, hace uso de la metodología Cutoff para tal fin.

#### - **Plataforma ANDREA**

Para la realización de la completación de datos faltantes de precipitación se utilizó la plataforma interactiva para el Análisis de Datos y Recursos Estadísticos para el Agua (ANDREA), que es un programa creado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

La plataforma permite la resolución de inconsistencia de datos, la completación de datos faltantes, el análisis estadístico para detectar tendencias, saltos y posteriormente lograr la corrección; y mediante sus múltiples opciones, hace uso de la metodología Cutoff para tal fin.

#### **Figura 7**

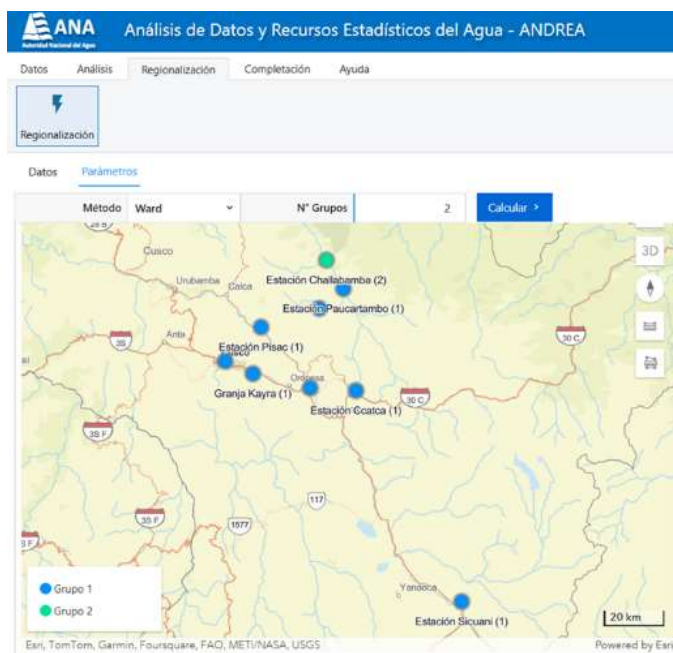
*Plataforma de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua (ANDREA)*



*Nota.* La figura muestra el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos en la que se encuentra la plataforma ANDREA.

**Figura 8**

*Ubicación de las estaciones en la interfaz de la plataforma ANDREA*



*Nota.* La figura muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas dentro de la plataforma ANDREA

- **Consistencia de datos de precipitación**

La consistencia de los datos implica que las características de la información recolectada no han cambiado a lo largo del tiempo. La inconsistencia puede surgir en estaciones que han cambiado de ubicación o que han tenido problemas para recopilar datos. Aunque la información sigue siendo recopilada, pueden presentarse variaciones entre los nuevos datos y los anteriores (McCuen, 1998). Para analizar estas variaciones a lo largo de los años, se pueden utilizar gráficos como el de la curva doble masa, que muestra la acumulación de datos con el tiempo, así como gráficos de datos no acumulados frente al tiempo. Además, un gráfico de barras que compare la altitud con los promedios de precipitación o temperatura puede ser útil para evaluar la consistencia de los datos. Todos estos elementos facilitarán un análisis completo de los datos de precipitación y temperatura.

**2.3.2.2. Temperatura**

Es el factor que interviene en todas las etapas del ciclo hidrológico. La temperatura es una variable climática de gran importancia dentro del ciclo hidrológico debido a que esta se encuentra ligada con la evapotranspiración. La temperatura media mensual está representada por

el promedio aritmético de las temperaturas medias diarias en el periodo considerado y la temperatura media diaria se calcula promediando la temperatura máxima y mínima registrados.

La medición de la temperatura se realiza en estaciones meteorológicas en las que se dispone de un termómetro de mínima y de máxima o de un termógrafo.

### **2.3.2.3. Evapotranspiración**

También llamado “uso consuntivo” (Aparicio, 1992) se define como la suma de pérdidas de agua del ciclo hidrológico por la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas (Monsalve, 1999). Los factores que intervienen en la evapotranspiración son: el suministro de energía y el transporte de vapor, añadiendo el suministro de humedad a la superficie de evaporación (Chow et al, 1994).

Thornthwaite introduce el concepto de evapotranspiración potencial (Linsley et al, 1977), que depende de la densidad de cobertura y su estado de desarrollo. Aunque teóricamente es independiente de la naturaleza y condición de superficie, hay razones suficientes para considerarla equivalente a la evaporación de una superficie agua libre de gran dimensión sin capacidad de almacenar calor. Existen dos tipos de evapotranspiración:

- Evapotranspiración potencial
- Evapotranspiración real

Existen muchos enfoques para el cálculo de la evapotranspiración, pero los datos necesarios dependerán del uso que se desea obtener (Linsley et al, 1977). El método que interesa para el modelamiento futuro es el propuesto por Turc, quien desarrolló una fórmula basada en estudios estadísticos de 254 cuencas alrededor del mundo (Monsalve, 1999).

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

$$L = 300 + 25 * T + 0.005 * T^3$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración anual real (mm/año)

P: Precipitación (mm/año)

T: Temperatura media anual (°C)

### **2.3.2.4. Escorrentía**

El agua que circulará sobre la superficie se le denominará escorrentía (Linsley et al, 1977). Cuando la precipitación alcanza la superficie y discurre por la misma, una parte queda retenida debido al fenómeno de la infiltración, el excedente que discurre por la superficie del terreno se denomina escurrimiento, y al volumen del escurrimiento se le conoce como escorrentía.

Se diferencian tres tipos de escurrimiento: el superficial, el sub superficial y el subterráneo (Aparicio, 1992).

El escurrimiento superficial se desplaza sobre la superficie del terreno con mayor velocidad que los otros dos escurrimientos y es el proveniente de la precipitación efectiva por lo que se le conoce también como escurrimiento directo. el cual desde el punto de vista de la ingeniería es el más importante de medir y predecir.

El escurrimiento sub superficial se desplaza entre la superficie y la napa freática, por lo que, dependiendo de su velocidad, puede ser adicionada al escurrimiento directo o al escurrimiento base (Aparicio, 1992). Los escurrimientos tienen una relación directa con los hidrogramas debido a que ellos forman la escorrentía que se utiliza para el cálculo de los caudales que se presentan en los hidrogramas.

El escurrimiento subterráneo viene a ser el que ocurre por debajo de la napa freática y el de menor velocidad de entre los tres escurrimientos. Además, es el que sigue alimentando a las corrientes cuando no hay presencia de precipitación, por lo que se le conoce también como escurrimiento base (Aparicio, 1992).

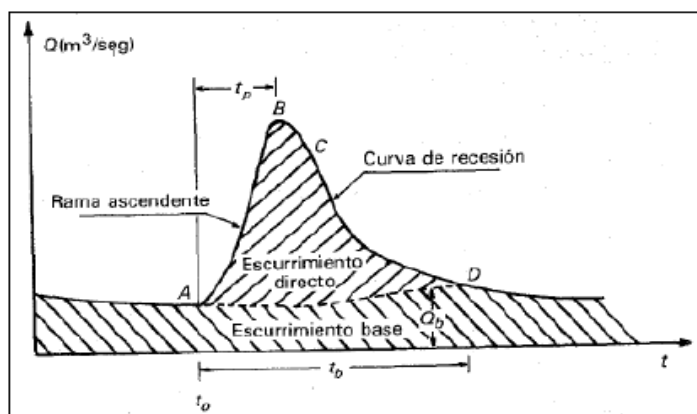
#### - **Hidrograma**

Los hidrogramas son conocidos como representaciones gráficas que muestran la tasa de flujo en función del tiempo en un determinado lugar (Chow et al, 1994). La manera de cómo se aprecian los datos de caudales de un río es mediante los hidrogramas a través de periodos corrientes y de avenidas mostrando su uso y almacenamiento (Linsley et al, 1977).

El hidrograma unitario, por su parte, es la suma de todos los hidrogramas elementales de una cuenca, puesto que presenta una forma, tamaño y pendiente similar en toda su área. Sin embargo, es importante considerar que un hidrograma típico no es suficiente para describir una cuenca debido a que existen variables de tormenta que producen cambios en su forma, como la duración de la lluvia, el patrón intensidad - tiempo, la distribución espacial de la lluvia y la cantidad de escorrentía (Linsley et al, 1977). Por otro lado, el hidrograma anual muestra el balance obtenido de parámetros como la precipitación, evaporación y caudal de una cuenca en un año (Chow et al, 1994).

**Figura 9**

*Hidrograma unitario*



*Nota:* Tomado de Libro de *Hidrología* por Aparicio, 1992

El análisis de los hidrogramas es crucial para prever crecidas, lo que facilita la preparación frente a fenómenos como las inundaciones. Asimismo, los hidrogramas son esenciales para determinar las descargas de diseño de diversas estructuras encargadas de canalizar el volumen de agua generado por los ríos (Linsley et al, 1977).

#### **2.3.2.4. PISCO**

Ante la baja densidad de estaciones meteorológicas en el Perú, se recurre a procedimientos alternativos para obtener información en sitios no instrumentados. Dado el inconveniente, el SENAMHI desde el año 2013, a través de su Dirección de Hidrología (DHI), ha generado la base de datos PISCO - *Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations* (Aybar et al., 2017). Este instrumento constituye una base de datos hidro-climáticos a una escala de aproximadamente 5 km, contando con información desde enero de 1981 hasta diciembre del 2016.

El producto PISCO fue desarrollado tomando como referencia la base de datos global del proyecto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), el cual cuenta con datos provenientes de sensores remotos, modelos y datos provenientes de estaciones terrenas. Cabe resaltar que, CHIRPS fue desarrollada por un grupo de investigadores en hidro-climatología, que a escala mundial han venido trabajando con información satelital de precipitación para construir bases de datos con buena resolución espacial y temporal.

La metodología que siguió SENAMHI para la generación de “PISCO precipitación diaria” (PISCOpd) y mensual (PISCOpm) fue:

- Control de calidad de la información pluviométrica.
- Análisis exploratorio (AE) de la información satelital.

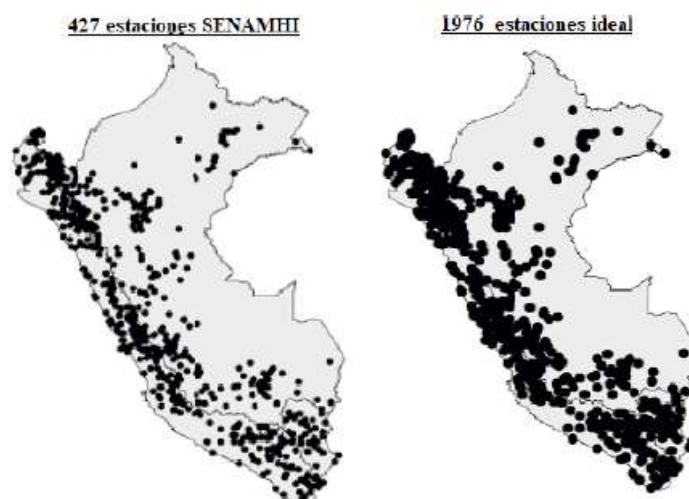
- Mezcla de datos basado en técnicas geo estadísticas (mensual) y determinísticas (diaria).

Es recomendable que para estudios climáticos como investigaciones en cambio climático es necesario realizar observaciones pluviométricas complementarias en el ámbito de estudio, utilizando el control de calidad para un contraste con datos de PISCO (Aybar *et al.*, 2017).

Las limitaciones de la base de datos PISCO se sustentan en la precisión de la predicción espacial temporal de las precipitaciones y temperaturas. Es más fiable en los lugares donde se cuenta con información de pluviómetros. Según Aybar *et al.* (2017), el número de estaciones deseadas para cubrir todo el territorio peruano sería de 1976, en la actualidad, el SENAMHI solo cuenta con 427 estaciones, cubriendo solo un 21.6% del territorio nacional.

## Figura 10

*Diferencias en el número de estaciones*



*Nota:* Tomado de PISCO, Lavado *et al.*, 2019

### 2.3.3. Cuenca hidrográfica

#### a) Definición de cuenca

Se define cuenca como: “*el área natural en el cual el agua que cae por precipitación se une para formar un curso de agua principal o colector común, que sirve de eje de la zona*” (Chereque, 1980). Los sistemas de corrientes que se generan en la cuenca tienden a drenar las gotas de agua hacia un mismo punto de salida.

#### b) Clasificación de la cuenca

##### Clasificación de la cuenca según su altura

Se puede dividir en cuenca alta, media y baja, donde existen diferentes características geográficas y comportamiento hídrico (Villón, 2002).

- **Cuenca alta:** Se refiere a las áreas montañosas o cabeceras de cerros, están limitadas por las divisorias de aguas en su parte superior.
- **Cuenca media:** Se define como una “zona donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido” (Ordoñez Gálvez, 2011).
- **Cuenca baja o zonas transicionales:** Situadas en áreas bajas cerca de la costa, en esta región el río desemboca en zonas como estuarios y humedales o en ríos más grandes.

**Figura 11**

*Cuencas según la altitud*



*Nota:* Tomado de Eoearth, Ordoñez (2011)

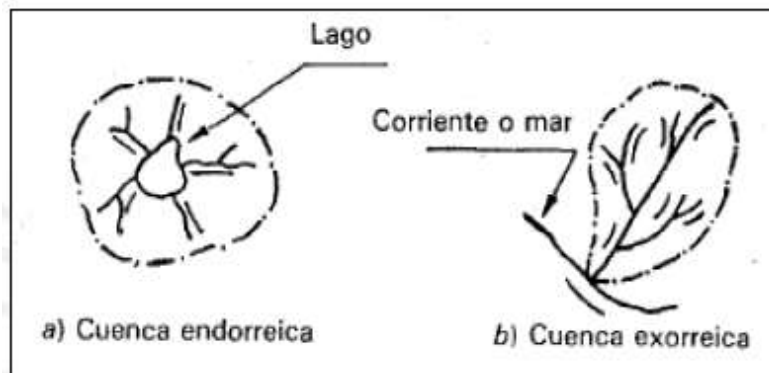
### **Clasificación de cuenca según la dirección de evacuación de las aguas**

La desembocadura puede ser ubicada tanto en el interior del área delimitada como en los límites de la misma. Se pueden diferenciar dos tipos de cuencas:

- **Cuenca exorreica o abierta:** Son las cuencas que mantienen el drenaje al mar o al océano.
- **Cuenca endorreica o cerrada:** Son aquellas cuencas que desembocan sus aguas en lagunas, lagos o ríos.

## Figura 12

*Tipos de cuencas según desembocadura*



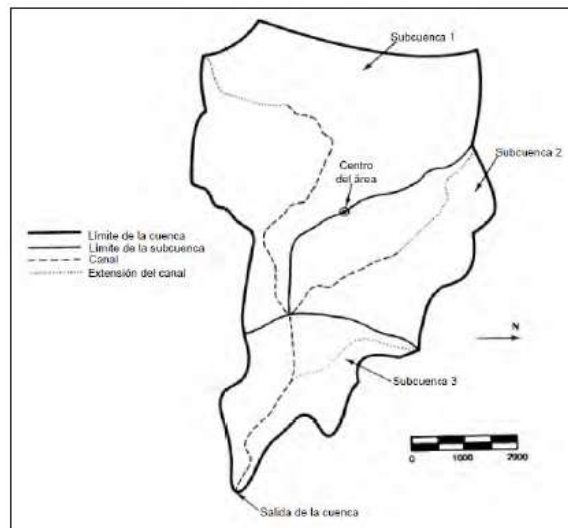
*Nota:* Tomado de Aparicio (1992)

### c) Delimitación de la cuenca

La delimitación de una cuenca se lleva a cabo en un plano o mapa utilizando curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium aquarum (parteaguas). Esta línea imaginaria separa cuencas adyacentes y dirige el escurrimiento generado por la precipitación, que fluye hacia el punto de salida de la cuenca en cada sistema de corriente. El parteaguas está constituido por los puntos de mayor altitud topográfica y cruza las corrientes en los puntos de salida, conocidos como estaciones de aforo (Villón, 2002).

## Figura 13

*Delimitación de los límites de la cuenca*



*Nota:* Tomado de McCuen (1998)

#### d) Unidades hidrográficas

Existen conceptos referentes a cuenca, subcuenca y microcuenca, donde se utilizan rangos de áreas para cada unidad hidrográfica.

El número de orden de un curso de agua o río se inicia a partir del cauce más pequeño de los límites del “*divortium aquarum*” o divisoria de agua.

**Tabla 3**

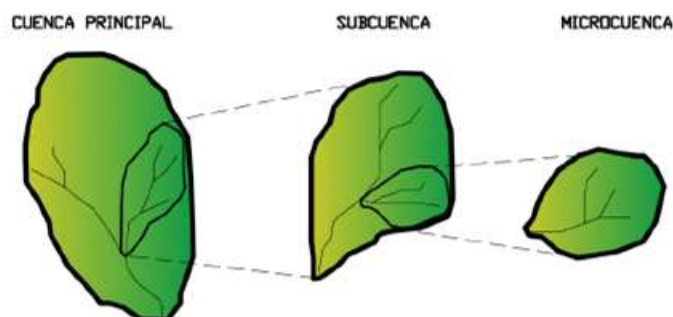
*Unidades hidrográficas*

Unidad hidrográfica	Áreas		Número de orden del curso de agua
	Km2	Ha	
Microcuenca	Menor a 50	Menor a 5000	1°, 2° y 3°
Subcuenca	50- 500	5000-50000	4° y 5°
Cuenca	500- 8000	50000- 800000	6° a más

*Nota:* Adaptado del libro Manejo de cuencas alto andinas, Vásquez, 1998

**Figura 14**

*Unidades hidrográficas- estructura graduada de una cuenca*



*Nota:* Tomado de SEMARNAT (2013)

#### 2.3.4. Parámetros de la cuenca

##### Área de la cuenca (A)

El área de drenaje se refiere a la porción delimitada de la cuenca y puede haber varias de ellas si la cuenca se divide en subcuencas. Esta área se utiliza para indicar la capacidad de la lluvia para generar un volumen de agua (Linsley et al, 1977).

Según Gámez (2010), una cuenca por su tamaño se clasifica de la siguiente manera:

**Tabla 4***Clasificación de las unidades hidrográficas de acuerdo al área*

<b>Clasificación</b>	<b>Área km2</b>
Muy pequeña	<25
Pequeña	25-250
Intermedia pequeña	250-500
Intermedia grande	500-2500
Grande	2500-5000
Muy grande	>5000

Nota: Adaptado de Gámez, 2010

**Factor de Forma (Ff)**

Es la relación entre el área de la cuenca A y el área de un cuadrado de longitud L, siendo L la longitud del río principal de la cuenca. Además, se conoce que las cuencas no son similares en forma, es decir que a medida que el área aumenta, su relación  $A/L^2$  disminuye lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes.

Asimismo, se conoce que la forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos. Horton sugirió un factor adimensional de forma (Ff) como índice de la forma de una cuenca.

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Los valores del factor de forma se interpretan de la siguiente manera:

**Tabla 5***Valores de forma en una cuenca*

<b>Descripción de la cuenca</b>	<b>Valores de factor de forma</b>
Cuenca muy alargada	< 0.22
Cuenca alargada	0.22 – 0.30
Cuenca ligeramente alargada	0.30 – 0.37
Cuenca ni alargada ni ensanchada	0.37 – 0.45
Cuenca ensanchada ligeramente	0.45 – 0.60
Cuenca ensanchada	0.60 – 0.80
Cuenca muy ensanchada	0.80 – 1.00
Cuenca achatada con tendencia a la ocurrencia de avenidas	> 1

Nota: Adaptado de Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH- CORTOLIMA, 2019

### **Coefficiente de Compacidad o índice de Gravelious (Kc)**

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que contenga la misma área de la cuenca hidrográfica. La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es que una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dadas su simetría. Kc es un coeficiente adimensional y brinda una noción de la forma de la cuenca.

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Según Gámez (2009) una cuenca según su coeficiente de compacidad tiene los siguientes tipos de forma.

**Tabla 6**

*Tipos de forma según el coeficiente de compacidad*

<b>Valores de Kc</b>	<b>Tipos de Forma</b>
<b>1.00 - 1.25</b>	Casi redonda a oval redonda
<b>1.25- 1.50</b>	Oval redondeado a oval oblonga
<b>1.51- 1.75</b>	Oval oblonga a rectangular oblonga
<b>Mayor a 1</b>	Rectangular

*Nota:* Adaptado de Gámez, 2010

### **Rectángulo Equivalente**

El rectángulo equivalente compara las características morfológicas de la cuenca con la circulación superficial, suponiendo que la circulación en una cuenca a igualdad de otros factores sería equiparable a la que circulase por un rectángulo con la misma superficie de la cuenca. De esta forma, la cuenca que, convertida en un rectángulo, siendo las curvas de nivel paralelas al lado menor del rectángulo, en unos de estos lados estaría la salida de la cuenca.

### **Densidad de drenaje**

Está definida como la relación entre la longitud total a lo largo de todos los cauces de agua de la cuenca en proyección horizontal y la superficie total de la cuenca. Se expresa en Km/Km<sup>2</sup> y refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación en la cuenca.

$$Dd = \frac{Lt}{Ac}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (Km/Km<sup>2</sup>)

Lt: Longitud total de las corrientes de todos los órdenes (km)

Ac: Área total de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Los valores de densidad de drenaje se interpretan de la siguiente manera:

**Tabla 7**

*Interpretación de la densidad de drenaje*

Densidad de drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	Categoría
Menor a 1	Bajo
1 – 2	Moderado
2 - 3	Alto
Mayor a 3	Muy alto

*Nota:* Tomado de Gómez Garzón (2020)

Un valor de densidad de drenaje alto se asocia con una superficie impermeable, vegetación escasa y relieve montañoso. Por otra parte, una densidad de drenaje tiende a ser baja en regiones desérticas de topografía plana, por tanto, tiene una respuesta hidrológica lenta.

### **Longitud del cauce principal de la cuenca**

La longitud de la cuenca o subcuenca es la distancia desde el punto de salida donde desemboca el canal principal, hasta la delimitación de la zona. Esta recta trazada no es necesariamente la unión del punto de salida hacia el extremo más alejado de la cuenca o subcuenca, sino que debe seguir el camino por donde pasa el mayor volumen de agua. (Linsley et al, 1977).

### **Pendiente de la cuenca**

La pendiente de la cuenca o subcuenca permite obtener la variación de elevación con respecto a la distancia del camino que sigue la corriente principal. Las elevaciones usadas para el cálculo de la pendiente no son las que tienen las diferencias más extremas, sino son aquellas que se presentan en el camino de la corriente principal (McCuen, 1998, Linsley et al, 1977).

$$S = \frac{\Delta E}{L}$$

Donde:

S: Pendiente de cuenca.

$\Delta E$ : Diferencia de cotas.

L: Longitud de tramo.

La pendiente media de la cuenca influye en el comportamiento de la cuenca, afectando directamente el escurrimiento de las aguas de lluvia, tanto en magnitud como en el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal.

### **Pendiente del Terreno**

Es la pendiente ponderada para toda la cuenca. Se obtiene a partir del cociente entre el producto de la longitud de las curvas de nivel que aparecen en la cuenca por la equidistancia entre las mismas y la superficie total de la cuenca.

### **Curva Hipsométrica**

La curva hipsométrica ilustra cómo varía el área drenada en función a la altura de la superficie de la cuenca. Se elabora llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada, expresados en km<sup>2</sup> o en porcentaje, hasta un nivel determinado, que se representa en el eje de las ordenadas, generalmente en metros.

La función hipsométrica es una manera útil y objetiva de describir la relación entre la altitud de la cuenca y el área drenada. Este gráfico adimensional resulta muy valioso en hidrología para comparar la similitud entre dos cuencas, especialmente cuando hay variaciones en la precipitación y la evaporación en relación con la altitud. Además, estas curvas se asocian con las edades de los ríos.

### **Altitud Media de la Cuenca**

Este parámetro brinda un índice de la velocidad media de la esorrentía y su poder de arrastre y de la erosión de la cuenca. La altitud media de la cuenca se determina mediante el método de la curva hipsométrica la cual ofrece una visión del relieve y la altimetría de la cuenca.

### **Pendiente de la Corriente Principal**

La pendiente del curso principal se calcula a partir del cociente entre la desnivelación entre los puntos definidos por las cotas que marcan la desembocadura y las nacientes del río y la longitud del curso principal.

## **2.4. Hipótesis de la investigación**

### **2.4.1. Hipótesis General**

**HG:** El cambio climático influye significativamente en los caudales en la cuenca alta del río Mapacho bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099

## 2.4.2. Hipótesis Específicas

**HE1:** Existe una variación considerable entre los caudales históricos y los caudales futuros proyectados bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

**HE2:** Existe una variación considerable entre la precipitación histórica y la precipitación futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

**HE3:** Existe un incremento significativo de la temperatura histórica comparada con la temperatura futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.

## 2.5. Identificación de variables e indicadores

### 2.5.1. Variables

Se consideró dos variables:

Variable 1: Caudales

Variable 2: Cambio climático

### 2.5.2. Indicadores

V1: Caudales

V11: Clima histórico

V111: Precipitación histórica

V112: Temperatura máxima histórica

V113: Temperatura mínima histórica

V12: Suelos

V115: Tipo de suelo

V116: Cobertura vegetal

V117: Caudales aforados

V13: Topografía

V131: Modelo Digital de Elevación (DEM)

V2: Cambio climático

V21: Modelos Climáticos Globales

V211: MPI-ESM1-2-LR

V212: CNRM-CM6-1  
V213: CanESM5  
V22: Escenarios de forzamiento radioactivo (RCP-SSP)  
V221: SSP2-4.5  
V222: SSP5-8.5  
V23: Tiempo  
V231: Corto plazo (2023-2049)  
V232: Mediano plazo (2050-2074)  
V233: Largo plazo (2075-2099)

## 2.6. Operacionalización de variables

**Tabla 8**

*Operacionalización de variables*

Variable 1	Variable 2	Factores	Indicadores	Unidad
V1: Caudales	V2: Cambio climático	V11: Clima histórico	Precipitación histórica (1981- 2022)	Milímetros (mm)
			Temperatura máxima histórica (1981 - 2022)	Grados Celsius (°C)
			Temperatura mínima histórica (1981 - 2022)	Grados Celsius (°C)
		V12: Suelos	Tipo de suelo	
			Cobertura vegetal	
		V13: Topografía	Modelo Digital de Elevación	
		V21: Modelos climáticos globales	CNRM-CM6-1 (2023 - 2099)	
			MPI-ESM1-2-LR (2023 -2099)	
			CanESM5 (2023 -2099)	
		V22: Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y Escenarios de forzamiento radioactivo (RCPs)	SSP2-4.5	
			SSP5-8.5	
		V23: Tiempo	Corto plazo (2023-2049)	Años
Mediano plazo (2050-2074)	Años			
Largo plazo (2075-2099)	Años			

*Nota:* Elaboración propia (2024)

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Ámbito de estudio

#### 3.1.1. Ubicación de la zona de estudio

Políticamente, la cuenca de estudio se ubica en la región de Cusco, abarcando los distritos de Paucartambo, Colquepata, Huancarani, Caycay y Challabamba de la provincia de Paucartambo y los distritos de Ocongate, Ccatca y Ccarhuayo de la provincia de Quispicanchi, siendo el distrito de Paucartambo, el que cuenta con mayor densidad poblacional dentro de la cuenca. Geográficamente, la cuenca alta del río Mapacho se encuentra en la parte oriental de la región Cusco, entre los meridianos 71°06'37'' y 71°43'00'' de longitud oeste y los paralelos 13°43'42'' y 13°06'00 de latitud sur. Altitudinalmente, se extiende desde la zona de Challabamba con una altitud de 2750 m.s.n.m. hasta las cumbres del nevado Ausangate alcanzando 6350 m.s.n.m

**Tabla 9**

*Coordenadas de la cuenca alta Mapacho*

Descripción	Información
Longitud	71°06'37'' W - 71°43'00'' S
Latitud	13°43'42'' W - 13°06'00'' S
Zona	UTM 19S
Datum	WGS84

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 15**

*Área de influencia de Paucartambo- Vista satelital*



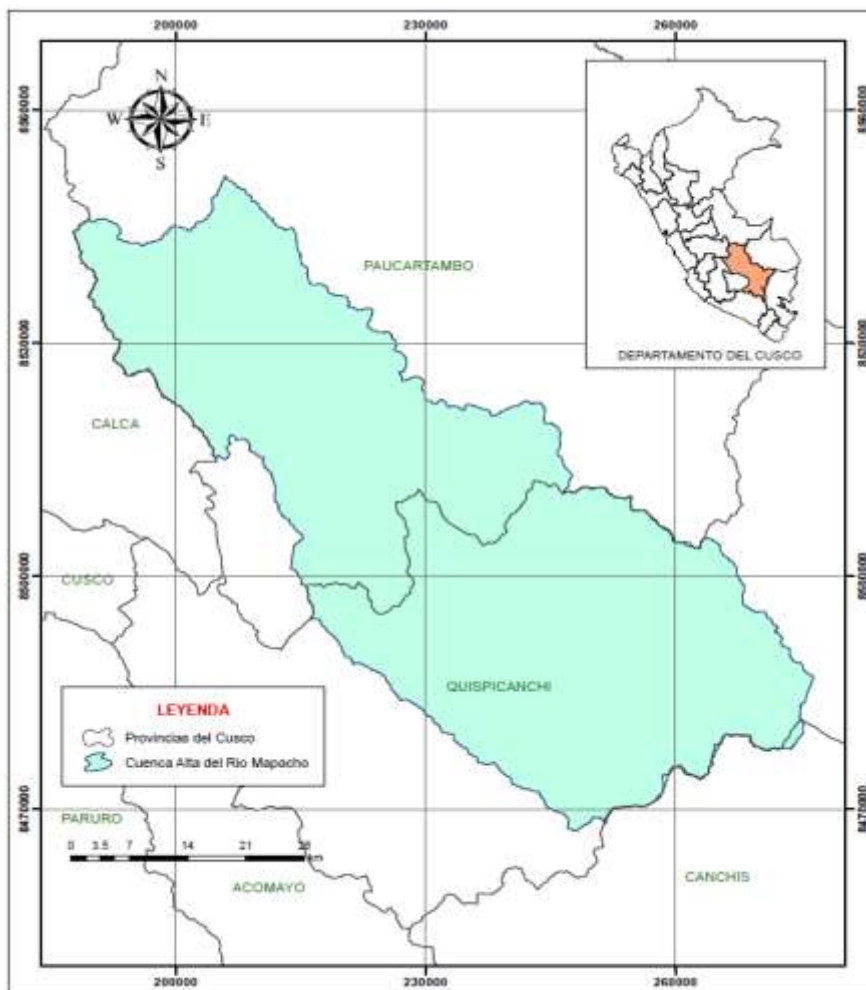
*Nota:* Google Earth (2023)

El acceso a la zona de estudio se realiza por vía terrestre desde la ciudad del Cusco hacia las localidades de Saylla y Urcos, desde donde se dirige la red vial nacional PE-30C (carretera Interoceánica Sur) que conduce hacia la ciudad de Puerto Maldonado, a unos doscientos metros antes de llegar al distrito de Ocongate, se encuentra el desvío hacia el distrito de Ccarhuayo desde donde inicia la red vial departamental CU-116, siguiendo el recorrido de la vía CU-116 se puede observar la trayectoria que tiene el río Mapacho hasta llegar al distrito de Paucartambo. Otro acceso por vía terrestre desde la ciudad del Cusco, es utilizando la vía que conduce hacia Paucartambo, la red vial departamental CU-113, por la que se puede llegar de manera más rápida a las estaciones meteorológicas de Paucartambo y Challabamba y a la estación hidrométrica de Chacllabamba.

Para obtener mayor información de los aspectos socioeconómicos de la cuenca, se puede revisar el *Anexo B*.

### Figura 16

*Mapa político administrativo dentro del ámbito de estudio*



*Nota:* Elaboración propia en base a ArcGIS (2023)

### 3.1.2. Delimitación hidrológica de la cuenca

En esta sección se presenta el procedimiento empleado para la delimitación de la cuenca y el cálculo de las propiedades físico-morfológicas de la misma, para la delimitación de la cuenca se consideró lo siguiente:

- **Modelo de elevación Digital (DEM)**

El Modelo Digital de Elevación (DEM) se obtuvo a partir de la descarga de las imágenes satelitales ALOS PALSAR de 12.5 metros de espaciado entre píxeles. Para ello, se ingresó a la página de Alaska Satellite Facility (ASF) se ubicó la zona de estudio y se hizo la descarga correspondiente, el enlace para acceder a la página ALOS PALSAR es el siguiente: <http://search.asf.alaska.edu>

Para cubrir el área de la cuenca de estudio se descargaron seis (6) imágenes satelitales, las cuales se numeran a continuación:

AP\_22756\_FBD\_F6900\_RT1

AP\_22756\_FBD\_F6910\_RT1

AP\_22756\_FBD\_F6920\_RT1

AP\_23004\_FBD\_F6900\_RT1

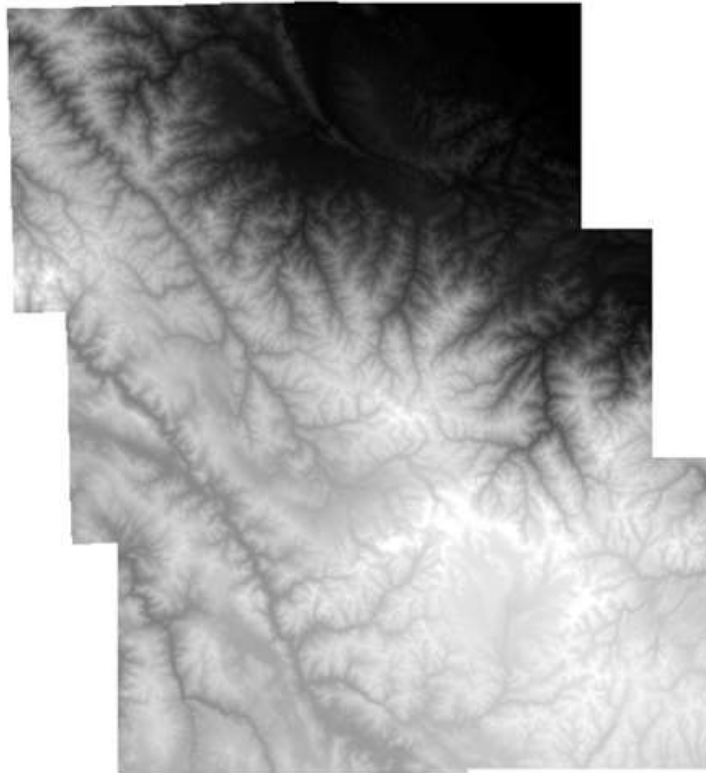
AP\_23004\_FBD\_F6910\_RT1

AP\_23004\_FBD\_F6920\_RT1

Una vez obtenidas las imágenes satelitales en formato ráster, se realizó la georreferenciación en el sistema de proyección UTM 19S y Datum WGS1984. Luego, con la herramienta “mosaico” en el programa ArcMap se hizo la unión de las seis imágenes satelitales obteniendo una sola imagen, a la cual se denominó “dem.union.tif”, con la cual se realizó la delimitación de la cuenca.

## Figura 17

*DEM de la zona de estudio*



*Nota:* En base a información del servidor ASF

Con el DEM cargado en el software ArcMap, se realizó la delimitación de la cuenca y considerando el mapa de acumulación de flujo (ver Figura 18. c), se obtuvo la red hídrica de la cuenca de estudio, el procedimiento a seguir para realizar la delimitación de la cuenca es el siguiente.

Se cargó el DEM denominado “dem.union.tif” al software ArcMap, y mediante el uso de la herramienta fill, se realizó el llenado de los espacios vacíos que pueda tener el DEM, obteniendo de resultado un archivo Fill\_DEM, ver figura 18.a.

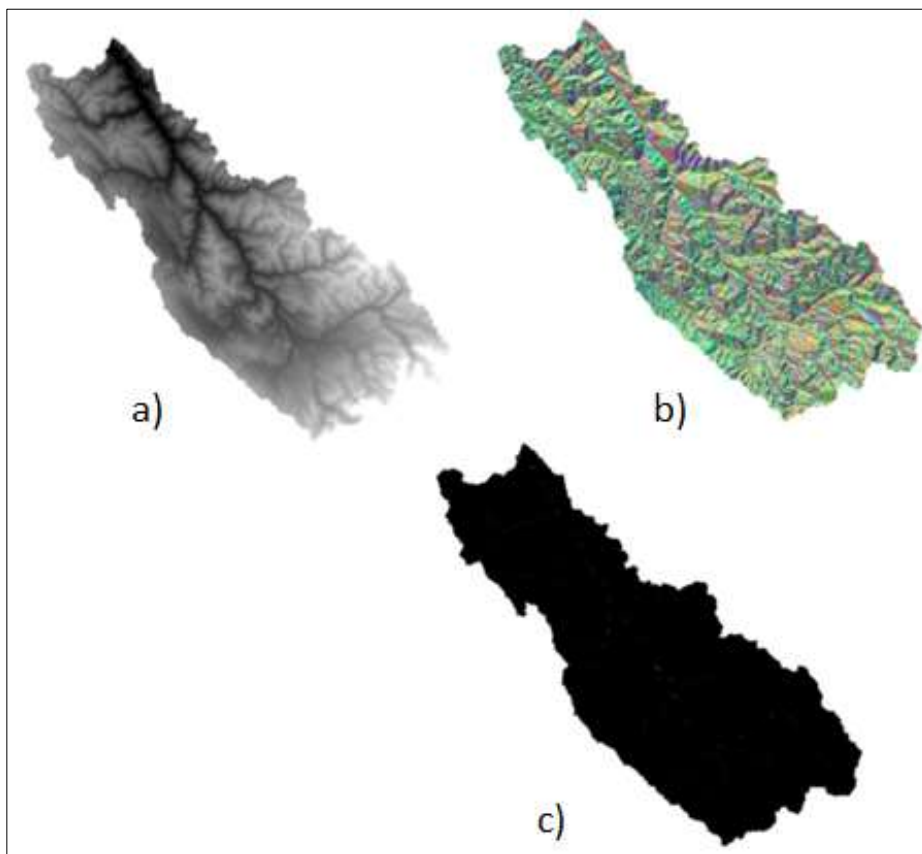
Al archivo Fill\_DEM, se le aplicó la herramienta Flow Direction y se obtuvo la dirección de flujo de agua en función a la pendiente, ver figura 18.b.

Se aplicó la herramienta Flow Accumulation, y se determinó la red hídrica de la cuenca en estudio, ver figura 18 (c).

## Figura 18

*Proceso de delimitación de cuenca*

*a) Mapa en formato ráster, b) Mapa de dirección de flujo, c) Mapa de acumulación del flujo*



*Nota:* Elaboración propia (2023)

En función a la red hídrica se escogió un punto de salida que delimita automáticamente la cuenca, en este caso se consideró como punto de aforo a la estación hidrométrica de Chacllabamba, ubicada en el distrito de Paucartambo. Por lo que al software ArcMap se importó mediante una hoja Excel guardada en formato Libro de Excel 97-2003 las coordenadas de ubicación de la Estación hidrométrica Chacllabamba.

**Tabla 10**

*Coordenadas de la Estación hidrométrica Chacllabamba*

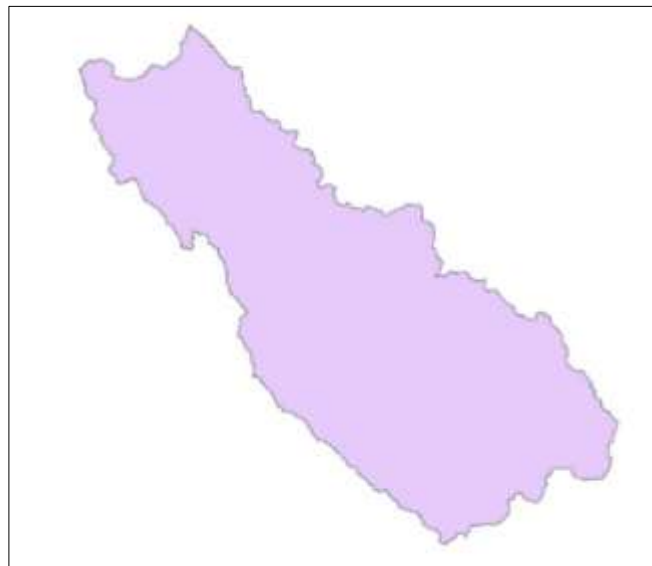
<b>ESTACION</b>	<b>COOR_X</b>	<b>COOR_Y</b>
Estación Chacllabamba	205033.47	8549468.25

*Nota:* Elaboración propia, en base a SENAMHI (2023)

- Considerando el archivo resultante de la herramienta Flow direction, el punto de aforo y mediante la utilización de la herramienta Watershed se realizó la delimitación de la cuenca hidrográfica y se obtuvo la cuenca delimitada en formato Raster.
- Finalmente se convirtió el archivo Raster de la cuenca de estudio a formato Shapefile utilizando la herramienta Raster to polygon del software ArcMap.

**Figura 19**

*Polígono que marca los detalles superficiales de la subcuenca en formato Shapefile*

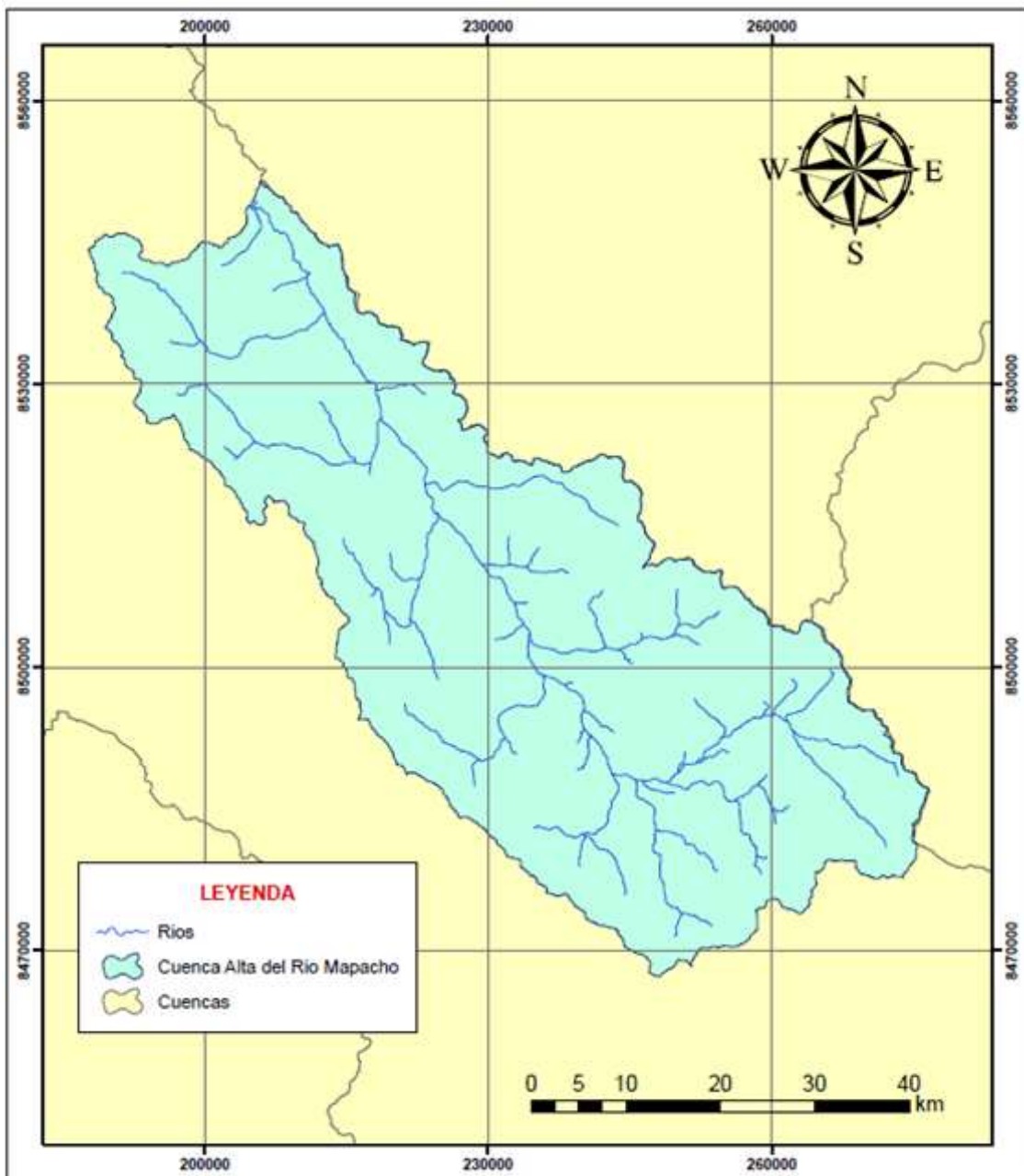


*Nota:* Elaboración propia (2023)

De esa manera, se pudo definir el área de aporte, la red hidrográfica, y además se calculó los parámetros morfométricos de la cuenca. El límite de la divisoria de aguas se verificó y se obtuvo la delimitación de la cuenca alta del río Mapacho:

**Figura 20**

*Delimitación del área de estudio*



*Nota:* Elaboración propia en base a ArcGIS (2023)

### 3.1.3. Caracterización de la cuenca en estudio

#### 3.1.3.1. Hidrografía

Hidrográficamente, la zona de estudio forma parte de la cuenca Yavero, la cual comprende una superficie de 5462 km<sup>2</sup> y ocupa un 9.3% del total de la cuenca Urubamba, la misma que se encuentra dentro de la cuenca del río Ucayali y desemboca en las aguas del río Amazonas (ANA, 2010).

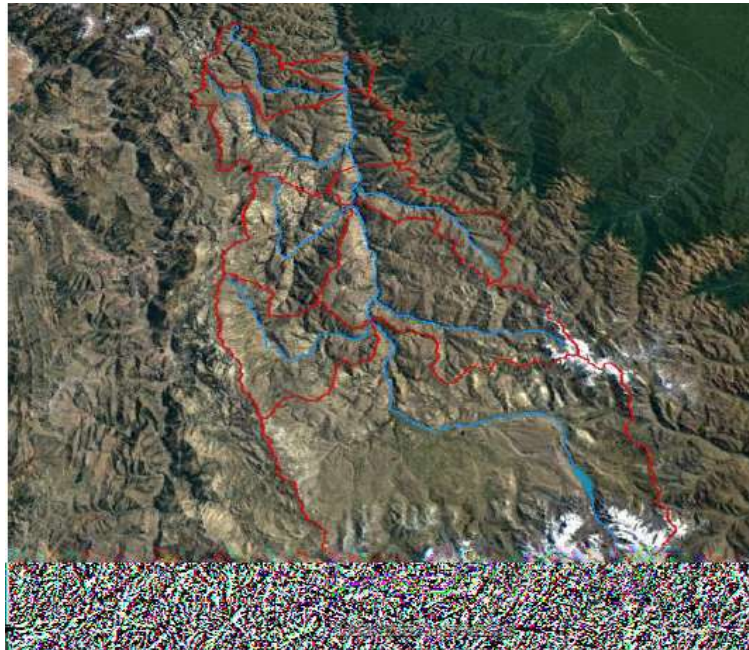
Cabe resaltar que el río Mapacho adopta el nombre de río Paucartambo a la altura del poblado de Paucartambo, para luego ser denominado río Yavero, el cual confluye por su margen izquierda con el río Urubamba (ANA, 2010).

Según la metodología de Otto Pfafstetter para la discretización de cuencas, la cuenca del río Yavero- Mapacho está conformado por 6 unidades hidrográficas de sexto orden conformado por: la cuenca del río Mapacho, cuenca del río Ccatca, Intercuenca 499487, cuenca del río Pichihua, Intercuenca 499485 y la cuenca del río Huilluca.

La red hidrográfica se compone de aguas del río Paucartambo desde el sureste a noreste, cuyas aguas reciben la afluencia de 48 tributarios por la margen derecha en forma permanente. También existe presencia de quebradas que drenan aguas de escorrentía en forma temporal.

#### Figura 21

*Vista satelital de la cuenca en estudio*



Nota: La imagen muestra la cuenca en estudio en el programa Google Earth (2023).

### 3.1.3.2. *Inventario hídrico*

#### ▪ **Ríos y quebradas**

La red hidrográfica principal de la cuenca está constituida por el río principal que es el río Mapacho, el cual recibe aportes de los ríos Ccatoc, Pichihua, Quencomayo, Huilluca, Chunchusmayo, Matoriato, ríos Singrena, Totorenemayo, Pichimuro, Lauramarca, Paljamayo (Autoridad Nacional del Agua, 2020). El recorrido del río recibe la afluencia de 48 tributarios por la margen derecha en forma permanente, sin considerar las numerosas quebradas que en forma temporal sirven para drenar las aguas de escorrentía que se generan en el ámbito producto de las precipitaciones pluviales. Se atraviesa la zona de estudio en dirección sureste-noroeste, luego toma una dirección norte-sur por unos dos kilómetros y recupera nuevamente su dirección inicial sureste-noroeste (INGEMMET).

#### ▪ **Lagos y lagunas**

La cuenca en estudio presenta en sus partes altas una abundante oferta hídrica, debido a la presencia de numerosas lagunas glaciares, bofedales, zonas pantanosas, lo que contrasta fuertemente en la parte media y baja de este ámbito estacionalmente muy seca (sub-cuenca del Ccatccamayo) en donde la oferta hídrica es escasa. Las principales lagunas se describen en el cuadro siguiente:

**Tabla 11**

*Lagunas en el ámbito de la cuenca*

<b>Nombre de laguna</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (Km)</b>
Ampatuna	0.249	2.627
Yaquimo	0.110	1.377
Armacocha	0.583	3.563
Uchuypuca Faucet	0.006	0.425
Yanaccocha	0.026	0.639
Mullucocha	0.116	1.586
Huarurumicocha	0.375	3.871
Quillhuacochoa	0.110	1.747
Caycocha	0.165	2.038
Pucacochoa	0.165	1.839
Minaparayoc	0.043	0.892
Azulcocha	0.091	1.435
Uturungocochoa	0.032	0.855
Ampatuna	0.231	2.440
Singrinacochoa	2.911	9.310
Comercochoa	0.154	1.517
Yanacochoa	0.038	0.841

Vinococha	0.038	0.724
Uchuypucacocha	0.114	1.468
Fauchintacocha	0.043	0.979
Jatunpucacocha	0.364	2.629
Minascocha	0.387	3.366
Otros	0.786	
<b>Total</b>	<b>7.137</b>	

Nota: Adaptado a partir de inventarios de la ANA (2020)

#### ▪ Glaciares

Existen dos glaciares en la cuenca alta del río Mapacho, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 12**

*Principales glaciares dentro de la cuenca*

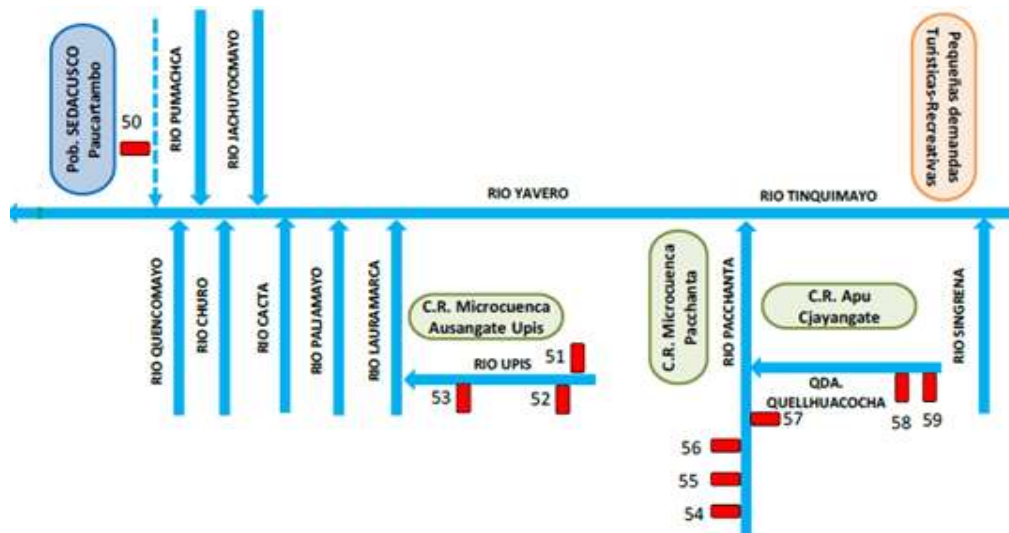
<b>Glaciares</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Altitud máxima (m.s.n.m.)</b>	<b>Altitud mínima (m.s.n.m.)</b>
Ausangate	140,35	6000	4800
Cinajara	18	5400	4800

Nota: Adaptado a partir de inventarios de la ANA (2020).

Para obtener un panorama que sintetice las principales fuentes de oferta (ríos, lagunas, etc.) y las infraestructuras hidráulicas mayores (canales, bocatomas, represas, etc) y las demandas principales (poblacional, agrícola, pecuario, entre otras), se realizó la representación dentro de un esquema topológico de la cuenca alta del río Mapacho. El esquema topológico se muestra, a continuación:

**Figura 22**

*Esquema topológico de la hidrografía del río Yavero- Mapacho*



Nota: Tomado de ANA, 2021

### 3.1.3.3. Climatología

La cuenca presenta una diversidad climática que le concede condiciones especiales en cuanto a recursos naturales, vegetación y usos del territorio. Existe una influencia macroclimática de masas de aire procedentes de la selva sur oriental del Altiplano. Los vientos que vienen del Altiplano se caracterizan por ser fríos y secos. Por otro lado, los vientos locales que se generan en sus valles y en sus llanuras tienen la función de distribuir calor y humedad. De esa manera, los vientos de la selva sur implican inmensas masas de aire cargadas de humedad, las cuales son impulsadas por los vientos alisios del oriente.

Según el IMA (2019), la clasificación climática se ha realizado a nivel macro climático, la cual está apoyado en datos climáticos provenientes de la red de estaciones meteorológicas de la región Cusco, a partir de estos datos se han generado ecuaciones de regionalización térmica y pluviométrica, estimándose luego las temperaturas y precipitaciones mensualizadas para cada 200 metros de altitud, posteriormente se procedió a formular los índices climáticos de acuerdo con las tablas estándares de los sistemas de clasificación Thornthwaite (1931) y del SENAMHI (1988).

**Tabla 13**

*Áreas correspondientes a cada clasificación climatológica de la cuenca Yavero*

Ítem	Climatología	Área	%
1	Lluvioso frígido con invierno seco	48.71	1.7

2	Lluvioso frígido con precipitación abundante en todas las estaciones del año	45.61	1.6
3	Lluvioso frío con invierno seco	547.20	19.1
4	Lluvioso frío con precipitación abundante en todas las estaciones del año	24.42	0.9
5	Lluvioso polar con invierno seco	70.34	2.5
6	Lluvioso polar con precipitación abundante en todas las estaciones del año	24.77	0.9
7	Lluvioso semi frígido con invierno seco	489.63	17.1
8	Lluvioso semi frígido con precipitación abundante en todas las estaciones del año	1.04	0.01
9	Lluvioso semifrío con invierno seco	196.07	6.8
10	Lluvioso semifrío con precipitación abundante en todas las estaciones del año	43.15	1.5
11	Muy lluvioso polar con precipitación abundante en todas las estaciones del año	39.09	1.4
12	Semiárido semi frígido con invierno seco	59.37	2.1
13	Semiseco frío con invierno seco	1179.1	41.1
14	Semiseco semifrío con invierno seco	90.85	3.2
15	Semiseco templado con invierno seco	6.18	0.2

Nota: Tomado de IMA (2019)

#### 3.1.2.4. Calidad de agua

Se extrajeron muestras de agua del río Mapacho y mediante el análisis físico, químico y microbiológico en el Laboratorio Louis Pasteur, se obtuvieron los siguientes resultados:

#### Resultados microbiológicos

**Tabla 14**

*Resultados microbiológicos de análisis de agua*

Ensayos	Unidad	Resultados
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	30x10

Nota: En base a datos del Laboratorio Louis Pasteur (2024)

**Tabla 15**

*Resultados químicos del análisis de agua*

Ensayos	Unidad	Resultados
---------	--------	------------

pH	Unidades de pH	7.02
Turbiedad	NTU	1.06
Sólidos totales	mg total solids/L	0.22
DBOs	DBO5, mg/L	10.60
Temperatura	°C	20.5
Oxígeno disuelto	mg/L	5.8

Nota: En base a datos del Laboratorio Louis Pasteur (2024)

## Resultados analíticos

**Tabla 16**

*Resultados analíticos del análisis de agua*

Parámetro	Resultados	Unidades	Incertidumbre	CMA
Fosfato	<0.50	Mg/L PO4		
Nitrato	0.37	Mg/L NO3	±0.032	

Nota: En base a datos del Laboratorio Louis Pasteur (2024)

## Figura 23

*Muestras de agua para el análisis de calidad de agua*



Nota: Aporte propio

### 3.1.4. Información hidrometeorológica disponible

Se realizó la recopilación de datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), provenientes de las estaciones cercanas a la cuenca. Las estaciones meteorológicas son las siguientes: Granja Kayra, Challabamba,

Colquepata, Ccatcca, Pisac, Sicuani, Urcos, Calca, Caicay, Combapata, Paucartambo, Perayoc y Chacllabamba, las cuales se muestran en la Tabla 17, y las estaciones hidrométricas de Paucartambo y Chacllabamba. En el caso de la información hidrométrica, se logró obtener registros de aforos realizados del año 2003 hasta el año 2022.

### 3.1.4.1. Información meteorológica observada

La información climática para el área de estudio comprendió a 13 estaciones, 5 de las cuales se localizan dentro de la cuenca Alta del Río Mapacho y las 8 estaciones restantes se ubican en las zonas adyacentes a la zona de estudio (Figura 24).

A continuación, se observa la información de las estaciones meteorológicas (Tabla 17) e información hidrométrica (Tabla 18):

**Tabla 17**

*Información de estaciones meteorológicas de la cuenca Mapacho*

Nro	Nombre	Ubicación política		Ubicación geográfica			Periodo de registro
		Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altitud	
1	Granja Kayra	Cusco	San Jerónimo	13°33'24.29"	71°52'30.61"	3214	1981-2022
2	Challabamba	Paucartambo	Challabamba	13°13'00"	71°38'56"	2803	1981-2022
3	Colquepata	Paucartambo	Colquepata	13°21'47.27"	71°40'24.1"	3696	1981-2022
4	Ccatcca	Quispicanchi	Ccatcca	13°36'35.6"	71°33'36.4"	3681	1981-2022
5	Pisac	Calca	Pisac	13°25'10.2"	71°51'3.1"	2990	1981-2022
6	Sicuani	Canchis	Sicuani	14°14'14.5"	71°14'12.1"	3534	1981-2022
7	Urcos	Quispicanchi	Urcos	13°42'01"	71°38'01"	3149	1981-2022
8	Calca	Calca	Calca	13°19'59.97"	71°57'18.85"	2921	1981-2022
9	Caicay	Paucartambo	Caicay	13°35'59.56"	71°42'1"	3117	1981-2022
10	Combapata	Canchis	Combapata	14°06'00"	71°26'00"	3474	1981-2022
11	Paucartambo	Paucartambo	Paucartambo	13°18'12"	71°35'48"	3042	1981-2022
12	Perayoc	Cusco	Cusco	13°31'16"	71°57'53"	3365	1981-2022
13	Chacllabamba	Paucartambo	Challabamba	13°6'31"	71°43'12"	2699	1981-2022

*Nota:* Adaptado a partir de SENAMHI (2023)

**Tabla 18**

*Información de estaciones hidrométricas en la cuenca Alta del Río Mapacho*

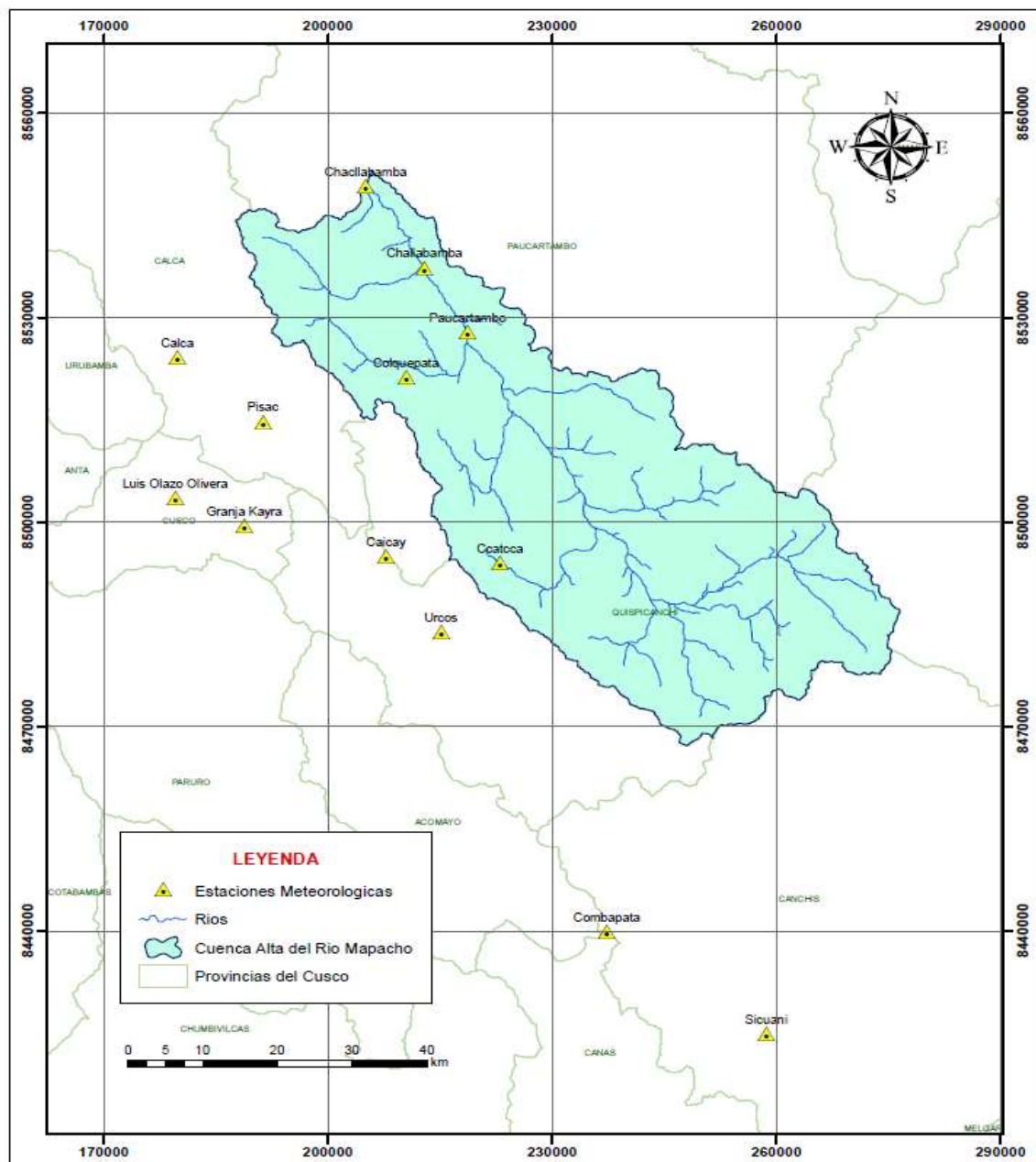
Estación	Ubicación política			Ubicación geográfica		
	Dpto.	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altitud
Paucartambo	Cusco	Paucartambo	Paucartambo	13°19'3.72'	71°35'50.66'	2953 msnm
Challabamba	Cusco	Paucartambo	Challabamba	13°13'02''	71°38'49''	2808 msnm

Nota. Elaboración propia a partir de SENAMHI, 2024.

La representación espacial de todas las estaciones tanto hidrométricas y meteorológicas, se muestra a continuación.

**Figura 24**

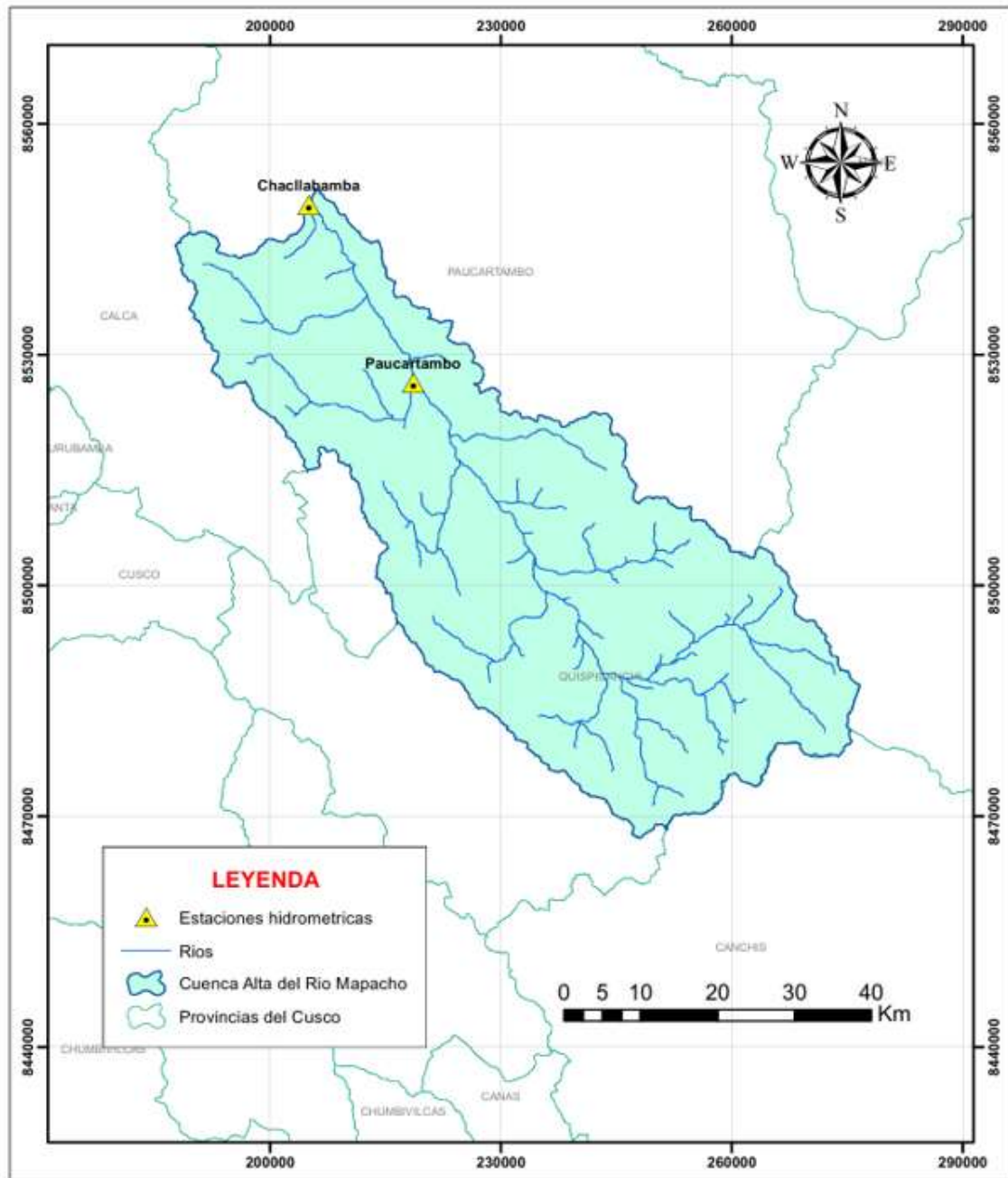
*Ubicación de las estaciones meteorológica e hidrométricas en la cuenca Mapacho*



Nota: Elaboración propia en base a ArcGIS (2023)

**Figura 25**

*Ubicación de estaciones hidrométricas en la cuenca alta del río Mapacho*



*Nota.* Elaboración propia en ArcGIS

Para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo, se requirió registros de precipitación diaria, temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria, dicha información fue proporcionada por el SENAMHI. Los datos descritos anteriormente fueron procesados,

obteniendo así registros de precipitación media mensual, temperatura máxima mensual y temperatura mínima mensual, información que se presentada de forma detallada en el *Anexo H*.

### **3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación**

Considerando los objetivos y variables de la presente tesis, se definen el tipo, alcance y diseño de la investigación:

#### **3.2.1. Tipo de investigación**

##### **Investigación cuantitativa**

La investigación se enfoca en el estudio y análisis basado en mediciones, análisis estadístico y procesamiento de datos prospectivos y retrospectivos para contrastar la hipótesis, por lo que la investigación es de tipo cuantitativa.

#### **3.2.2. Nivel o alcance de investigación**

##### **Investigación descriptiva, correlacional y predictiva**

La investigación es descriptiva dado que representa un conjunto de procesos, secuenciales y probatorios, donde se caracteriza el comportamiento de la cuenca y las tendencias de las variables climáticas. De las preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables, trazándose un plan para probarlas y finalmente se extraen conclusiones (Hernández et al., 2014).

Además, se muestra la asociación de variables climáticas y la relación entre los caudales generados y sus predicciones para escenarios de cambio climático. Por lo tanto, el nivel de investigación es correlacional, dado que la finalidad es conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos categorías o variables en un contexto específico (Hernández et al., 2014).

De la misma forma, la presente investigación corresponde a una investigación predictiva que tiene el objetivo principal de predecir o anticipar situaciones futuras, lo que la acerca a establecer causas y efectos con un enfoque al futuro (Supo, 2017).

#### **3.2.3. Diseño de investigación**

##### **Diseño no experimental- Longitudinal**

La presente tesis tiene un diseño no experimental de tipo longitudinal, dado que se realiza la recolección de datos a lo largo del tiempo en diferentes puntos de estaciones y periodos que van del año 1981 al 2022 para la realización del modelo hidrológico SWAT y el periodo de tiempo que va del año del 2023 al 2099 para la realización de la proyección de caudales futuros, lo que permite analizar las variaciones y evoluciones de las variables.

### 3.3. Unidad de Análisis

La zona de investigación corresponde a la cuenca alta del río Mapacho, que forma parte de las provincias de Paucartambo y Quispicanchi, perteneciente a la región de Cusco, el mismo que es tributario del río Urubamba.

En la siguiente tabla se observan los periodos de estudio de cada una de las variables consideradas:

**Tabla 19**

*Periodo de estudio de la investigación*

<b>Variabes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de análisis</b>	<b>Periodo de estudio</b>	<b>Método de obtención</b>
Caudales	Caudales históricos		2003-2022	SENAMHI
	Caudales generados	Metros cúbicos por segundo (m <sup>3</sup> /s)	1985-2022	Modelo SWAT
	Caudales proyectados		2023-2099	Modelo SWAT
Clima	Precipitación histórica	Milímetros (mm)	1981-2022	SENAMHI-PISCO
	Temperatura máxima histórica	Grados Celsius (°C)	1981-2022	SENAMHI-PISCO
	Temperatura mínima histórica		1981-2022	SENAMHI-PISCO
	Precipitación proyectada	Milímetros (mm)	2023-2099	MCG
	Temperatura máxima proyectada	Grados Celsius (°C)	2023-2099	MCG
	Temperatura mínima proyectada		2023-2099	MCG

*Nota:* Elaboración propia en base a información disponible para el análisis de variables

A continuación, se muestra el esquema de la cuenca Mapacho con el rango de años desde 1981 al 2099. El año con las condiciones iniciales es el periodo de 1981-2022, luego se realizó el modelamiento futuro desde el año 2023-2099. El periodo de calibración de los datos de caudales observados es desde el 2003 al 2015.

**Figura 26**

*Periodos de tiempo para los datos utilizados y etapas del modelamiento*

Datos	1981	...	1999	.	2003		2015	2016	...	2022		2023	...	2099	
					Históricos							Proyectados			
Caudales					Estimados							Simulados			
Precipitación					SENAMHI- PISCO							GCM			
Temperatura					SENAMHI- PISCO							GCM			

Periodo de calentamiento

Calibración del modelo

Validación del modelo

*Nota:* Elaboración propia (2023).

### 3.4. Población y muestra de estudio

#### 3.4.1. Población

Se considera como población a la cuenca alta del río Mapacho, que inicia en el área colindante con la cuenca Salcca, desde los 6350 m.s.n.m en el Nevado Ausangate hasta el punto de aforo en la estación hidrométrica de Chacllabamba ubicado a 2750 m.s.n.m.

#### 3.4.2. Muestra

Se considera como muestra a la estación de Chacllabamba que es el punto de aforo de la cuenca de estudio.

### 3.5. Técnicas de recolección de información

#### 3.5.1. Análisis documental

Corresponden a las fuentes y documentos para la utilización del modelo SWAT y la aplicación de los modelos climáticos globales.

#### 3.5.2. Observación directa

Se utilizan los datos observados en las estaciones meteorológicas e hidrométricas.

## 3.6. Técnicas de análisis e interpretación de información

### 3.6.1. Materiales

#### a. Datos

Para recopilar datos para el modelo hidrometeorológico se utilizaron de insumo los registros históricos del clima considerando las variables de precipitación y temperatura.

- Base de datos históricos de precipitaciones diarias y mensuales de las estaciones más cercanas a la cuenca alta Mapacho (1981-2022).
- Base de datos históricos de temperaturas máximas diarias y mensuales de las estaciones más cercanas a la cuenca alta Mapacho (1981-2022).
- Base de datos históricos de temperaturas mínimas diarias y mensuales de las estaciones más cercanas a la cuenca alta Mapacho (1981-2022).
- Registro de caudales aforados de las estaciones hidrométricas de Chacllabamba y Paucartambo (2003-2022).

#### b. Programas y herramientas

Los programas computacionales empleados para la obtención, procesamiento y análisis de la información fueron:

**Tabla 20**

*Programas y herramientas utilizadas en la investigación*

Software	Uso
Google Earth	Para observar la ubicación espacial de la cuenca de estudio.
ArcGIS	Para la delimitación de la cuenca y diseño de mapas.
ANDREA	Para la completación de datos faltantes y extensión de datos hidro- meteorológicos.
Easyfit	Software estadístico para la completación de datos climáticos
WMS	Para la obtención de parámetros de la cuenca
RStudio	Para la extracción de información de PISCO y realización del escalamiento de información actual y futura.
Arc-SWAT	Modelo hidrológico empleado para obtención de caudales en la cuenca.
SWAT-CUP	Utilizado para la calibración, validación y análisis de sensibilidad del modelo hidrológico.
CMhyd	Para la realización del downscaling de datos climáticos

*Nota:* Elaboración propia

## **3.7. Etapas de la metodología**

### **3.7.1. Información hidrometeorológica**

- Se realizó una revisión de información y estudios existentes sobre la cuenca alta del río Mapacho y zonas aledañas.
- Se recolectó datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima dispuestas por el SENAMHI a partir de las estaciones cercanas a la zona de estudio.
- Se obtuvo información de las estaciones hidrométricas que tengan medición de caudales mensuales y que se encuentran dentro de la cuenca. Las estaciones hidrométricas escogidas fueron la estación hidrométrica de Paucartambo y la estación hidrométrica de Chacllabamba, cercanas al cauce principal y que registran el caudal desde el año 2003 hasta el año 2022.

### **3.7.2. Caracterización de la cuenca**

Se realizó la caracterización de la zona de estudio, considerando aspectos geográficos, topográficos, climáticos e hidrológicos.

- Se realizó la búsqueda de la información espacial obteniendo así Modelos de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio.
- Se obtuvo imágenes satelitales denominadas (DEM) de la zona de estudio, las que se descargaron desde: <http://search.asf.alaska.edu>.
- Se realizó la delimitación y caracterización de la cuenca, mediante la utilización de la herramienta del Sistema de Información Geográfica (ArcGIS).
- Se utilizó el programa WMS para la obtención de algunos de los parámetros de la cuenca.

### **3.7.3. Tratamiento de datos hidrometeorológicos**

- Se extrajeron los valores de precipitación y temperatura a escala mensual y diaria desde el servidor de PISCO con la ayuda del software RStudio.
- Se procesó la información meteorológica para completar datos de precipitación mensual con el uso del aplicativo de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos para el Agua (ANDREA), servidor dispuesto por la Autoridad Nacional de Agua.
- Se realizó el análisis de consistencia de los datos de precipitación.

- Se completaron los datos de temperatura mensual máxima y mínima con el software estadístico Easyfit, obteniéndose los valores de temperaturas máximas y mínimas, y a partir de ello, los valores promedio de la temperatura mensual.
- Para el caso de los datos hidrométricos, se construyó la curva de calibración para datos de la estación hidrométrica de Chacllabamba, se relacionó las alturas del nivel de agua y los caudales aforados, obteniéndose los caudales en m<sup>3</sup>/s para el punto de aforo.

### 3.7.4. Modelamiento hidrológico SWAT

Se pretende desarrollar una estimación del potencial de recursos hídricos superficiales disponibles en la cuenca alta del río Mapacho. En el área de estudio de la cuenca existen mediciones representativas y regulares a través de las estaciones hidrométricas de Paucartambo y Chacllabamba, lo cual permitió reconstruir las bases para inferir parámetros de calibración del modelo. Para generar información respecto a la cuenca se ha utilizado la información disponible de precipitaciones, temperaturas y demás parámetros meteorológicos de las estaciones meteorológicas cercanas.

#### 3.7.4.1. Datos de entrada en el modelo hidrológico SWAT

Para la estimación de los escurrimientos a nivel mensual de la cuenca de estudio, el modelo SWAT requiere de información de la cuenca como: el DEM (modelo digital de elevación), la cobertura y uso de suelos, el tipo de suelos, pendiente del terreno y datos climáticos. Adicionalmente se requiere datos hidrométricos con el fin de validar los caudales de salida que son simulados por el modelo (Valdivieso & Naranjo, 2003).

La información que se recopiló en la construcción del modelo SWAT se encuentra detallada, a continuación:

**Tabla 21**

*Datos de entrada del modelo SWAT para la cuenca alta del río Mapacho*

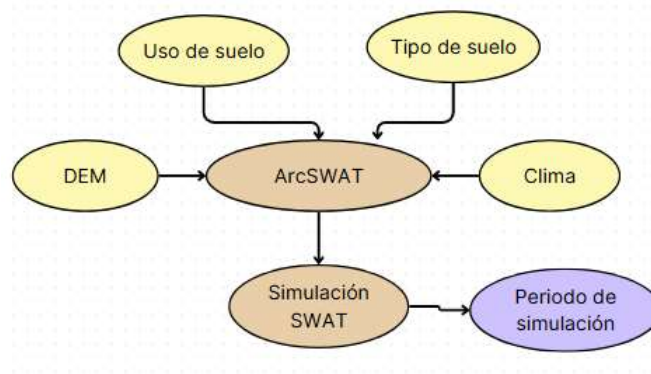
Ítem	Información	Descripción	Fuente	Formato
<b>Cartografía base</b>				
1	Topografía	Modelo de elevación digital (DEM)	ASF	Raster
<b>Datos de suelos</b>				
2	Tipo de suelos	Clasificación del tipo de suelos a escala 1:5000 000	FAO	Shapefile
3	Uso y/o cobertura vegetal de los suelos	Clasificación de la cobertura vegetal del MINAM a escala 1:100 000	MINAM	Shapefile
<b>Datos climáticos</b>				

4	Precipitación	Información de precipitación diaria periodo 1981- 2022	SENAMHI PISCO	Texto, serie temporal
5	Temperatura	Información de temperatura máxima y mínima diaria, periodo 1981- 2022	SENAMHI PISCO	Texto, serie temporal
<b>Datos hidrométricos</b>				
6	Caudales	Información de caudales mensuales para el periodo 2003-2015	SENAMHI	Texto, serie temporal

*Nota:* Elaboración propia (2024)

### Figura 27

*Datos de entrada para la simulación en SWAT*



*Nota:* Elaboración propia (2024)

#### 3.7.4.1.1. Información cartográfica

Es la parte topográfica que se refiere a la información sobre las características de la superficie de la tierra, tales como los accidentes geográficos naturales y artificiales y la representación del relieve.

Para el estudio, la información topográfica utilizó el Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), en formato ráster donde cada pixel tiene la altitud promedio proveniente de la interpolación de curvas de nivel.

El DEM es utilizado para delimitar las subcuencas y la red hídrica del área en la interfaz del ArcSWAT. El sistema de coordenadas para el DEM fue el UTM WGS 1984 Zona 19S.

#### 3.7.4.1.2. Datos de cobertura vegetal

La cobertura vegetal permite conocer y caracterizar a las comunidades vegetales, así como la extensión de glaciares, campos agrícolas, bofedales y lagunas en la cuenca Alta del Río

Mapacho. Esta información se encuentra en archivo *Shapefile* proveniente de la caracterización física de la cuenca, se optó por emplear el mapa de cobertura vegetal del MINAM.

#### **3.7.4.1.3. Suelos (edafología)**

Para la clasificación de suelos, SWAT requiere de un archivo shapefile que esté vinculado a una base de datos del cual, según su clasificación, se pueden obtener una lista de propiedades necesarias,

La información de clasificación del tipo de suelos de la cuenca Alta del Rio Mapacho se encuentra disponible en formato *Shapefile*, se optó por emplear el mapa taxonómico global de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

#### **3.7.4.1.4. Datos climáticos**

La información climática diaria estimada de las estaciones meteorológicas dentro de la base de datos fue insertada en el modelo SWAT. Para el modelo fue necesaria la información de las variables de precipitación histórica, temperatura máxima y mínima histórica. Los datos de temperatura y precipitación diaria provienen del SENAMHI y del producto grillado PISCO, estos datos se ingresaron al modelo a partir del año 1981 hasta el año 2022.

Por otra parte, los datos como el viento, la radiación solar y la humedad relativa son simulados por el modelo hidrológico SWAT. Para estimar la evapotranspiración potencial, en el programa SWAT se puede elegir los siguientes métodos: Método Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor y el método de Penman-Monteith. Se optó por utilizar el método de Penman-Monteith, dado que es el más óptimo para la estimación de evapotranspiración según Allen et al. (1998).

#### **3.7.4.2. Metodología para el modelamiento SWAT**

- Se utilizó la extensión ARCSWAT para realizar el modelamiento hidrológico, al cual se suministró información como el modelo de elevación digital de la zona de estudio, el tipo de suelo proporcionado por la FAO y la cobertura vegetal proporcionado por el MINAM, se realizó el procesamiento de la información y se obtuvieron los HRUs de la cuenca de estudio.
- Los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima diaria se subieron a la extensión ARCSWAT en formato de bloc de notas, a partir del año 1981 al año 2022.
- Se realizó la modelación hidrológica, obteniendo los caudales mensuales de la cuenca a partir del año 1985 hasta el año 2022, considerando cuatro años de periodo de calentamiento.
- Se realizó la calibración del modelo hidrológico, considerando los caudales aforados mensuales en la estación hidrométrica de Chacllabamba a partir del año 2003 al año 2015,

se realizó el análisis de sensibilidad de los parámetros que tienen mayor impacto en el modelo, considerando el R2, NSE y PBIAS como criterios de rendimiento del modelo.

- Se realizó la validación del modelo hidrológico SWAT en el periodo histórico comprendido entre los años 2016 al año 2022 considerando los parámetros previamente calibrados, se consideró el R2, NSE y PBIAS como criterios de rendimiento del modelo.
- Con los parámetros óptimos y los datos de precipitación y temperatura máxima y mínima diaria futura se realizó la simulación para determinar la escorrentía superficial en el punto de aforo de la cuenca.
- Se realizó una proyección de los caudales futuros y la discusión de resultados.

### **3.7.5. Análisis climático con Modelos Climáticos Globales**

Consiste en obtener escenarios de cambio climático que reproduzcan los patrones de precipitación y temperatura en la cuenca alta del río Mapacho.

- Se ingresó a la plataforma web de Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu#!/home>), el cual contiene modelos climáticos del proyecto CMIP6, las variables climatológicas se eligieron para los escenarios de emisión SSP2-4.5 y SSP5-8.5, que muestran la trayectoria más probable y más crítica de emisión futura de gases de efecto invernadero, respectivamente. Se descargaron los datos diarios de la precipitación y temperatura máxima y mínima en el periodo de tiempo del año 2016 al año 2099, dados por los modelos climáticos globales (GCMs), considerando las coordenadas de ubicación de las estaciones meteorológicas.
- Se seleccionaron los modelos climáticos globales (MCG) más representativos para la cuenca en estudio, realizándose un análisis en el periodo histórico (2016-2022), el cual consiste en comparar datos de MCGs y los registros históricos existentes en la estación meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca de estudio. Para medir la incertidumbre se emplearon parámetros estadísticos como: Pbias y el coeficiente de determinación, y se seleccionaron los modelos para valores de Pbias cercanos a cero y los valores que presentan un alto coeficiente de determinación que sea próximo a la unidad.
- Con los modelos climáticos globales seleccionados, se realizó el escalamiento estadístico para regionalizar los datos para la cuenca en estudio. En el caso de la corrección de datos de precipitación y temperatura se realiza el método de Mapeo de distribución.
- Finalmente, se obtuvo la precipitación y temperatura máxima y mínima futura para la cuenca alta del río Mapacho. Es importante precisar que las herramientas empleadas para este análisis fue el Excel y el software CMhyd.

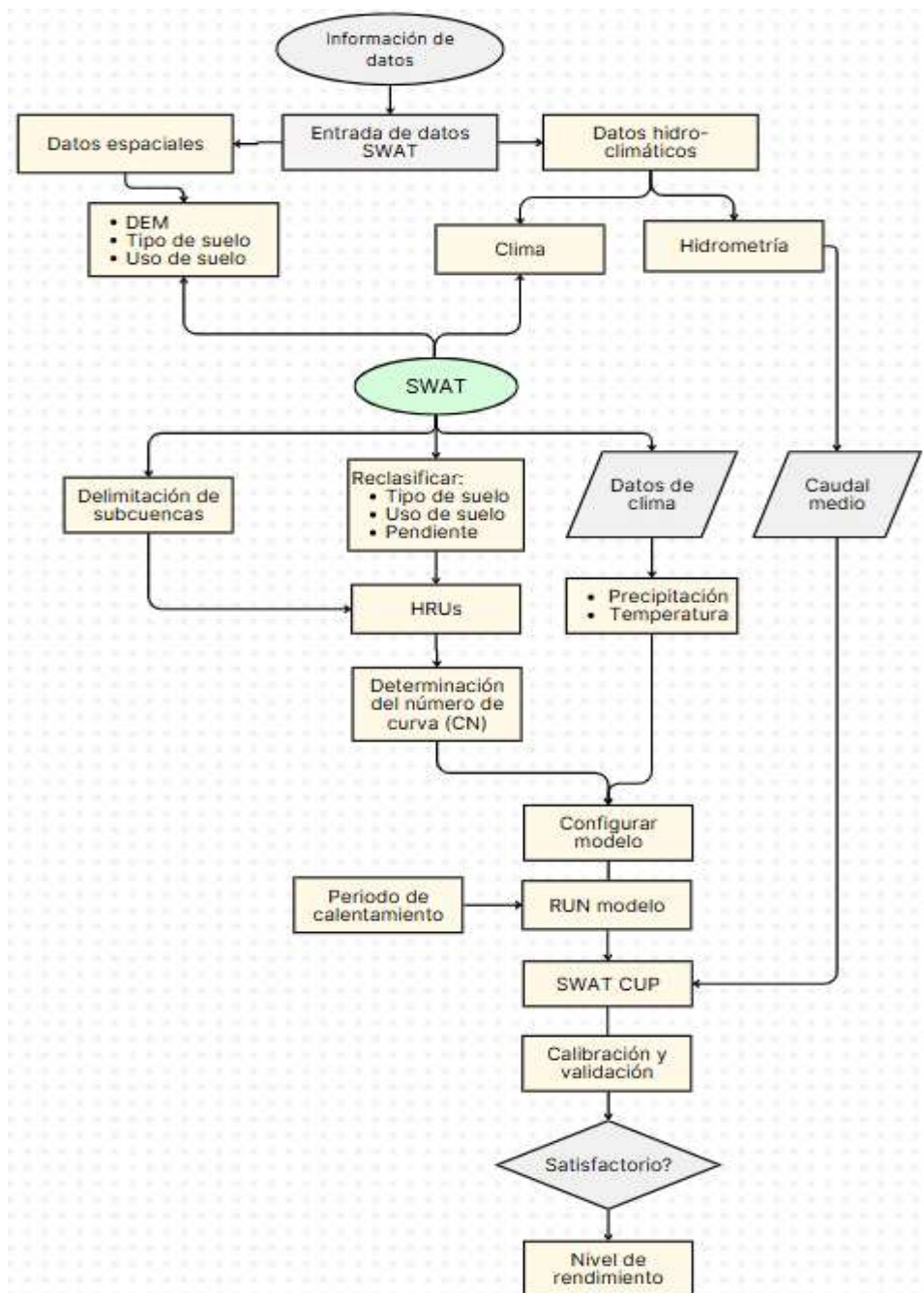
### 3.7.6. Cuantificación de la tasa de variación de las variables climáticas.

En la última etapa se analizó el efecto del cambio climático en los caudales futuros a través de una comparación del caudal futuro con el caudal histórico.

Se realizó una cuantificación de la tasa de incremento o disminución de las variables de precipitación y temperatura futura, en relación a la histórica observada, donde la tasa de cambio para la precipitación y caudal son expresadas en porcentaje.

**Figura 28**

*Proceso de modelamiento en SWAT*



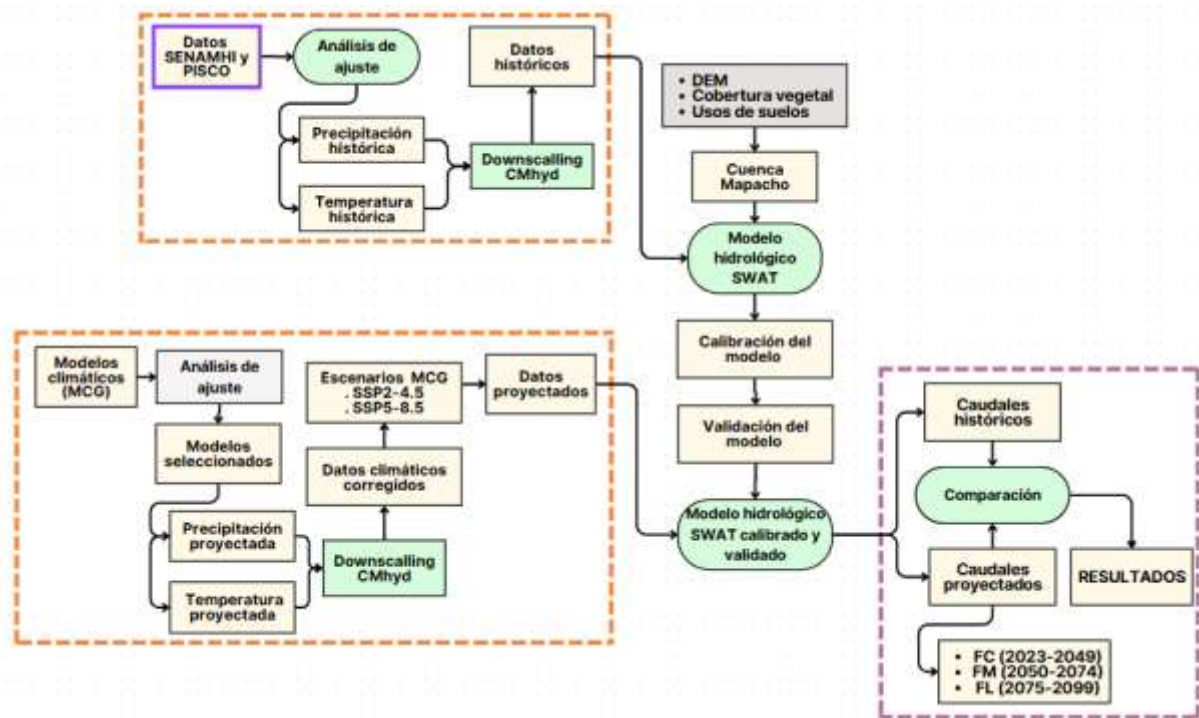
*Nota:* Elaboración propia

### 3.8. Esquema metodológico

La metodología se puede representar en el siguiente esquema:

Figura 29

Esquema metodológico del estudio



Nota: Elaboración propia (2024)

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

#### 4.1.1. Características generales de la cuenca en estudio

Las características morfológicas y fisiográficas de la cuenca de estudio influyen en su comportamiento hidrológico.

##### 4.1.1.1. Cálculo de los parámetros morfológicos de la cuenca

###### - Área de drenaje (km<sup>2</sup>)

El área de la cuenca se estima a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre los límites de la cuenca, donde:

$$At = 2928.88 \text{ km}^2$$

Según Gámez (2009) y considerando el área resultante de la cuenca en estudio, la cuenca se clasifica como una cuenca grande.

###### - Perímetro de cuenca (km)

Comprende la longitud del parte aguas de las cumbres que limita el área de drenaje, obteniendo una longitud para la cuenca:

$$P = 455.83 \text{ km}$$

###### - Coeficiente de Compacidad

Conocido también como índice de Gravelius (Kc) es un coeficiente adimensional y brinda una noción de la forma de la cuenca.

$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{At}}$$
$$K = 0.28 * \frac{455.83}{\sqrt{2928.88}}$$

$$K = 2.36$$

El coeficiente de compacidad de la cuenca es mayor a 1, según Gámez (2009) la cuenca tiene una forma aproximadamente rectangular con tendencia a crecientes medianas.

###### - Longitud de la cuenca (lado paralelo al curso más largo)

Para la cuenca en estudio se ha encontrado que la longitud de la cuenca es:

$$Lb = 99.42 \text{ km}$$

#### - **Factor de Forma**

Es la relación entre el área de la cuenca A y el área de un cuadrado de longitud L, siendo L la longitud del río principal de la cuenca y está representada por la siguiente expresión:

$$Ff = \frac{At}{L^2}$$

$$Ff = \frac{2928.88}{99.42^2}$$

$$Ff = 0.296$$

Considerando el valor resultante del factor de forma de 0.296, la cuenca en estudio se describe como una cuenca alargada.

#### - **Relaciones de Área**

De la relación:

$$n = \frac{LN(Lr)}{LN(At)}$$

$$n = 0.48$$

#### - **Ancho medio**

Para la cuenca en estudio se ha encontrado que el ancho medio es de 29.46 km:

$$AM = \frac{At}{Lb}$$

$$AM = \frac{2928.88}{99.42}$$

$$AM = 29.46 \text{ km}$$

#### - **Rectángulo Equivalente**

En cuanto a las relaciones geomorfológicas del lado mayor y lado menor del rectángulo equivalente de la cuenca se muestra los valores para la cuenca alta del Mapacho:

$$\text{Lado mayor: } L = 206.9 \text{ km}$$

$$\text{Lado menor: } l = 14.15 \text{ km}$$

- **Densidad de drenaje**

La densidad de drenaje encontrado para la cuenca es de:

$$Dd = \frac{Lt}{At}$$

$$Dd = \frac{3350}{2928.88}$$

$$Dd = 1.14 \text{ km/km}^2$$

Según Gómez Garzón (2020) el valor resultante de la densidad de drenaje de 1.14 km/km<sup>2</sup> indica que la densidad de drenaje de la cuenca es moderada y que se asocia a regiones de resistencia media a la erosión, semipermeable y relativamente drenada. Esto significa que el tiempo en alcanzar cauces de agua serán relativamente cortos.

- **Longitud del cauce principal**

La Longitud del cauce corresponde a:

$$Lr = 131.57 \text{ km}$$

- **Longitud total de corrientes permanentes e intermitentes**

La Longitud total de corrientes permanentes e intermitentes es:

$$Lt = 3350 \text{ km}$$

- **Pendiente media de la cuenca**

Se obtiene a partir del cociente entre el producto de la longitud de las curvas de nivel que aparecen en la cuenca por la equidistancia entre las mismas y la superficie total de la cuenca. Del análisis, para la cuenca Mapacho se ha obtenido según el criterio de Alvord:

$$S_c = DxL_{total}curvas \text{ de nivel}/A$$

La pendiente media de la cuenca según Alvord está dada por:

$$S_c = D * L/A$$

D: Equidistancia entre las curvas consideradas de nivel

L: Longitud total de las curvas de nivel

A: Área de la cuenca

$$S_c = (100) * (415.8)/2928.88$$

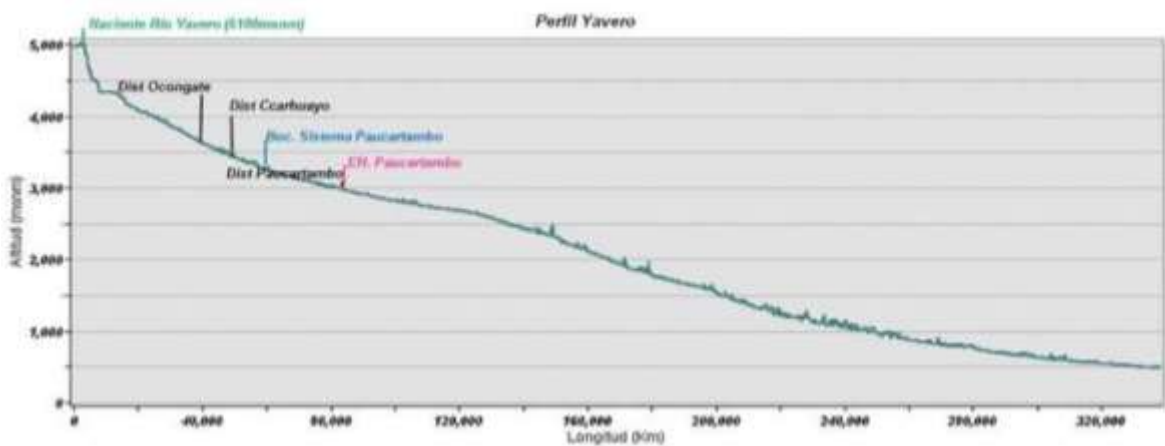
$$S_c = 14.2\%$$

- **Perfil longitudinal de los ríos principales**

Se observa que existen fuertes pendientes y desniveles en ciertos tramos de sus cauces, como se observa en un informe realizado por la Autoridad Nacional del Agua (2023) sobre la cuenca Yavero.

**Figura 30**

*Perfil del cauce del río Mapacho*



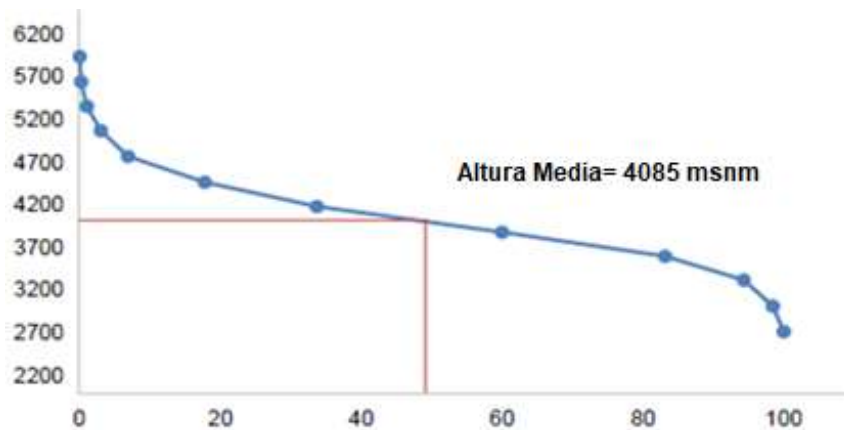
Nota: Tomado de ANA (2023)

- **Curva Hipsométrica**

Se elabora la curva hipsométrica, que expresa gráficamente el relieve de la cuenca, y la frecuencia de altitudes, que indica la recurrencia de las cotas en toda la zona de interés.

**Figura 31**

*Curva hipsométrica y altura media de la cuenca Mapacho*



Nota: Elaboración propia

Se observa que la cuenca muestra una variación abrupta en sus picos más altos, los cuales representan un porcentaje muy pequeño de la superficie total. En contraste, las altitudes medias y bajas presentan una variación más suave. Al observar la forma de la curva hipsométrica, se puede concluir que la cuenca de estudio corresponde a una cuenca de un río maduro.

- **Altitud Media de la Cuenca**

La altura media de la cuenca tiene especial interés en zonas montañosas, pues da una idea de la climatología de la región, basándonos en un patrón general climático de la zona.

La altitud media de la cuenca se determinó mediante el método de la curva hipsométrica la cual ofrece una visión del relieve y la altimetría de la cuenca. De esa manera, la altitud media de la cuenca de estudio es:

$$Hm = 4084.9 \text{ msnm}$$

- **Pendiente de la Corriente Principal**

La pendiente del curso principal se calcula a partir del cociente entre la desnivelación entre los puntos definidos por las cotas que marcan la desembocadura y las nacientes del río y la longitud del curso principal. Para el río Mapacho como curso principal se ha obtenido una pendiente:

$$S_o = 2.1\%$$

- **Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración se calcula mediante diversas metodologías de orden empírico, pero teniendo en cuenta el procedimiento para la obtención de las diferentes metodologías se opta de acuerdo a las características geomorfológicas e hidrológicas la fórmula Kirpich:

$$t_c = 0.066 * \left(\frac{L}{S_o^{0.5}}\right)^{0.77}$$

$t_c$ : Tiempo de concentración (h)

$L$ : Longitud del cauce (Km)

$S_o$ : Pendiente media del cauce

$$t_c = 0.066 * \left(\frac{131.57}{2.1^{0.5}}\right)^{0.77}$$

$$t_c = 12.354 \text{ hrs}$$

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6 * t_c = 10.927$$

$$t_b = 2.67 * t_p = 29.176$$

- **Hidrograma triangular sintético**

**Tabla 22**

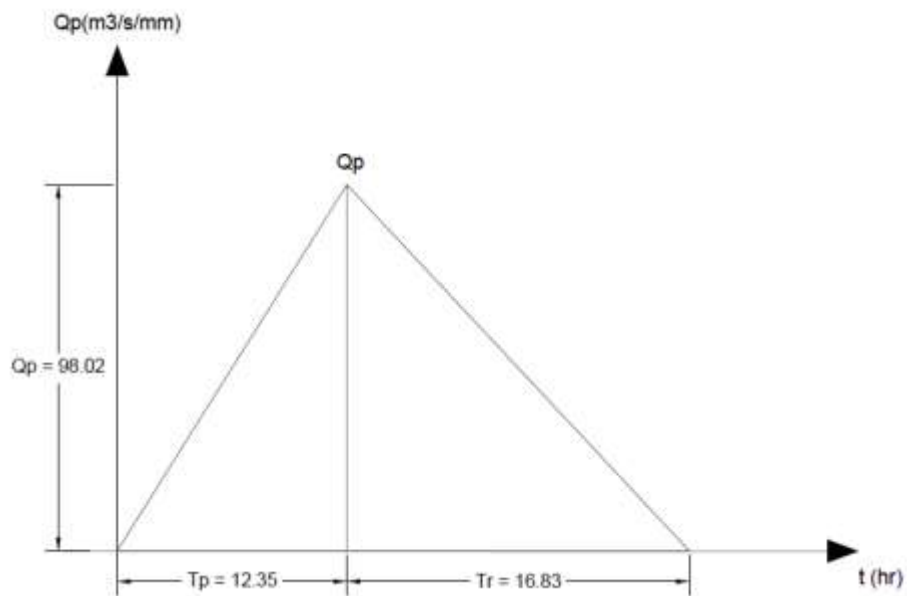
*Parámetros para la obtención del hidrograma*

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud del cauce (m)	Pendiente (m/m)	Tc (hr)	Tp (hr)	Tb (hr)	Qp (m <sup>3</sup> /s/mm)
Alta Mapacho	2928.88	131570	0.142	12.354	10.927	29.176	98.02

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 32**

*Hidrograma unitario sintético para la cuenca*



*Nota:* Elaboración propia

**4.1.1.2. Resumen de parámetros morfológicos de la cuenca**

Los parámetros morfológicos de la cuenca de estudio, se muestran a continuación:

**Tabla 23**

*Parámetros morfológicos de la cuenca alta del río Mapacho*

PARÁMETROS	UND	NOMENCLATURA	CUENCA
Área de la cuenca	Km <sup>2</sup>	At	2928.88
Perímetro de la cuenca	Km	P	455.83

RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de compacidad		$Kc = 0.28 * P / (At)^{(1/2)}$	2.36	
		FACTOR DE FORMA	Relación de área		$n = (\ln(Lr) / 1.27) / (\ln(At))$	0.48
			Longitud (// al curso más largo)		LB	99.42
			Ancho Medio	Km	$AM = At / LB$	29.46
			Factor de Forma		$Ff = AM / LB$	0.30
RECTÁNGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	Km	$L = Kc * ((\pi * A)^{(1/2)}) * (1 + (1 - 4 / \pi / Kc^2)^{(1/2)})$		206.9	
	Lado Menor	Km	$B = At / L$		14.15	
Longitud total de los ríos de diferentes grados		Km	Lt	3350.00		
Longitud del río principal		km	Lr	131.57		
Densidad de drenaje		Km	$Dd = Lt / At$	1.14		
Extensión media para los diferentes grados		Km	$Es = At / 4Lt$	0.22		
Desnivel total de la cuenca		m	Ht			
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm	4084.94		
Pendiente media de la cuenca		%	lp	14.2		
Pendiente del río principal (sist. Del rectángulo equivalente)		%	$lp = 100 * Ht / L$	2.2		
Pendiente media del cauce principal del río Taylor Schwarz		%	So	2.1		

*Nota:* Elaboración propia, en base al WMS (2023)

Según los datos obtenidos en la caracterización de la cuenca se concluye que la cuenca de estudio es una cuenca alta, exorreica, grande, con una forma aproximadamente rectangular con tendencia a crecientes medianas, alargada y con una densidad de drenaje moderada y corresponde a una cuenca de un río maduro.

#### 4.1.2. Procesamiento de información de precipitación histórica

Se utilizaron estaciones meteorológicas del SENAMHI y se extrajo datos del producto PISCO para la construcción de información pluviométrica en la cuenca de estudio desde el año 1981 hasta el año 2022. Para ello se realizó la completación y corrección del registro histórico de la información de precipitación en las estaciones meteorológicas seleccionadas.

##### 4.1.2.1. Análisis exploratorio de datos pluviométricos

Para el análisis regional de precipitaciones y en el caso que se cuente con múltiples estaciones meteorológicas es necesario el análisis de consistencia previo, con el objetivo de poder determinar la confiabilidad y consistencia de los datos.

Con el objetivo de obtener información de calidad, que cumpla los requerimientos para la aplicación de los métodos a realizar, se trabajó en la detección de datos atípicos (outliers). Se

emplearon técnicas gráficas y estadísticas, con los que se visualizaron las relaciones existentes de los datos pluviométricos.

### a) Análisis de calidad de la información

Después de seleccionar las estaciones, se llevó a cabo un análisis visual para eliminar aquellas que presentaran inconsistencias en sus registros.

El criterio usado en la selección de estaciones para el análisis fue la disponibilidad mínima de 15 años de registro histórico, advirtiendo que la cantidad menor a esos datos podrían producir errores de estimación, pudiendo inducir a una modelación equivocada (Lujano, 2016). De este último proceso resultan las series homogenizadas, corregidas y completadas.

Por ello, se descarta utilizar la información de la estación meteorológica de Urcos, Calca, Combapata y Chacllabamba, pues cuentan con uno, nueve, doce y nueve años de registro respectivamente, cantidad de años inferior a lo establecido mínimamente en el párrafo anterior, razón por la cual las estaciones mencionadas anteriormente no se consideran para realizar la completación de datos faltantes.

En la Tabla 24 se observa la cantidad de años con datos de precipitación completos, incompletos y sin registro (vacíos) de las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de calidad de información.

**Tabla 24**

*Información de cantidad de años completos en las estaciones*

Nro	Nombre	Años		
		Completos	Incompletos	Vacío
1	Granja Kayra	37	6	0
2	Challabamba	21	2	20
3	Colquepata	28	1	14
4	Ccateca	33	8	2
5	Pisac	34	9	0
6	Sicuani	31	5	7
7	Urcos	1	1	41
8	Calca	9	5	29
9	Caicay	33	10	0
10	Combapata	12	4	27
11	Paucartambo	30	7	6
12	Perayoc	37	1	5
13	Chacllabamba	9	6	28

*Nota:* Elaboración propia

De esa manera, luego del análisis de calidad de información, se considerarán 9 estaciones para realizar la completación de datos, las cuales son: Kayra, Colquepata, Ccatcca, Challabamba, Pisac, Sicuani, Caicay, Perayoc y Paucartambo, que están distribuidas dentro y aledañas a la cuenca de la siguiente manera (ver Tabla 25).

**Tabla 25**

*Decisión sobre la utilización de datos en base al número de estaciones completas*

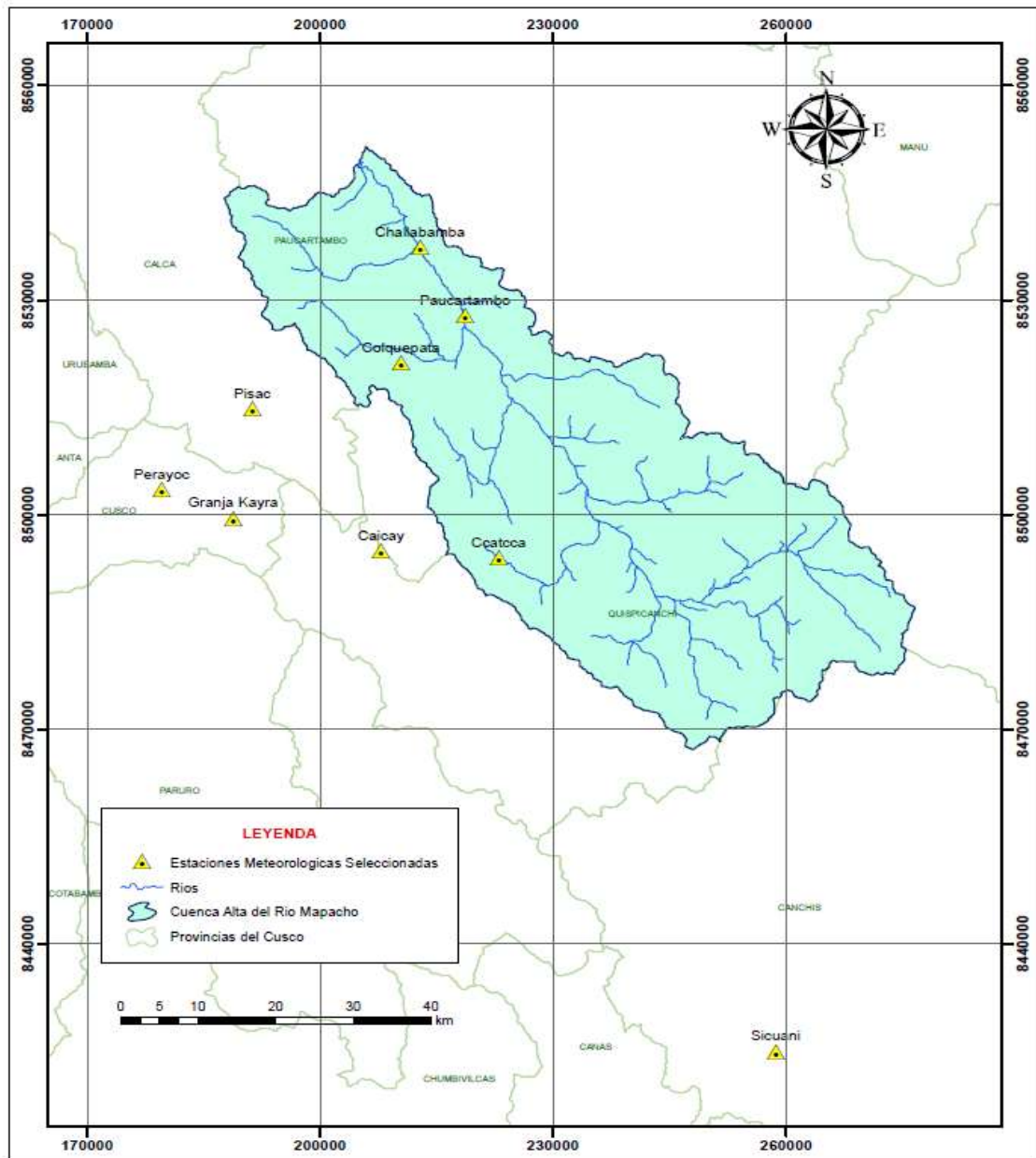
<b>Nro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Distrito</b>	<b>Decisión</b>
1	Granja Kayra	San Jeronimo	Aceptada
2	Challabamba	Challabamba	Aceptada
3	Colquepata	Colquepata	Aceptada
4	Ccatcca	Ccatcca	Aceptada
5	Pisac	Pisac	Aceptada
6	Sicuani	Sicuani	Aceptada
7	Urcos	Urcos	Descartada
8	Calca	Calca	Descartada
9	Caicay	Caicay	Aceptada
10	Combapata	Combapata	Descartada
11	Paucartambo	Paucartambo	Aceptada
12	Perayoc	Cusco	Aceptada
13	Chacllabamba	Challabamba	Descartada

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se pueden observar los rangos de los registros históricos de las estaciones con datos de precipitación, observándose que no hay uniformidad en la distribución de las series, se visualizan años vacíos y estaciones que poseen mayor registro (Ver *Anexo CI*).

**Figura 33**

*Ubicación de las estaciones seleccionadas*



*Nota.* Elaboración propia en base a ArcGIS (2023)

**b) Análisis visual de la serie histórica- Gráficos de series de Tiempo**

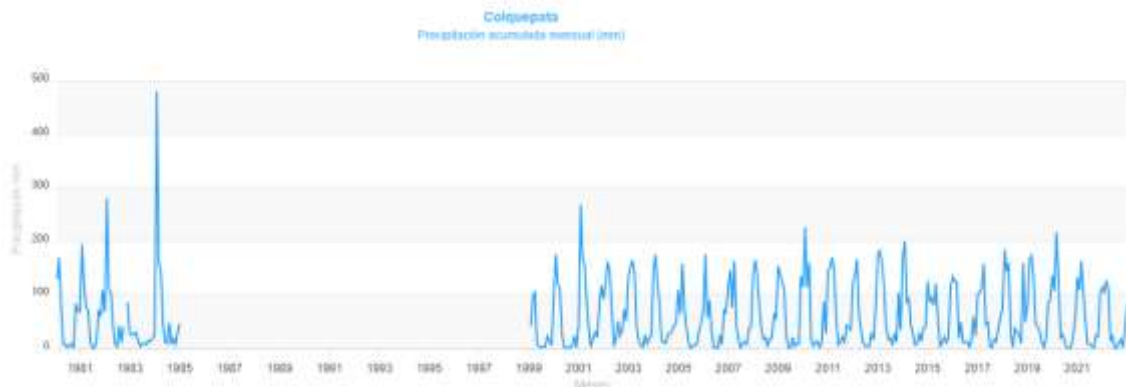
Se analizó visualmente la data de las series históricas de las estaciones seleccionadas, cuya representación se muestra en gráficos de datos como los histogramas y los gráficos de caja (box plot) para cada estación. La visualización de los gráficos de las series de estaciones se muestra, a continuación:

- **Estación Colquepata**

En la estación Colquepata se observa discontinuidad en la información. Los datos presentan un salto visual muy evidente desde el año 1986 al año 1998.

**Figura 34**

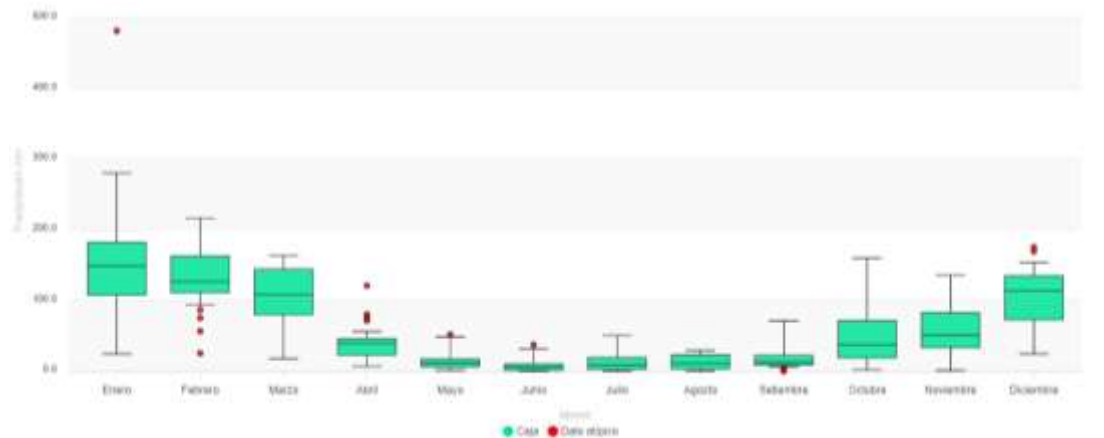
*Datos de precipitación total mensual (mm)- Estación Colquepata*



*Nota:* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023)

**Figura 35**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Colquepata*



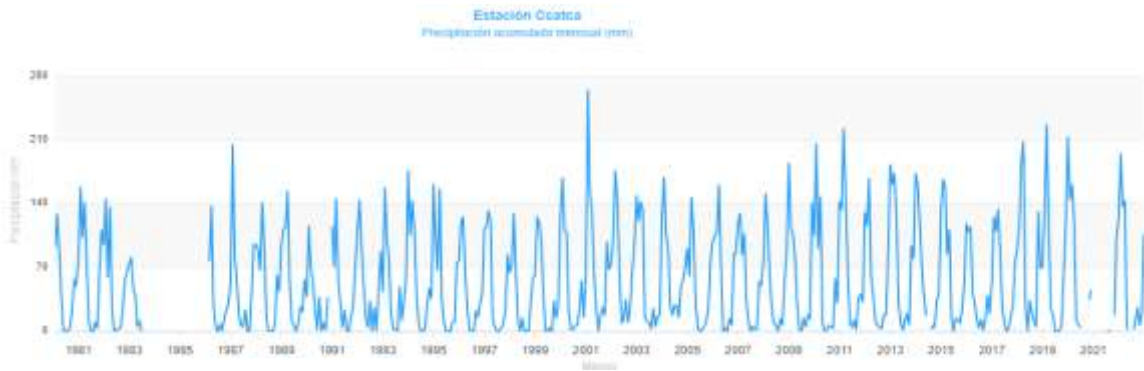
*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

- **Estación Ccatca**

La estación Ccatca se ubica en la parte alta de la cuenca de estudio, según los datos de precipitación la estación tiene datos faltantes a partir de la mitad del año de 1983 hasta principios del año 1986, así como datos incompletos entre los años 2020 y 2021.

**Figura 36**

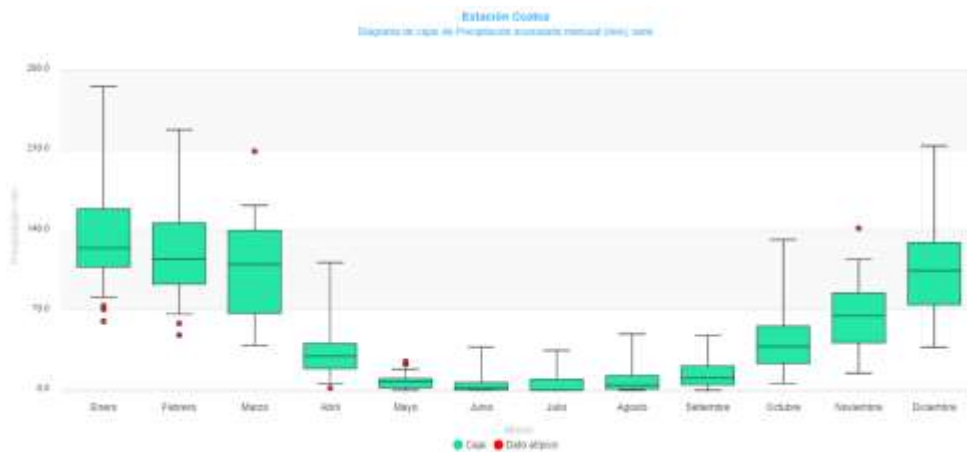
*Datos de precipitación total mensual- Estación Ccatca*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**Figura 37**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Ccatca*



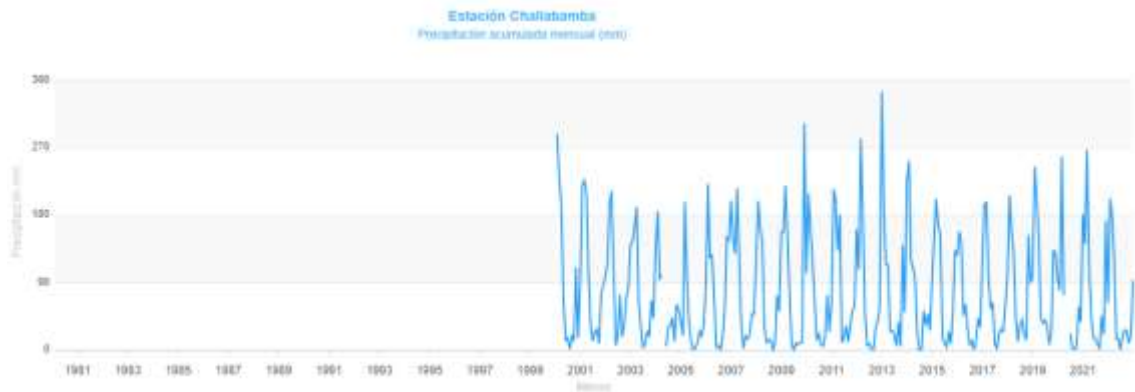
*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**- Estación Challabamba**

Según los datos de precipitación de la estación se observa que se tiene información a partir del año 2000.

**Figura 38**

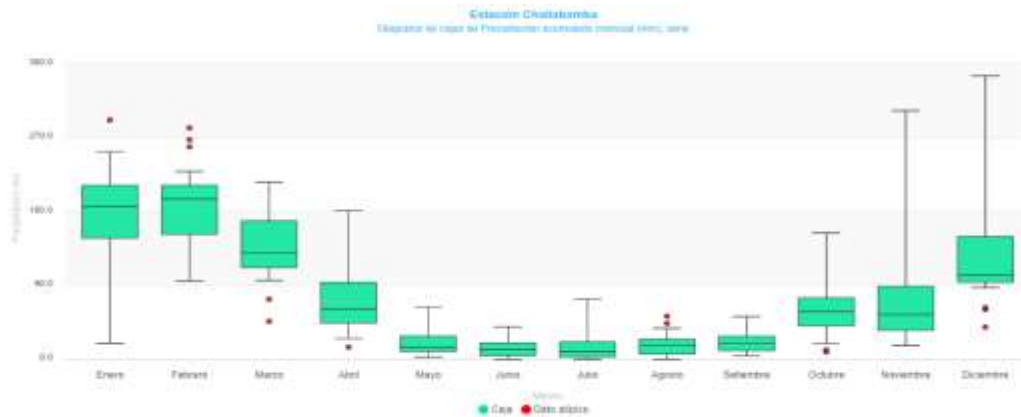
*Datos de precipitación total mensual- Estación Challabamba*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**Figura 39**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Challabamba*



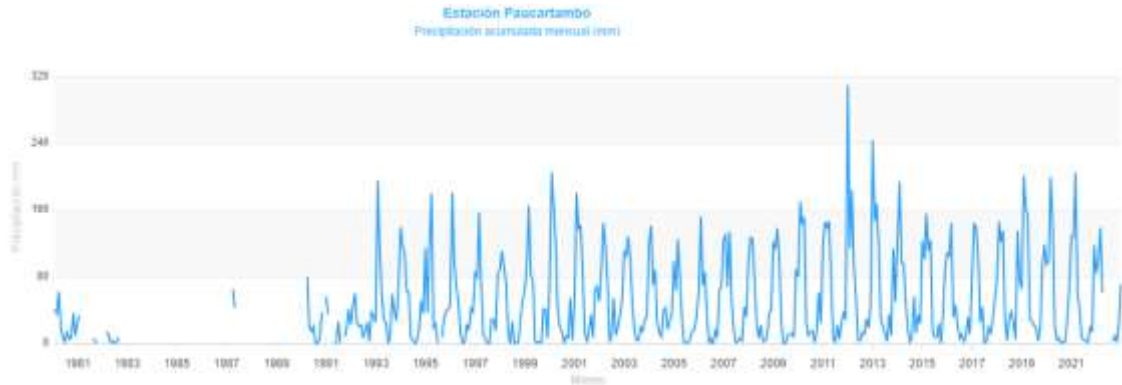
*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**- Estación Paucartambo**

En la estación Paucartambo se observa discontinuidad en la información. Los datos presentan un salto visual muy evidente desde el año 1983 al año 1991.

**Figura 40**

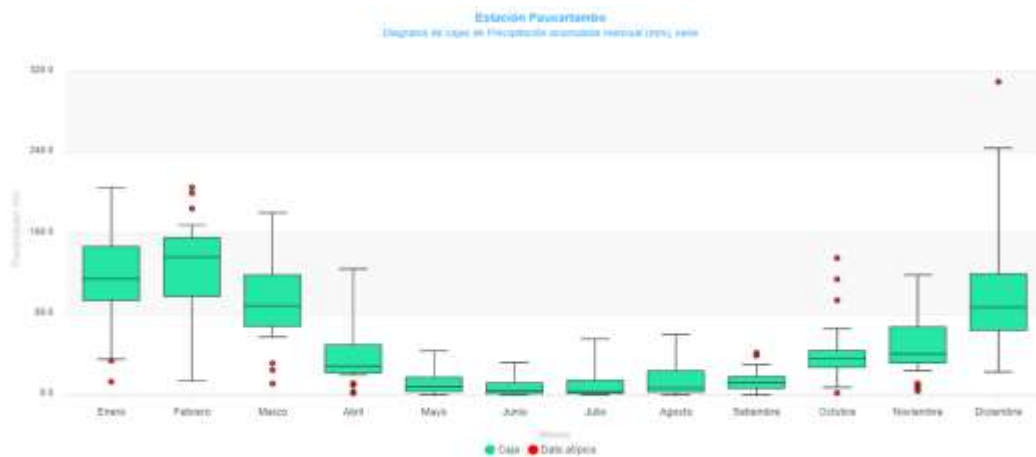
*Datos de precipitación total mensual- Estación Paucartambo*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**Figura 41**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Paucartambo*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

Los histogramas de las demás estaciones meteorológicas analizadas se pueden visualizar en el *Anexo C2*.

#### **4.1.2.2. Proceso de completación de datos faltantes**

A continuación, se muestra el procedimiento del tratamiento de datos en la plataforma ANDREA, dando como resultados los datos completados mediante el método Cutoff.

### a) Regionalización de datos

La creación de regiones homogéneas o regionalización posibilita agrupar estaciones meteorológicas en áreas con condiciones climáticas similares, tomando como base un parámetro meteorológico específico (como la temperatura y la precipitación). Así, para diversos fines, es útil dividir la climatología de una variable en varias zonas casi homogéneas en cuanto a su variabilidad temporal (Bettolli et al., 2010).

El proceso de regionalización se realizó mediante la aplicación de técnicas estadísticas, las mismas que permiten identificar patrones espaciales de la precipitación en diferentes escalas (SNIRH, 2023).

Al hacer uso de la plataforma ANDREA, se realizó una regionalización de las estaciones, clasificándolas mediante el método de Ward, que es un algoritmo de agrupación jerárquica que minimiza la suma de los cuadrados de los errores dentro de cada grupo (Espinel, 2015). El proceso de agrupación se representa mediante un dendograma, que muestra la estructura y facilita la identificación de los niveles óptimos.

### Figura 42

*Visualización de la ubicación de las estaciones en la interfaz de ANDREA*

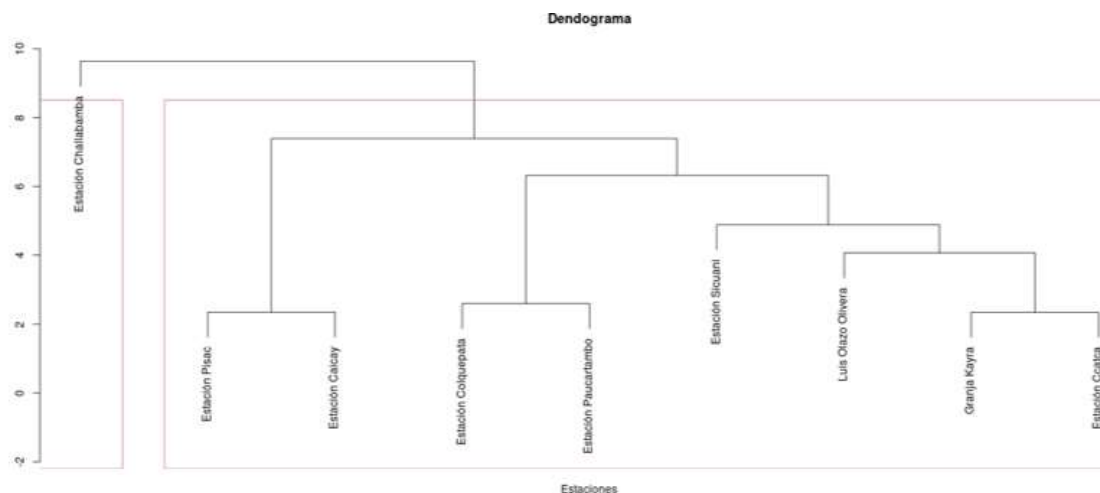


*Nota.* La figura muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas

A continuación, se muestra el dendograma correspondiente para las estaciones, luego del proceso de agrupamiento:

**Figura 43**

*Visualización del dendograma de las estaciones seleccionadas*



*Nota.* Inicialmente para la regionalización se tuvo dos grupos según el dendograma que muestra la figura.

Según criterios de clima, altitud y cercanía entre estaciones, se realizó el agrupamiento de las estaciones meteorológicas en dos grupos, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 26**

*Formación de grupos 1 y 2 para la completación de datos*

Estación	Longitud	Latitud	Grupo	Cambiar grupo
Granja Kayra	-71.8752	-13.5568	1	1
Estación Colquepata	-71.6734	-13.3631	1	2
Estación Ccatca	-71.5601	-13.6099	1	2
Estación Pisac	-71.8509	-13.4195	1	1
Estación Sicuani	-71.2367	-14.2374	1	1
Estación Caicay	-71.7003	-13.5999	1	2
Estación Paucartambo	-71.5967	-13.3033	1	2
Perayoc	-71.9599	-13.5201	1	1
Estación Challabamba	-71.6494	-13.2175	2	2

*Nota.* Se realizó el reagrupamiento de las estaciones meteorológicas, en la plataforma

### **b) Vector regional**

El método del vector regional es un método de regionalización que permite realizar la homogenización de la información, y es adecuado ante la presencia de estaciones numerosas. Según Huacoto (2012), la idea básica del vector regional consiste en elaborar a partir de datos

disponibles, una estación ficticia, que resulte del promedio de todas las estaciones y con la cual se va comparar cada una de las estaciones.

Los vectores regionales se generan a partir de las estaciones de medición, considerando las diferencias de valor de la variable entre las estaciones cercanas.

De esa manera, con los resultados previos, se aplica el método del vector regional para el **Grupo 1**, siendo los resultados obtenidos:

**Tabla 27**

*Vector regional para el Grupo 1*

<b>Estación</b>	<b>Nº Años</b>	<b>Desviación Estándar datos observados</b>	<b>Coef. Variación</b>	<b>Media Obs.</b>	<b>Des. Est. Desvíos</b>	<b>Correl. Vector</b>
Granja Kayra	37	113.798	0.16	701.53	0.08	0.88
Estación Pisac	34	159.603	0.27	581.632	0.15	0.89
Estación Sicuani	31	105.364	0.14	729.965	0.12	0.7
Perayoc	37	149.73	0.18	811.59	0.11	0.8

*Nota.* Resultados del método del vector regional obtenidos de ANDREA (2023).

**Tabla 28**

*Cuadro resumen de la desviación estándar de desvíos- Datos del Grupo 1*

<b>Estación</b>	<b>Desviación estándar desvíos</b>
Granja Kayra	0.08
Pisac	0.15
Sicuani	0.12
Perayoc	0.11
<b>Promedio Des. Est.</b>	<b>0.115</b>

*Nota.* Resultados obtenidos de ANDREA (2023).

La Desviación Estándar de los Desvíos (DED) realiza la comparación de los valores de desviación de una estación respecto al vector, valores grandes indican desviaciones fuertes. Para el grupo 1, se obtiene una desviación estándar de los desvíos de 0.115.

De forma análoga, se aplica el método del vector regional para el **Grupo 2**:

**Tabla 29***Vector regional para Grupo 2*

<b>Estación</b>	<b>Nº Años</b>	<b>Des. Est. Obs.</b>	<b>Coef. Variación</b>	<b>Media Obs.</b>	<b>Des. Est. Desvíos</b>	<b>Correl. Vector</b>
Estación Challabamba	21	166.809	0.18	941.719	0.12	0.78
Estación Colquepata	28	185.219	0.26	709.764	0.11	0.92
Estación Ccatca	34	131.748	0.2	669.215	0.09	0.91
Estación Caicay	33	187.292	0.36	517.209	0.17	0.93
Estación Paucartambo	30	157.951	0.24	649.79	0.11	0.9

*Nota.* Resultados del método del vector regional obtenidos de ANDREA (2023)

**Tabla 30***Cuadro resumen de la desviación estándar de datos de estaciones-Grupo 2*

<b>Estación</b>	<b>Desviación estándar desvíos</b>
Challabamba	0.12
Colquepata	0.11
Ccatcca	0.09
Caicay	0.17
Paucartambo	0.11
<b>Promedio Des. Est.</b>	<b>0.118</b>

*Nota.* Resultados obtenidos de ANDREA (2023).

Para el grupo 2 se obtiene una desviación estándar de los desvíos de 0.118.

Se observa que los coeficientes obtenidos del promedio de la desviación estándar de los desvíos de ambos grupos son valores bajos y aceptables, lo que se traduce en un buen agrupamiento con alta homogeneidad entre ellos. Asimismo, los coeficientes de correlación entre los datos de las estaciones y el vector generado deben ser altos, lo cual se corrobora en lo siguiente:

**Tabla 31**

*Resumen de coeficientes obtenidos por método del Vector regional*

Grupos	Promedio Desviación estándar de desvíos	Estaciones	Coefficiente de Desviación estándar desvíos	Coefficiente Correlación/ Vector
<b>Grupo 1</b>	<b>0.115</b>	Granja Kayra	0.08	0.88
		Pisac	0.15	0.89
		Sicuaní	0.12	0.7
		Perayoc	0.11	0.8
<b>Grupo 2</b>	<b>0.118</b>	Challabamba	0.12	0.78
		Colquepata	0.11	0.92
		Ccatcca	0.09	0.91
		Caicay	0.17	0.93
		Paucartambo	0.11	0.9

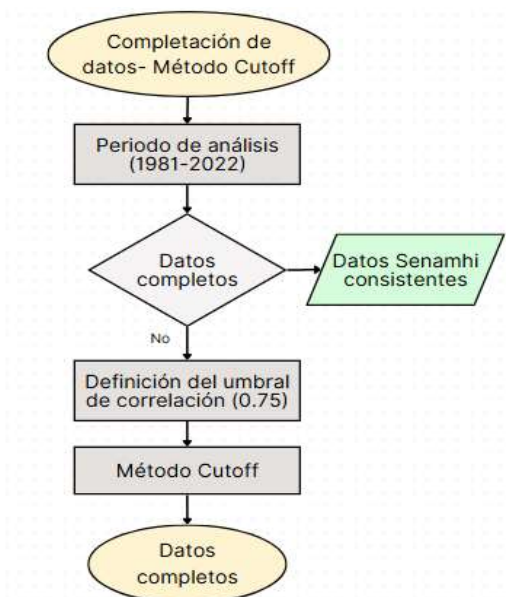
*Nota.* Elaboración propia.

**c) Método Cutoff**

Al conformar los grupos homogéneos, se procede a completar los datos. Para ello, se aplica el método de Cutoff, el cual se presenta dentro de la plataforma ANDREA como un gráfico de correlación cruzada entre estaciones de los grupos seleccionados y las series completas (SNIRH, 2023).

**Figura 44**

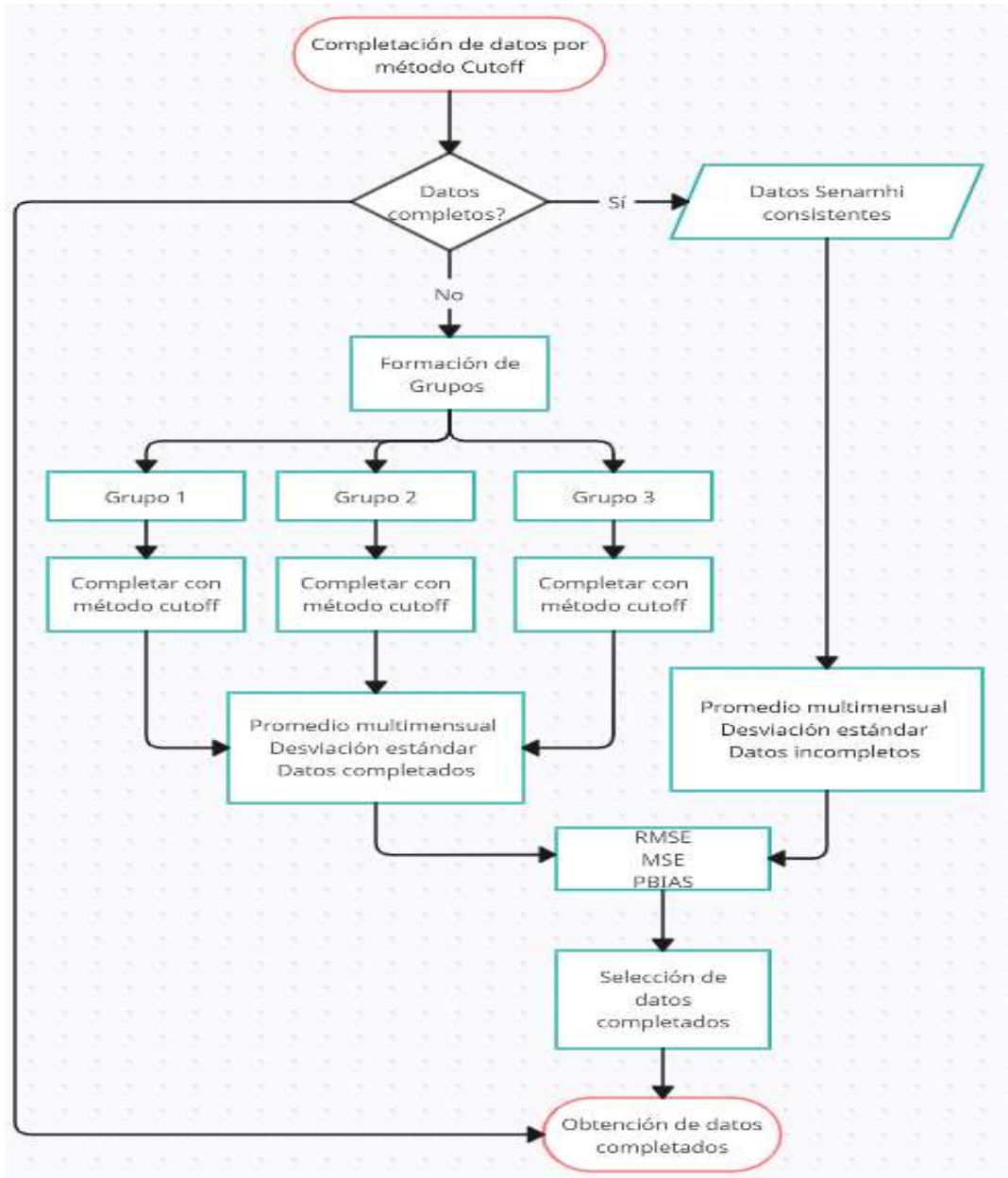
*Completación de datos Método Cut-off*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 45**

*Flujograma de completación de datos*

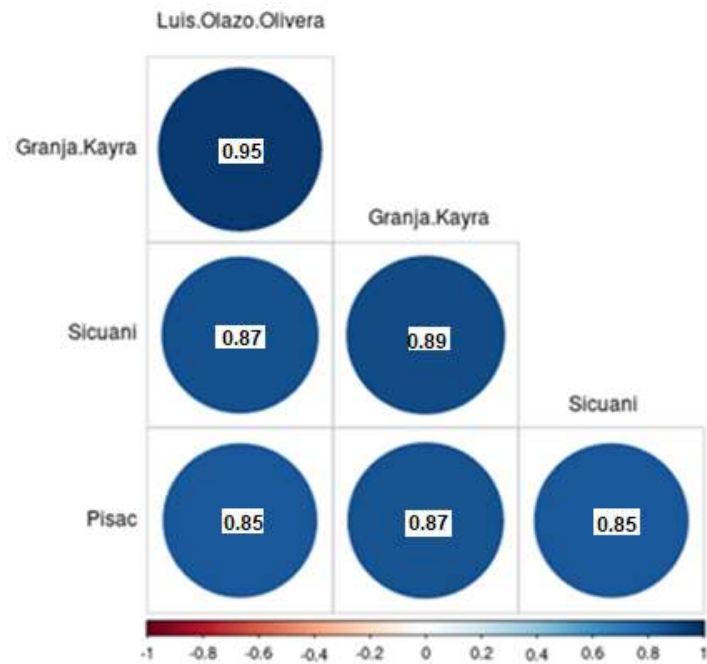


*Nota.* Elaboración propia.

De esa manera, se realizó la correlación entre estaciones del grupo 1. Se indica la correlación entre las estaciones del grupo 1 (Figura 46) y luego de verificar la correlación mayor a 0.75, se aceptan las condiciones. La correlación mayor que se obtiene es de 0.95 entre la estación Kayra y la estación Luis Olazo Olivera (Perayoc), la mínima correlación que se obtiene es de 0.85 entre la estación Pisac y la estación Sicuani.

**Figura 46**

*Correlación entre variables por Cutoff- Grupo 1*

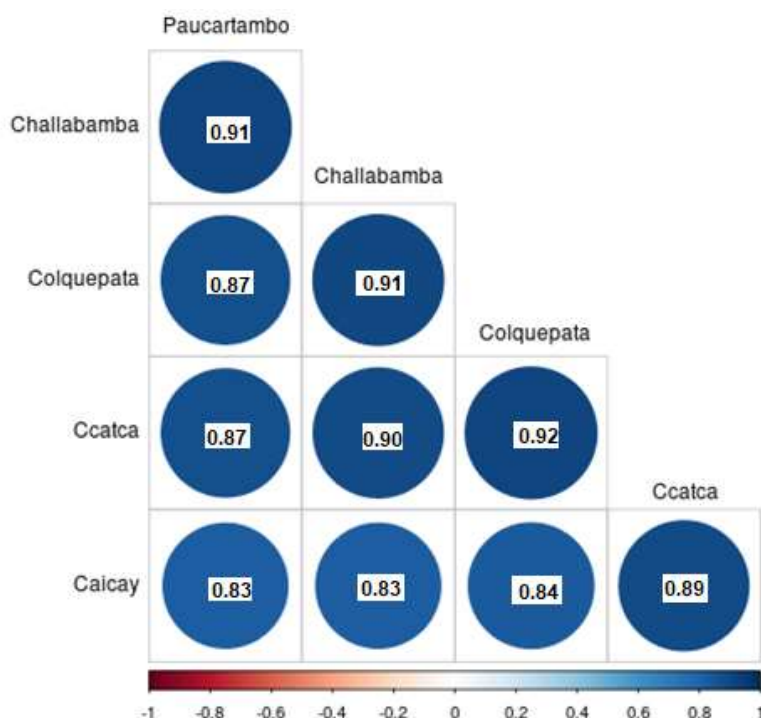


*Nota.* Elaboración en base al análisis de ANDREA (2023).

En el grupo 2, de forma análoga, se realizó la correlación entre estaciones, resultando correlaciones mayores a 0.75 y aceptándose las condiciones. La mayor correlación que se obtiene es de 0.92 entre la estación Ccatca y la estación Colquepata, la menor correlación que se obtiene es de 0.83 entre la estación Caicay y la estación Paucartambo.

**Figura 47**

*Correlaciones entre estaciones*



*Nota.* Elaboración en base al análisis de ANDREA (2023).

#### **4.1.2.3. Información PISCO para precipitaciones**

La información que brinda PISCO esta ya calibrada y validada con estaciones de SENAMHI, no obstante, en puntos de descarga diferentes se debe hacer uso complementario de datos pluviométrico disponibles en el ámbito de estudio para un adecuado control de calidad.

Para observar el procedimiento de la descarga de datos pluviométricos desde PISCO se puede visualizar el *Anexo D1*.

##### **4.1.2.3.1. Análisis de la información pluviométrica PISCO**

Se validaron los datos del producto PISCO con los datos observados de las 4 estaciones para el mismo periodo de registro.

Se extrajo datos PISCO utilizando el código R, tal y como se muestra en el *Anexo D2*. Antes de utilizar la información PISCO como dato de entrada para el modelamiento hidrológico, se realizó la validación de la información comparando los datos diarios de precipitación de las estaciones de SENAMHI con los datos de precipitación diaria de PISCO.

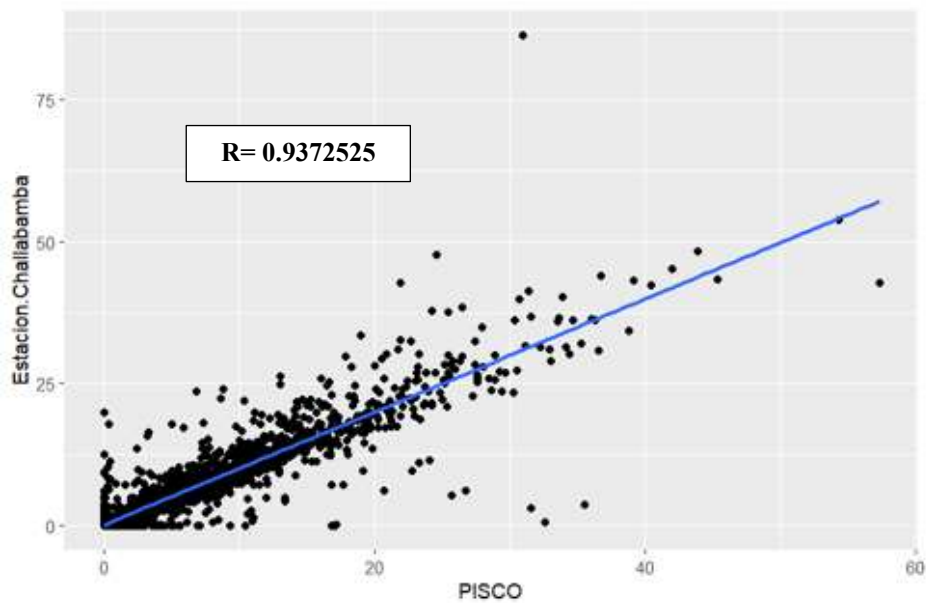
#### 4.1.2.3.2. Validación de datos de precipitación de PISCO

Se realizó la validación de los datos PISCO utilizando la correlación de Pearson entre los datos de precipitación diaria PISCO y los datos de precipitación diaria de SENAMHI para las 4 estaciones ubicadas dentro de la cuenca de estudio: Ccatca, Colquepata, Paucartambo y Challabamba.

A continuación, se muestran gráficamente las correlaciones entre los datos descritos anteriormente y se observa que en las cuatro estaciones el valor de R es mayor a 0.75.

#### Figura 48

*Correlación de datos de precipitación obtenida por PISCO con la precipitación registrada en la Estación Challabamba*

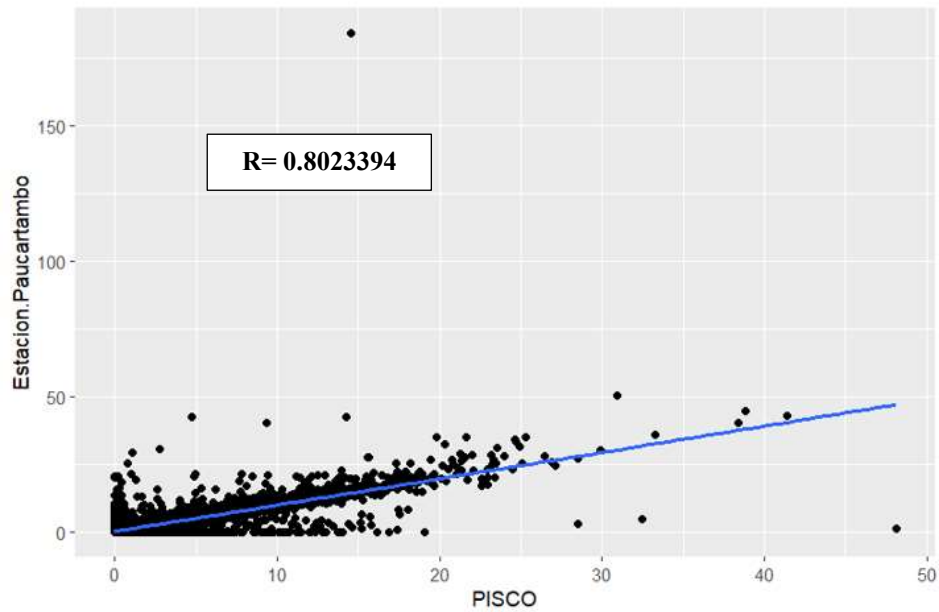


*Nota.* Elaboración propia en el programa Rstudio.

**R= 0.9372525**

**Figura 49**

*Correlación de datos de precipitación obtenida de PISCO con la precipitación registrada en la Estación Paucartambo*

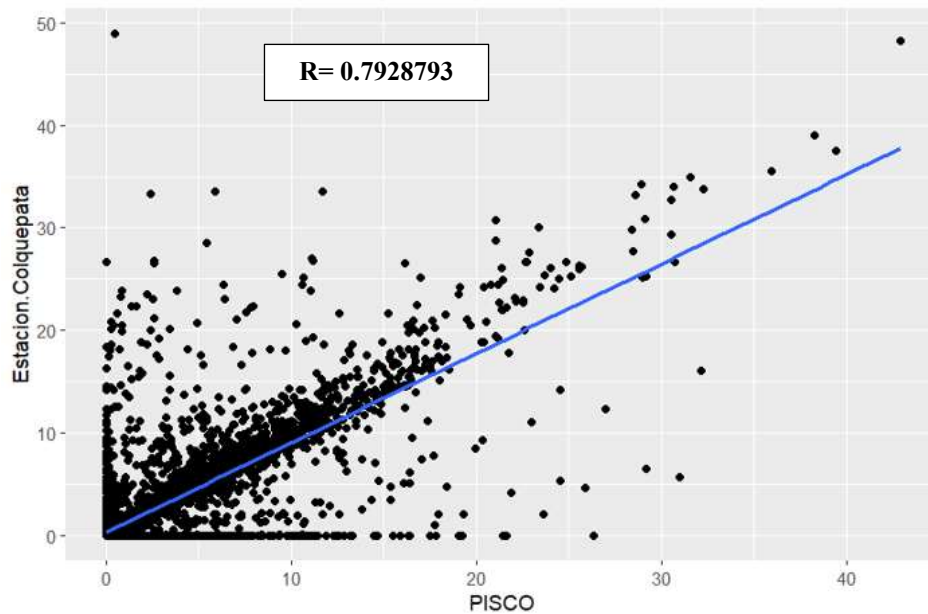


*Nota.* Elaboración propia en el programa Rstudio

**R= 0.802394**

**Figura 50**

*Correlación de datos de precipitación obtenida por PISCO con la precipitación registrada en la Estación Colquepata*

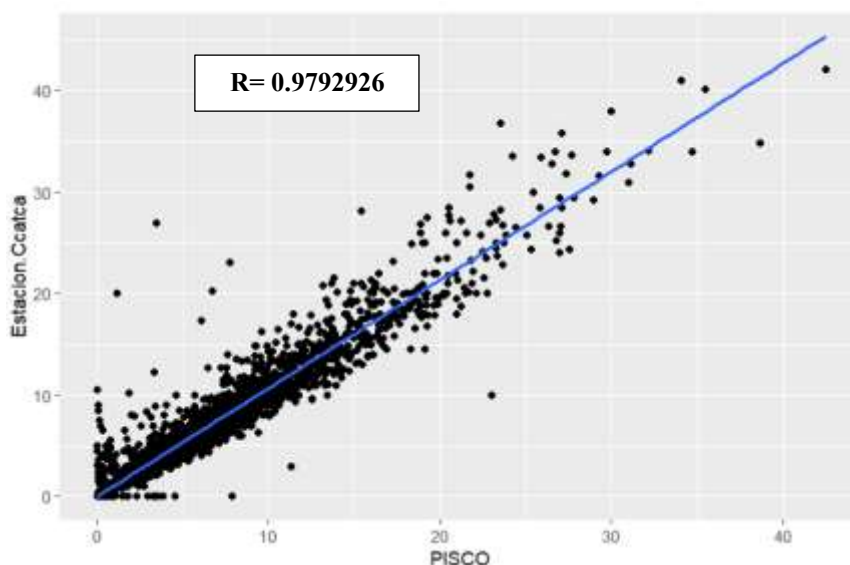


*Nota.* Elaboración propia en el programa Rstudio

**R= 0.7928793**

### Figura 51

Correlación de datos de precipitación obtenida por PISCO con la precipitación registrada en la Est. Ccatca



Nota. Elaboración propia en el programa Rstudio.

**R= 0.9792926**

De esa manera, se observa la correlación entre los datos de precipitación histórica diaria obtenidos por SENAMHI con respecto a los datos del producto PISCO, mostrándose la calidad de los datos a partir del coeficiente de correlación de Pearson en el periodo evaluado desde 1981 hasta el año 2016. Según los resultados, se observa una buena correlación entre PISCO y las estaciones meteorológicas de SENAMHI, como se observa en la siguiente tabla resumen:

### Tabla 32

Resumen de los coeficientes de correlación (R) de la información PISCO y SENAMHI para los datos de precipitación

Coeficiente de correlación (R)	
Estación	Precipitación
Challabamba	R= 0.937
Paucartambo	R= 0.802
Colquepata	R= 0.793
Ccatca	R= 0.979

Nota. Elaboración propia en base a RStudio

#### 4.1.2.3.3. Evaluación del registro pluviométrico PISCO

Considerando las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca, se realizó la validación de datos, mostrándose la correlación existente entre los mismos. Al realizar la sumatoria de datos diarios, se obtuvieron los datos mensuales de cada estación; estos al ser comparados con los datos de PISCO, demostraron sobreestimación y subestimación de datos en periodos de avenidas. Un ejemplo de ello, se puede ver en la Tabla 33 y Figuras 52 y 53, para el caso de la estación Challabamba:

**Tabla 33**

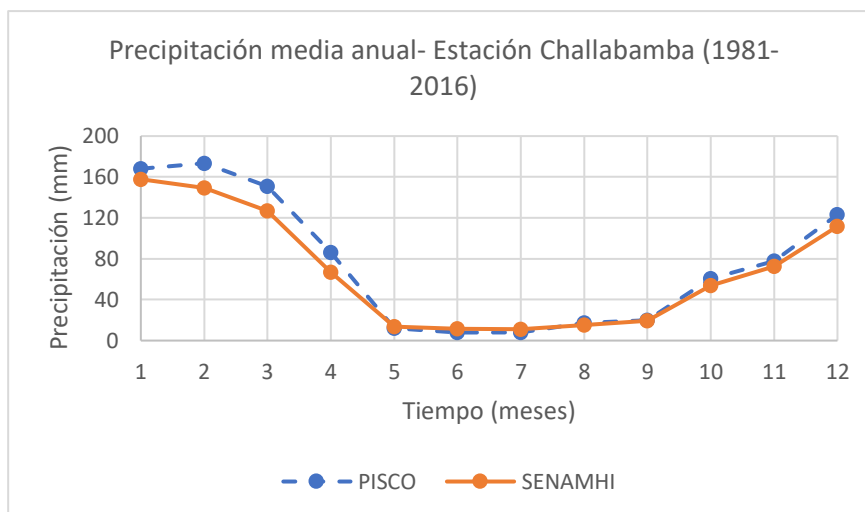
*Sobreestimación y subestimación de datos de precipitación mensuales en las estaciones seleccionadas para el año 2016*

Mes	PP mensual (mm) Est. Challabamba		PP mensual (mm) Est. Colquepata		PP mensual (mm) Est. Ccatca		PP mensual (mm) Est. Paucartambo	
	SENAM HI	PISCO	SENA MHI	PISCO	SENAM HI	PISCO	SENAM HI	PISCO
<b>Ene</b>	158.4	155.0	125.7	118.7	110.4	101.9	105.3	103.5
<b>Feb</b>	143.8	157.7	124.7	125.0	113.1	109.5	144.6	129.7
<b>Mar</b>	46.1	40.7	18.0	19.9	41.8	42.4	31.1	26.3
<b>Abr</b>	61.3	70.2	49.0	47.1	30.3	27.9	46.4	45.8
<b>May</b>	28.1	19.7	11.4	15.7	12.7	6.8	23.5	18.3
<b>Jun</b>	7.1	7.0	10.2	8.1	3.5	2.6	6.2	6.2
<b>Jul</b>	12.2	12.4	12.2	11.5	13.3	12.5	10.7	11.8
<b>Ago</b>	0.1	0.8	2.4	2.6	0.5	1.0	2.4	2.9
<b>Set</b>	12.1	11.9	12.7	13.3	12.6	11.6	7.9	8.7
<b>Oct</b>	42.7	52.3	58.9	51.5	39.9	46.3	31.4	41.0
<b>Nov</b>	30.2	30.9	22.9	21.8	19.0	20.3	11.1	15.0
<b>Dic</b>	116.4	115.7	98.3	93.9	51.5	56.5	83.1	90.3
<b>PP anual</b>	<b>658.5</b>	<b>674.3</b>	<b>546.4</b>	<b>528.8</b>	<b>448.6</b>	<b>439.3</b>	<b>503.7</b>	<b>499.4</b>

*Nota.* Elaboración propia (2024)

**Figura 52**

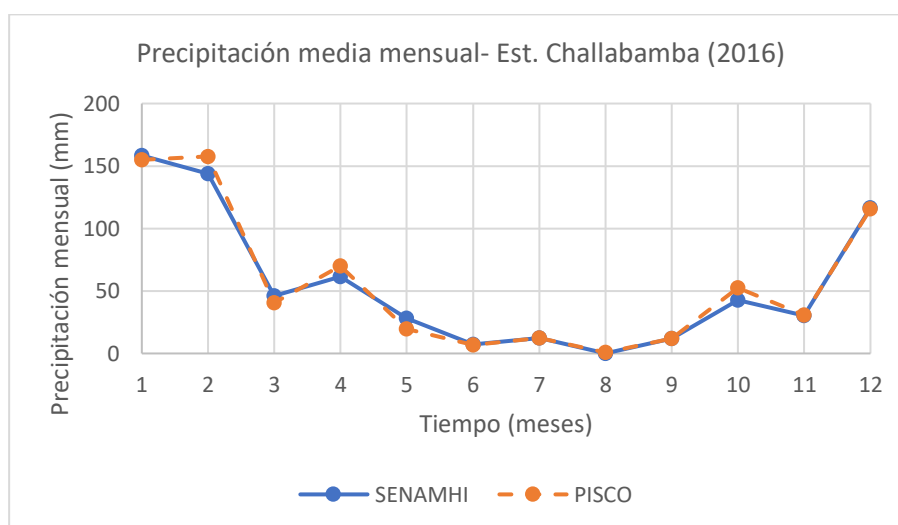
*Evaluación del registro pluviométrico- Est. Challabamba- Años 1981-2016*



Nota. Elaboración propia

**Figura 53**

*Evaluación del registro pluviométrico- Est. Challabamba año 2016*



Nota. Elaboración propia

Para las precipitaciones promedio de Challabamba para el año 2016 (Tabla 33), se puede visualizar gráficamente los resultados en la precipitación mensual, lo mismo a nivel anual, la precipitación observada de SENAMHI es 658.5 mm, y la precipitación PISCO resulta 674.3 mm. Al comparar valores se concluye que es necesario realizar una corrección de sesgo.

#### 4.1.2.3.4. Corrección de sesgo en la precipitación

Para corregir la data PISCO se hizo uso del método de corrección de sesgo (bias correction) conocido como “Linear scaling” (LS). Este método utiliza un coeficiente como multiplicador, corrige la precipitación, resultando en un ajuste más aproximado de los datos (Collados et al., 2015). La fórmula es la siguiente:

$$P_{cor,m,d} = P_{raw,m,d} * \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{raw,m})}$$

Donde:

$p_{cor,m,d}$  = Precipitación corregida en el dth día del mth mes

$p_{raw,m,d}$  = Precipitación observada en el dth día del mth mes

$u$  = Expectativa del operador

$p_{obs,m,d}$  = Valor medio de la precipitación observada en el mes "m" dado

En la Tabla 34 se observan los resultados de coeficientes de escalamiento, donde los coeficientes mayores a 1, indican subestimación de los datos; mientras que menores a 1, indican la sobreestimación. Por ello, en las estaciones del SENAMHI se dio por multiplicar un coeficiente para tener el control de calidad requerido.

Se hallaron los coeficientes mensuales para cada estación y durante los años 1981-2022. Así, se muestran los coeficientes mensuales de la Estación de Challabamba, los cuales se multiplicaron por los valores de precipitación de PISCO diaria y se obtiene una precipitación escalada diaria de la Estación Challabamba para el mes de enero de 1981, la cual es multiplicada por cada dato (ver Anexo D3).

**Tabla 34**

*Coefficientes de escalamiento para las precipitaciones de la Estación Challabamba (1981-1990)*

Año	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Ene	0.8808	1.5175	0.3089	2.0500	0.2720	1.0495	1.0472	0.7934	0.9650	0.8699
Feb	0.9110	1.2520	0.3824	1.1019	0.2089	0.6866	0.6773	0.7534	0.6840	0.6040
Mar	0.4489	0.7679	0.6247	1.9392	0.1752	0.8697	1.1298	0.6862	0.9203	0.8837
Abr	1.0611	0.7452	0.4037	0.4736	0.0864	0.4548	1.1428	0.5160	0.5005	0.4587
May	1.2749	10.4286	0.3182	3.5000	0.1558	0.6640	0.8296	0.7568	0.4938	0.9324
Jun	0.4124	0.5906	2.4118	2.3467	0.3164	1.0000	0.7302	0.0000	0.4344	0.5407
Jul	0.0000	2.5000	3.0000	3.0000	0.0000	0.5479	0.4887	0.0000	0.0000	0.0000
Ago	0.6127	0.6786	0.3969	0.1763	0.0000	0.1030	0.0000	0.0000	0.2486	0.3700
Set	2.4160	1.5468	2.3953	3.3393	0.1138	1.3103	0.0000	0.4074	0.6086	0.1781
Oct	0.8294	0.9212	0.5583	0.0785	0.1007	0.7395	0.5319	0.8095	0.6360	0.5482
Nov	1.2216	0.9479	0.7311	0.5331	0.4672	0.4430	1.1361	0.5855	0.8578	1.5485
Dic	0.5159	0.3339	0.2933	0.4233	0.4679	0.4514	0.5219	0.8160	0.5026	0.8892

Nota. Elaboración propia

Al llevar a cabo este proceso de manera iterativa para todas las estaciones, utilizando los datos correspondientes de PISCO y aplicando un coeficiente para cada día, se obtuvo el registro diario para cada estación. Cabe resaltar que este proceso se realizó para los registros que no tenían información observada y solo contaban con datos de PISCO, por lo que se realizó una corrección de sesgo.

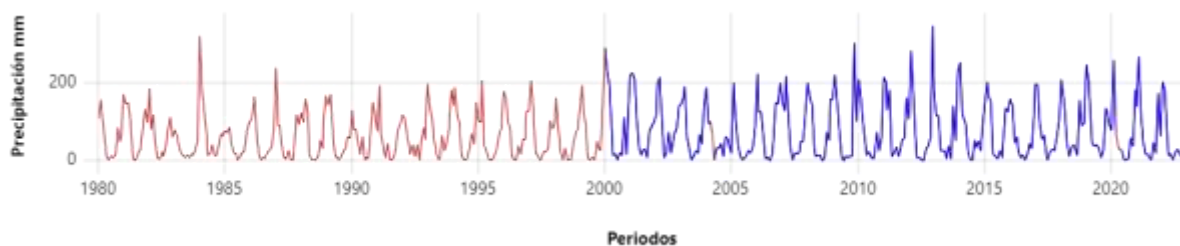
En síntesis, se observa gráficamente que los patrones de distribución mensual de la precipitación del PISCO, son muy similares a la precipitación observada, existe subestimación de la precipitación del PISCO para los meses húmedos y una sobreestimación en los meses secos, lo cual ha sido señalado en otros estudios de validación de productos satélites de precipitación versus información observada.

#### 4.1.2.4. Resultados de la completación de datos pluviométricos

Los resultados completados de las estaciones se visualizan a continuación:

**Figura 54**

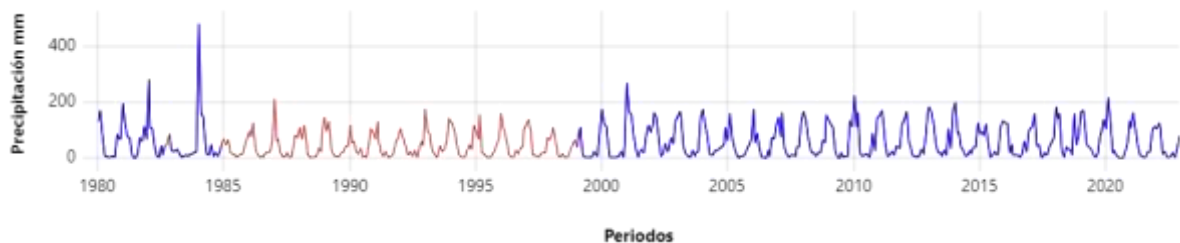
*Datos de precipitación completos, Estación Challabamba*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 55**

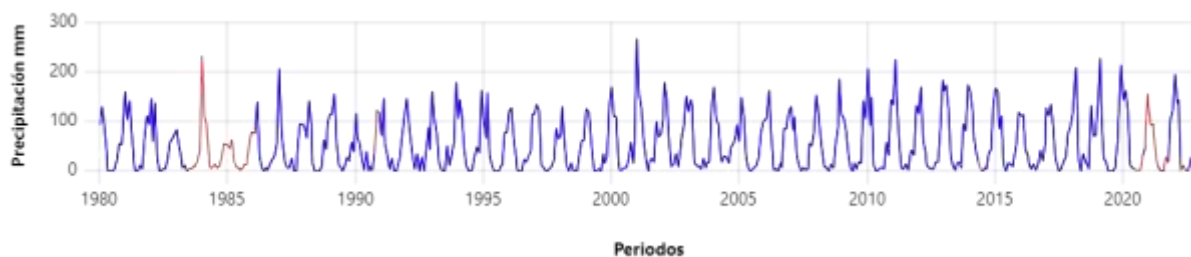
*Datos de precipitación completos, Estación Colquepata*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 56**

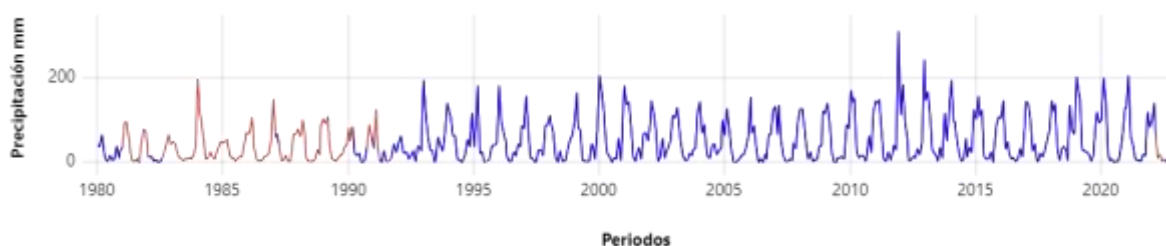
*Datos de precipitación completos, Estación Ccatca*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 57**

*Datos de precipitación completos, Estación Paucartambo*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

Los resultados de completación de datos de precipitación de las demás estaciones meteorológicas se pueden observar en el *Anexo C3*.

#### **4.1.2.5. Resumen de la precipitación media mensual de estaciones seleccionadas**

Luego de obtener el registro histórico de la precipitación acumulada mensual de todas las estaciones (ver *Anexo H*), se procede a calcular la precipitación media mensual de las estaciones seleccionadas utilizando el método de los polígonos de Thiessen:

**Tabla 35**

*Precipitación media mensual (mm) durante el periodo 1981-2022*

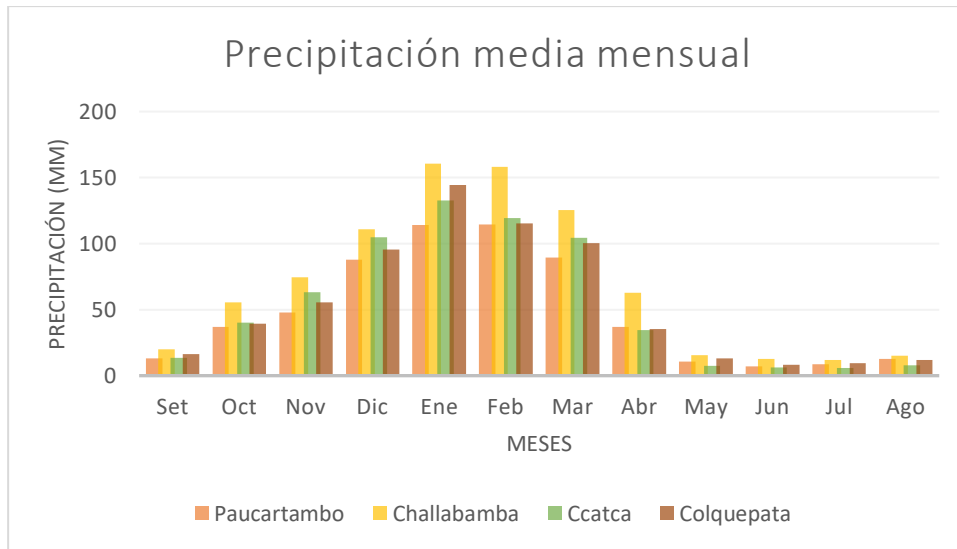
<b>Estación</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>
Paucartambo	12.9	36.8	47.8	88.0	114.2	114.3	89.5	36.8	10.6	6.9	8.5	12.5
Challabamba	19.8	55.5	74.5	110.8	160.7	158.3	125.3	62.8	15.6	12.8	12.0	15.1
Ccatca	13.3	40.3	63.2	104.9	132.6	119.5	104.5	34.7	7.6	6.3	6.0	8.0

Colquepata	16.4	39.4	55.4	95.5	144.3	115.2	100.2	35.4	13.1	8.2	9.5	11.7
------------	------	------	------	------	-------	-------	-------	------	------	-----	-----	------

Nota. Elaboración propia

**Figura 58**

*Histograma de la precipitación media mensual de las estaciones consideradas*



Nota: Elaboración propia

Se calcularon los estadísticos de la serie de precipitación multianual para la cuenca entre 1981-2022, donde la precipitación total acumulada multianual resultó 656.1 mm, registrándose el valor más alto en enero y el más bajo en julio.

**Tabla 36**

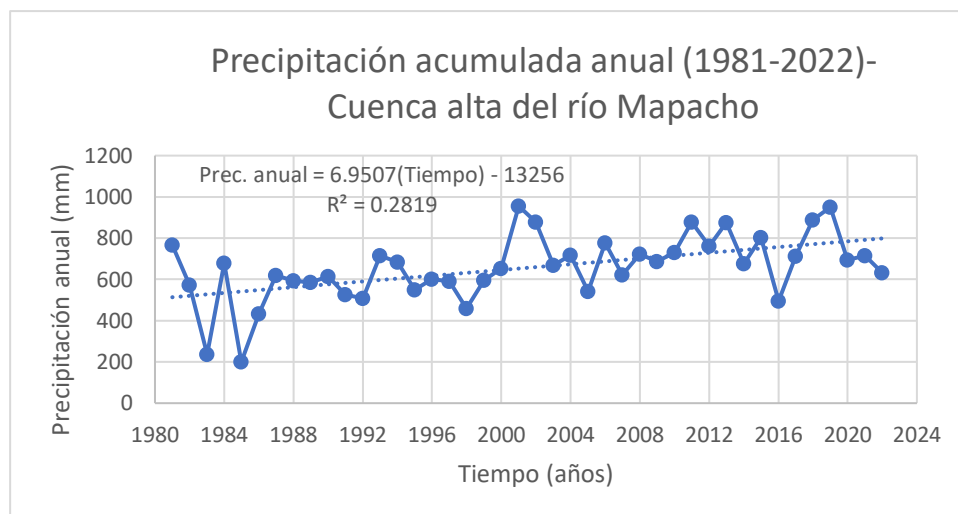
*Precipitación mensual promedio (1981-2022) en la cuenca alta del río Mapacho*

Estación	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Precipitación promedio mensual	14.4	43.1	62.1	101.9	134.9	123.5	104.6	38.4	9.3	7.3	7.0	9.7

Nota: Elaboración propia

**Figura 59**

*Tendencia de la precipitación total anual en la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)*



*Nota:* Elaboración propia

### **4.1.3. Procesamiento de información de temperatura histórica**

Para determinar la temperatura media, máxima y mínima mensual en las estaciones se analizaron los registros históricos de las 9 estaciones seleccionadas. Los datos de las estaciones hidro-climáticas in situ en la cuenca Mapacho no registran series completas de información por un periodo de tiempo prolongado, lo cual dificultó la obtención de insumos esenciales para realizar el modelo hidrológico. Ante estas deficiencias de datos atmosféricos completos y de calidad se decidió utilizar los datos PISCO para completar las temperaturas diarias y mensuales.

#### **4.1.3.1. Análisis de datos históricos de SENAMHI**

##### **4.1.3.1.1. Completación de datos**

Se utilizó el programa Easyfit para realizar la completación de la información mensual de temperatura máxima y mínima, escogiendo la distribución que mejor se ajuste para cada caso. Para observar el ejemplo de completación de datos en una de las estaciones se puede apreciar en el *Anexo E*.

Una vez que EasyFit ha determinado la distribución que mejor se ajusta a los datos históricos, se pueden generar nuevos valores de temperatura. Estos valores generados pueden ser utilizados para completar los valores faltantes en la serie de tiempo de temperaturas.

### 4.1.3.2. Información PISCO para la temperatura

#### 4.1.3.2.1. Extracción de datos de temperatura PISCO

Para completar los datos faltantes de temperatura en las estaciones mencionadas se usó el producto PISCO. El archivo para la temperatura máxima lleva el nombre de “tmax.nc” y para la temperatura mínima se utilizó el archivo “tmin.nc”.

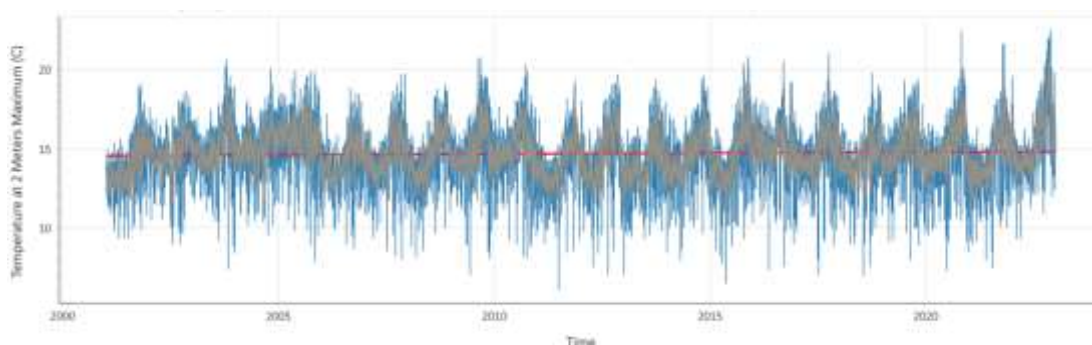
Cabe resaltar que el conjunto de datos de temperatura desde PISCOV2.1 se encuentra con acceso libre y se considera la ubicación espacial de las estaciones, cuya descarga se accedió desde: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es/>

De esa manera, en primer lugar, se colocaron las coordenadas geográficas de las estaciones existentes, se usó el lenguaje de programación R y el código de lectura.

Se ejecutó un proceso de extracción de datos PISCO para obtener información correspondiente al área de estudio. Para ello, se utilizó principalmente el programa R en la plataforma RStudio, a través de la utilización de un código de un paquete hidrológico (con los paquetes “raster” y “ncdf4”). Con ello, se halla la serie de datos de temperatura de nueve estaciones virtuales para el periodo 1981-2016.

### Figura 60

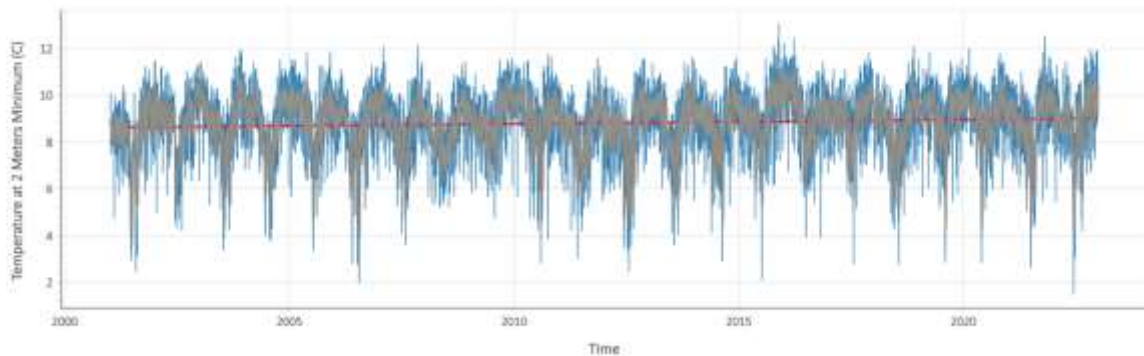
*Temperatura máxima diaria (1981-2022)*



*Nota.* Elaboración en base a datos de PISCO (2024).

**Figura 61**

*Temperatura mínima diaria (1981-2022)*



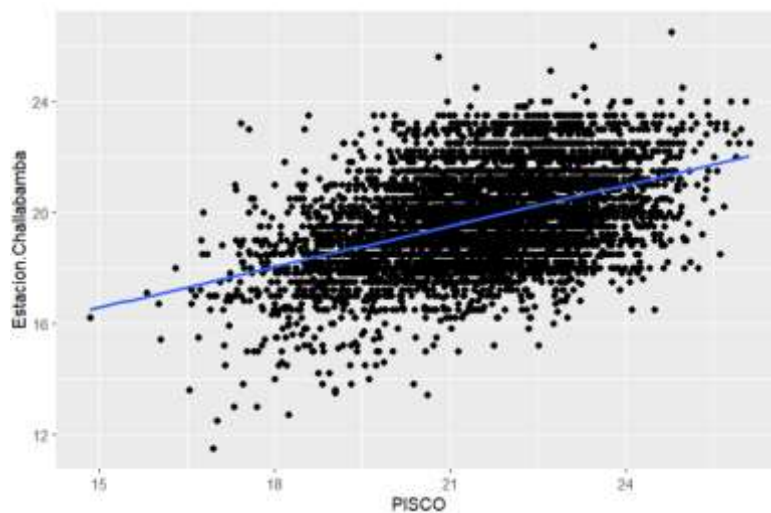
*Nota.* Elaboración en base a datos de PISCO (2024).

#### **4.1.3.2.2. Correlación de temperatura máxima de PISCO**

Se realizó la validación de los datos PISCO, realizando la correlación R entre los datos de temperatura máxima PISCO y los datos de temperatura máxima obtenidos de SENAMHI para las 4 estaciones ubicadas dentro de la cuenca de estudio.

**Figura 62**

*Correlación de datos de temperatura máxima por PISCO con la temperatura máxima en la Est. Challabamba del SENAMHI*

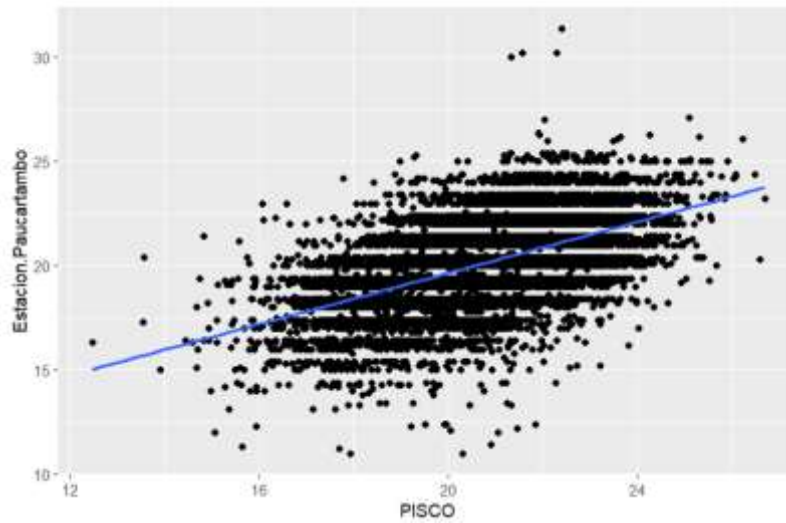


*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.4593511$$

**Figura 63**

*Correlación de datos de temperatura máxima de PISCO con la temperatura máxima en la Est. Paucartambo del SENAMHI*

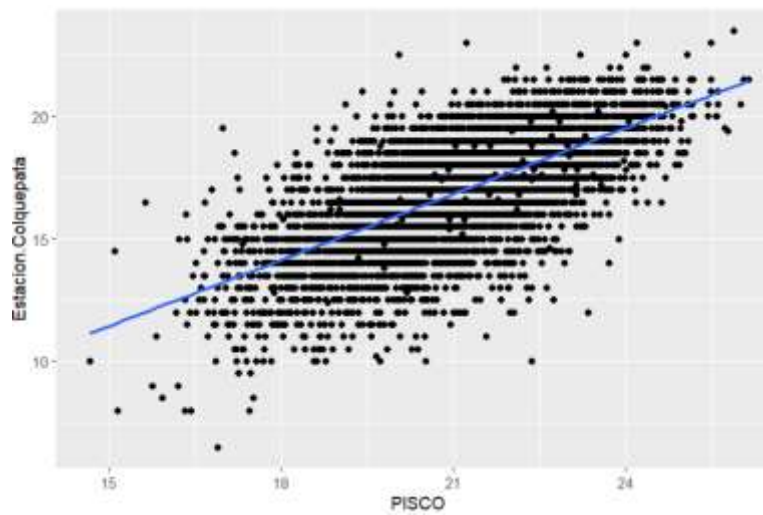


*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.5350036$$

**Figura 64**

*Correlación de datos de temperatura máxima de PISCO con la temperatura máxima en la Est. Colquepata del SENAMHI*

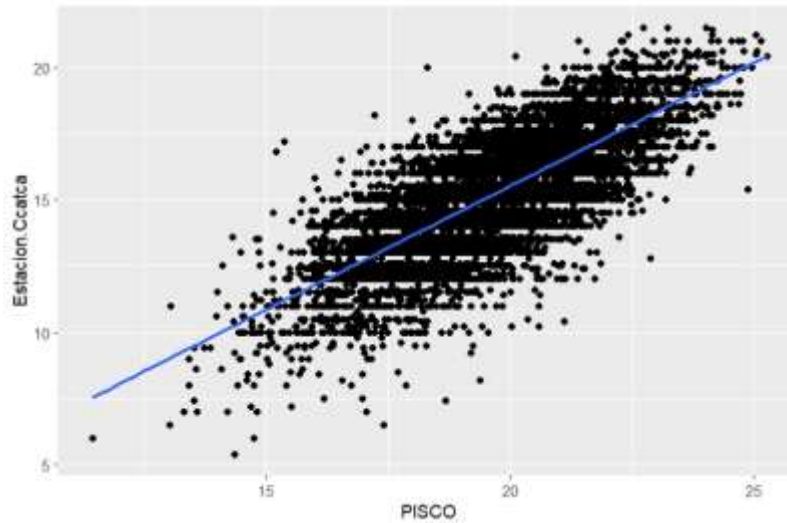


*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.6726787$$

**Figura 65**

*Correlación de datos de temperatura máxima de PISCO con la temperatura máxima en la Est. Ccatca del SENAMHI*



*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

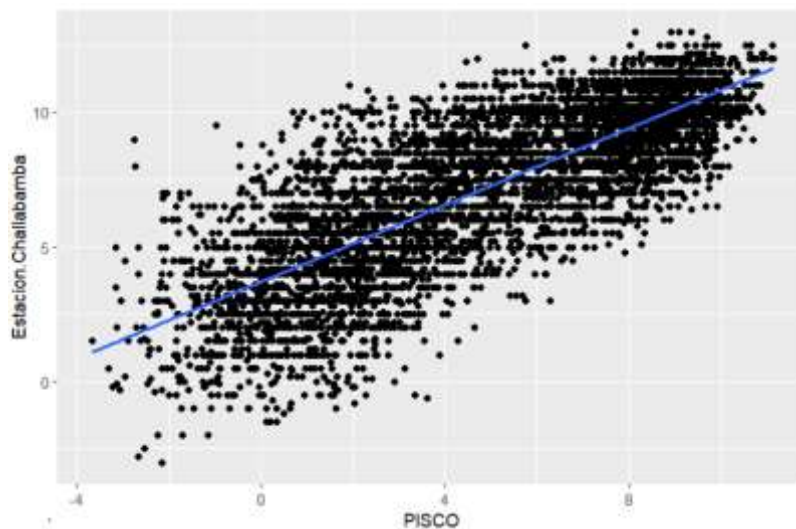
$$R= 0.7681483$$

#### **4.1.3.2.3. Correlación de temperatura mínima de PISCO**

Se realizó la correlación R de datos de temperatura mínima PISCO y los datos de temperatura mínima obtenidos de SENAMHI para las 4 estaciones ubicadas dentro de la cuenca de estudio.

**Figura 66**

*Correlación de datos de temperatura mínima de PISCO con la temperatura mínima en la Est. Challabamba del SENAMHI*

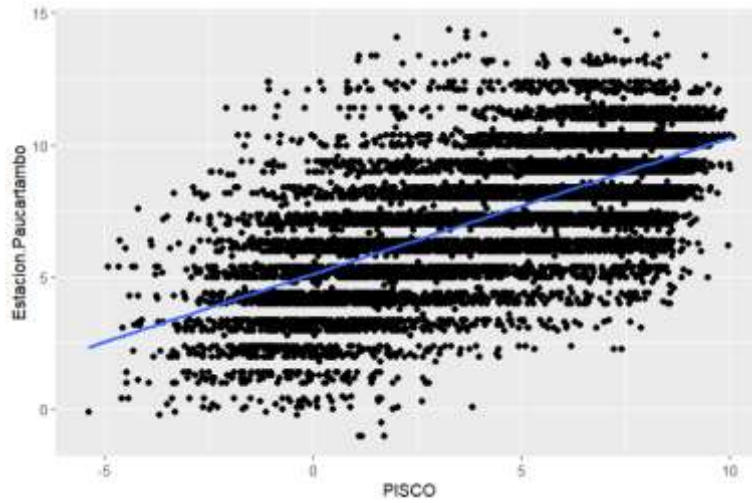


*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.8040133$$

**Figura 67**

*Correlación de datos de temperatura mínima de PISCO con la temperatura mínima en la Est. Paucartambo del SENAMHI*

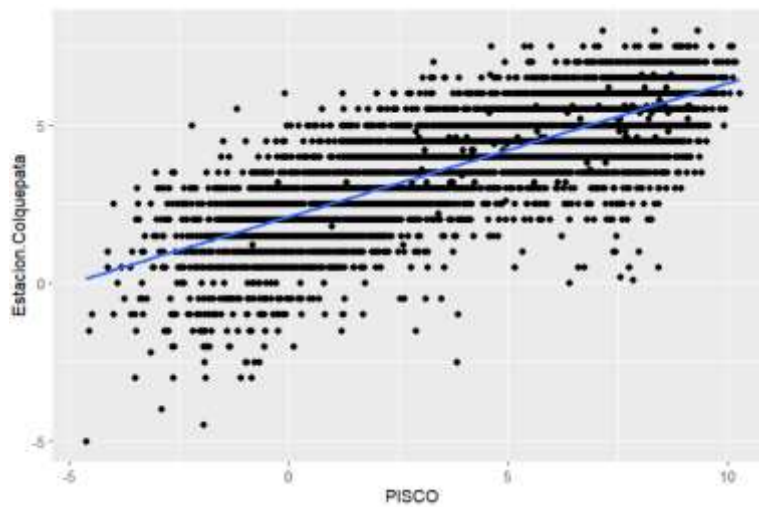


*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.6680664$$

**Figura 68**

*Correlación de datos de temperatura mínima por PISCO con la temperatura mínima en la Estación Colquepata del SENAMHI*

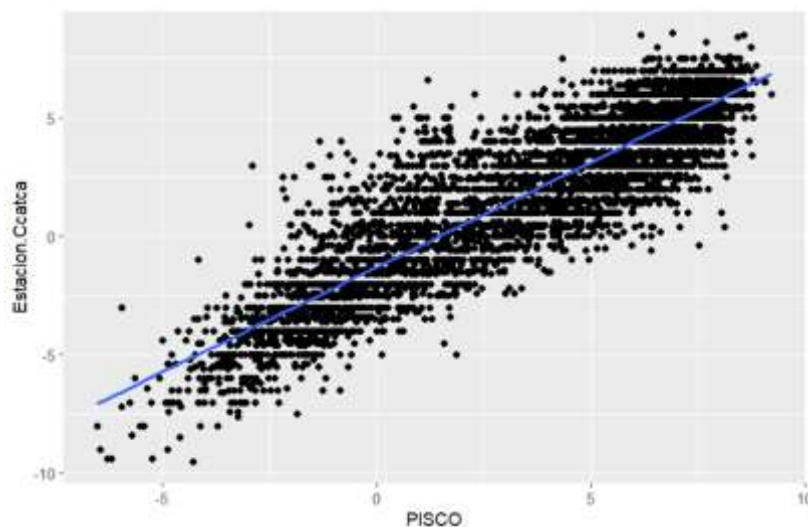


*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.7938607$$

**Figura 69**

*Correlación de datos de temperatura mínima de PISCO con la temperatura mínima en la Estación Ccatca del SENAMHI*



*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

$$R= 0.8995065$$

**Tabla 37**

*Coefficiente de correlación (R) de la información PISCO y SENAMHI para las estaciones seleccionadas*

Estación	Coeficientes de correlación (R)	
	Temperatura máxima	Temperatura mínima
Challabamba	R= 0.459	R= 0.804
Paucartambo	R= 0.535	R= 0.668
Colquepata	R= 0.673	R= 0.794
Ccatca	R= 0.768	R= 0.899

*Nota.* Elaboración propia en base a RStudio.

Según los resultados, se observa una mejor correlación entre datos de PISCO y la información de SENAMHI para las temperaturas mínimas en las cuatro estaciones, siendo la que mejor correlación presenta, la estación de Ccatca. Por otra parte, en cuanto a las temperaturas máximas se observa una correlación menos eficiente dentro de las estaciones de Challabamba y Paucartambo.

#### 4.1.3.2.4. Evaluación del registro de temperatura de PISCO

Al realizar el promedio de datos diarios en el caso de temperaturas máximas y mínimas se obtienen datos mensuales de temperatura de cada estación. Al ser estos datos comparados con los datos de PISCO, se muestra que en las estaciones se encontró sobreestimación y subestimación de datos como se puede ver en la Tabla 38 para las temperaturas máximas y la Tabla 39 para las temperaturas mínimas.

**Tabla 38**

*Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura máxima en las estaciones (2016)*

Mes	Temperatura máxima mensual (°C)- Año 2016							
	Est. Challabamba		Est. Colquepata		Est. Ccatca		Est. Paucartambo	
	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO
<b>Ene</b>	21.857	23.298	18.439	22.775	17.358	21.410	22.381	22.490
<b>Feb</b>	20.921	22.107	17.603	21.593	16.246	20.159	21.155	21.166
<b>Mar</b>	21.857	22.354	19.250	21.921	17.361	21.577	22.926	21.770
<b>Abr</b>	21.887	22.053	19.917	21.649	17.803	21.240	23.523	21.518
<b>May</b>	21.410	22.513	19.565	21.991	18.097	21.094	23.000	21.739
<b>Jun</b>	20.690	21.752	18.883	21.070	17.115	20.243	21.787	21.006
<b>Jul</b>	20.961	22.440	18.806	21.814	16.900	20.657	22.635	21.687
<b>Ago</b>	20.284	22.785	18.306	22.288	17.090	21.259	21.800	22.026
<b>Set</b>	20.790	23.109	18.450	22.912	17.048	21.852	22.703	22.770
<b>Oct</b>	20.271	22.622	15.871	22.215	16.316	20.534	22.355	21.779
<b>Nov</b>	21.577	23.325	17.600	22.882	18.037	21.786	23.253	22.719
<b>Dic</b>	20.294	21.916	16.677	21.384	16.094	20.609	21.671	21.227
<b>Tmp máxima anual prom</b>	<b>21.057</b>	<b>22.525</b>	<b>18.277</b>	<b>22.043</b>	<b>17.130</b>	<b>21.037</b>	<b>22.435</b>	<b>21.826</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 39**

*Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura mínima en las estaciones (2016)*

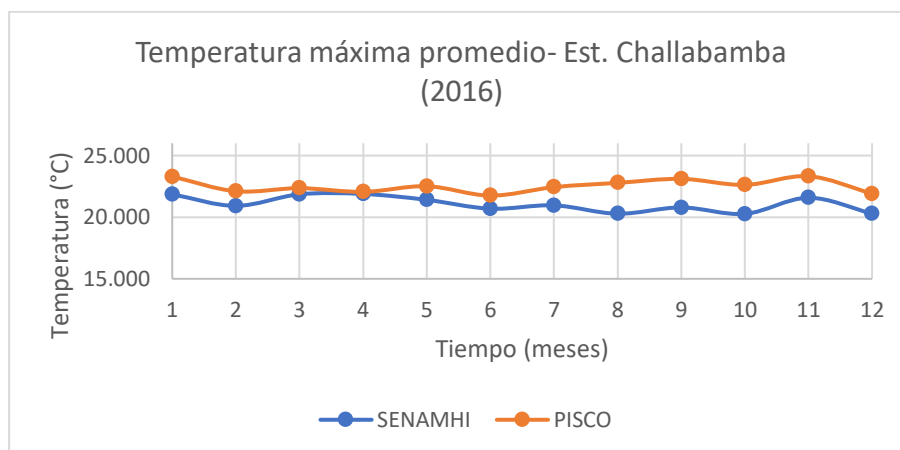
Mes	Temperatura mínima mensual (°C)- Año 2016							
	Est. Challabamba		Est. Colquepata		Est. Ccatca		Est. Paucartambo	
	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO
<b>Ene</b>	10.629	9.188	5.516	8.434	5.148	7.134	9.616	8.338
<b>Feb</b>	11.390	10.426	6.190	9.573	6.221	8.145	10.226	9.176
<b>Mar</b>	9.907	8.653	5.548	7.976	4.558	6.787	8.990	7.744
<b>Abr</b>	7.987	7.031	5.300	6.311	2.690	5.533	7.517	6.388
<b>May</b>	5.067	2.837	3.726	2.095	-0.974	1.109	5.242	2.316
<b>Jun</b>	3.526	1.644	2.200	1.567	-2.667	-1.247	4.080	1.564

<b>Jul</b>	2.073	1.800	1.355	-0.889	-3.561	-1.421	3.548	2.600
<b>Ago</b>	4.467	2.789	2.065	2.000	-1.906	1.000	5.006	3.000
<b>Set</b>	5.723	2.137	2.967	1.957	0.400	2.569	5.437	4.356
<b>Oct</b>	8.652	5.099	4.484	4.862	4.216	5.056	8.084	5.107
<b>Nov</b>	9.050	6.149	5.033	5.441	3.233	5.261	7.657	5.572
<b>Dic</b>	9.277	8.266	5.306	7.664	4.694	6.888	8.777	7.787
<b>Tmp mínima anual prom</b>	<b>7.312</b>	<b>5.169</b>	<b>4.133</b>	<b>4.474</b>	<b>1.824</b>	<b>3.826</b>	<b>6.989</b>	<b>4.595</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 70**

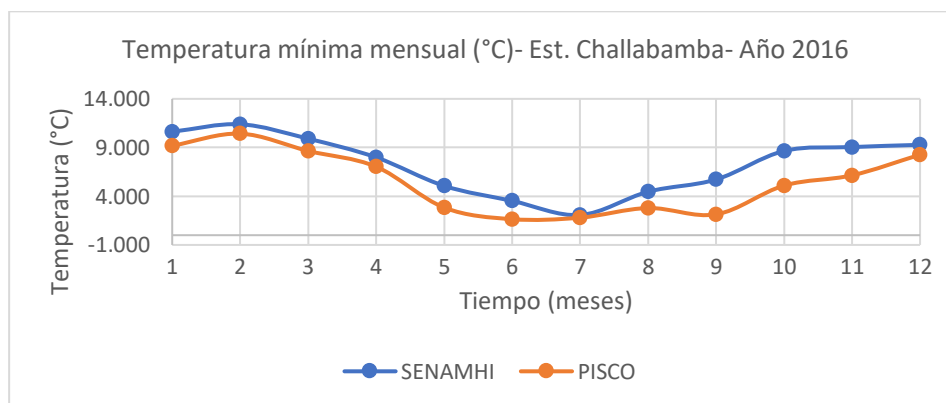
*Evaluación de las temperaturas máximas-Est. Challabamba año 2016*



Nota. Elaboración propia

**Figura 71**

*Evaluación de las temperaturas mínimas-Est. Challabamba año 2016*



Nota. Elaboración propia

Así, se muestran las Figuras 70 y 71 para representar gráficamente la diferencia de sesgo entre datos de temperaturas máximas y mínimas de SENAMHI y PISCO, respectivamente. Ello para el caso de las temperaturas mensuales de la estación Challabamba en el 2016. Se observa una aproximación entre los promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas en las estaciones; sin embargo, es necesario realizar una corrección de sesgo.

#### 4.1.3.2.5. Corrección de sesgo en la temperatura máxima y mínima

Así como en el caso de las precipitaciones, se hizo uso del método de corrección de sesgo (bias correction) conocido como “Linear scaling” (LS).

En la Tabla 40 y Tabla 41 se muestran los resultados, los coeficientes mayores a 1, indican subestimación de los datos; mientras que menores a 1, indican la sobreestimación. Por ello, en las estaciones del SENAMHI se dio por multiplicar un coeficiente para tener el control de calidad requerido.

**Tabla 40**

*Coefficientes de escalamiento para las temperaturas máximas en las estaciones para el año 2016*

<b>Coefficiente de escalamiento para las temperaturas máximas (2016)</b>				
<b>Mes</b>	<b>Challabamba</b>	<b>Colquepata</b>	<b>Ccatca</b>	<b>Paucartambo</b>
<b>Enero</b>	<b>0.93813213</b>	0.80961251	0.81073899	0.995119851
<b>Febrero</b>	0.94633429	0.8152386	0.80590014	0.999497334
<b>Marzo</b>	0.97775579	0.87815339	0.80463721	1.053115174
<b>Abril</b>	0.99244902	0.91996775	0.83820631	1.093181556
<b>Mayo</b>	0.95098556	0.88966334	0.85790307	1.057993046
<b>Junio</b>	0.95118388	0.89622179	0.84548214	1.037176274
<b>Julio</b>	0.93412184	0.86213454	0.81812369	1.043728253
<b>Agosto</b>	0.8902342	0.82136883	0.80392052	0.989724802
<b>Setiembre</b>	0.89963815	0.80527038	0.78018518	0.997071914
<b>Octubre</b>	0.89608101	0.71443516	0.79458344	1.026441368
<b>Noviembre</b>	0.92505273	0.76915334	0.82791456	1.023502381
<b>Diciembre</b>	0.92595914	0.77988825	0.78091362	1.020936084

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 41**

*Coefficientes de escalamiento para las temperaturas mínimas en las estaciones para el año 2016*

<b>Coefficiente de escalamiento para las temperaturas mínimas</b>				
<b>Mes</b>	<b>Challabamba</b>	<b>Colquepata</b>	<b>Ccatca</b>	<b>Paucartambo</b>
<b>Enero</b>	1.1568122	0.6540525	0.7216877	1.1532868

<b>Febrero</b>	1.0924576	0.6465838	0.7637492	1.1143964
<b>Marzo</b>	1.1449459	0.6956698	0.6716045	1.1608695
<b>Abril</b>	1.1359514	0.8398620	0.4861619	1.1766693
<b>Mayo</b>	1.7860995	1.7784946	-0.8780666	2.2633296
<b>Junio</b>	2.1449648	1.4039566	2.1389613	2.6086957
<b>Julio</b>	1.1518519	-1.5233083	2.5061951	1.3647643
<b>Agosto</b>	1.6015298	1.0322581	-1.9064516	1.6688172
<b>Setiembre</b>	2.6782485	1.5162688	0.1556811	1.2480869
<b>Octubre</b>	1.6968838	0.9222299	0.8338897	1.5828295
<b>Noviembre</b>	1.4717541	0.9250586	0.6146030	1.3741263
<b>Diciembre</b>	1.1222668	0.6923817	0.6813868	1.1272596

*Nota.* Elaboración propia

Se calculó los coeficientes mensuales para cada estación durante los años 1981-2022. Así, se muestran los coeficientes mensuales de la Estación de Challabamba, los cuales se multiplicaron por los valores de temperatura de PISCO diaria y se obtiene la temperatura escalada diaria de la Estación Challabamba para el mes de enero de 2016. Análogamente, se realizó escalamientos para todos los meses restantes de las demás estaciones.

#### **4.1.3.3. Resumen de la temperatura media mensual de las estaciones seleccionadas**

En relación con la variable de temperatura, se optó por utilizar las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca. Como se esperaba, las estaciones situadas a mayor altitud (Ccatca y Colquepata) registraron temperaturas más bajas en comparación con las estaciones ubicadas a menores altitudes (Paucartambo y Challabamba), como se puede observar en la Tabla 42 y la Figura 72.

El registro histórico mensual de la temperatura máxima y mínima de todas las estaciones se encuentra en el *Anexo I* y *Anexo J*, respectivamente. De esa manera, se procedió a calcular la temperatura media mensual para cada una de las estaciones.

**Tabla 42**

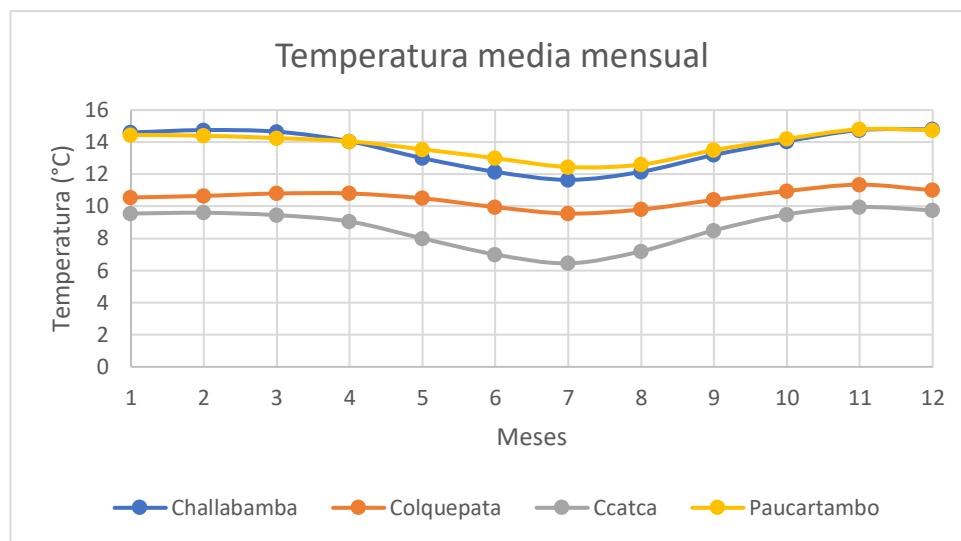
*Temperatura media mensual de las estaciones seleccionadas*

<b>Estación</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>
Paucartambo	13.5	14.2	14.8	14.75	14.45	14.4	14.25	14.05	13.55	13	12.45	12.6
Challabamba	13.2	14.05	14.75	14.8	14.6	14.75	14.65	14.05	13	12.15	11.65	12.15
Ccatca	8.5	9.5	9.95	9.75	9.55	9.6	9.45	9.05	8	7	6.45	7.2
Colquepata	10.4	10.95	11.35	11	10.55	10.65	10.8	10.8	10.5	9.95	9.55	9.8

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 72**

*Representación gráfica de la temperatura media mensual de las estaciones seleccionadas*



*Nota:* Elaboración propia

La temperatura media multianual fue de 10.2 °C, con los valores más elevados durante noviembre y diciembre, mientras que julio presentó las temperaturas más bajas (Tabla 43).

**Tabla 43**

*Temperatura promedio mensual (1981-2022) de la cuenca alta del río Mapacho*

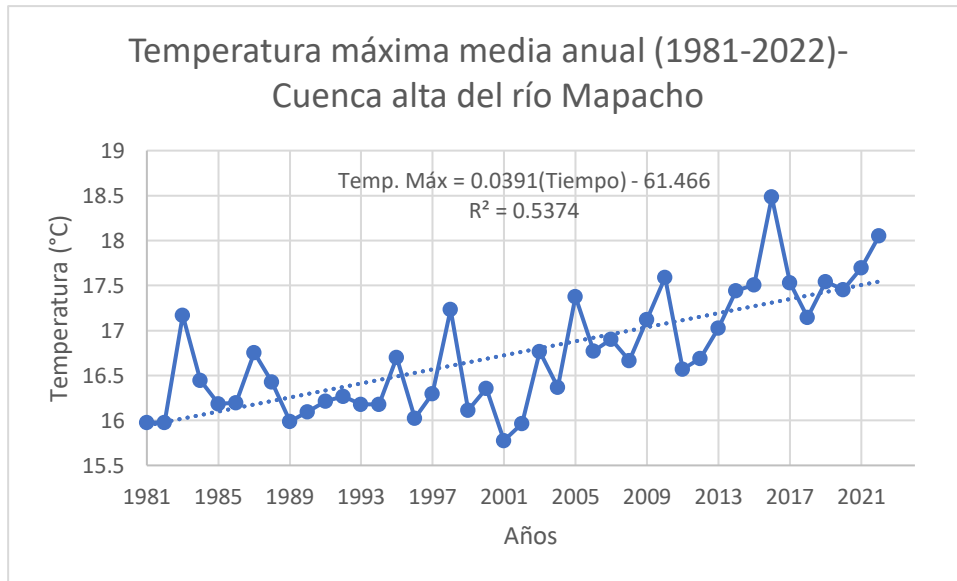
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Temperatura promedio mensual (1981-2022)	10.87	10.93	10.75	10.34	9.67	8.91	8.58	8.97	9.87	10.72	11.3	11.12

*Nota:* Elaboración propia

Cabe resaltar que, durante las dos últimas décadas del siglo XX, el Perú experimentó dos eventos de El Niño costero de alta intensidad: el primero entre 1982-1983 y el segundo entre 1997-1998 (SENAMHI, 2014). Como resultado, las Figuras 73, 74 y 75 evidencian un marcado aumento de la temperatura máxima, mínima y media en los años 1983 y 1998, lo que pone de manifiesto la influencia de este fenómeno sobre el comportamiento térmico en la cuenca alta del río Mapacho.

**Figura 73**

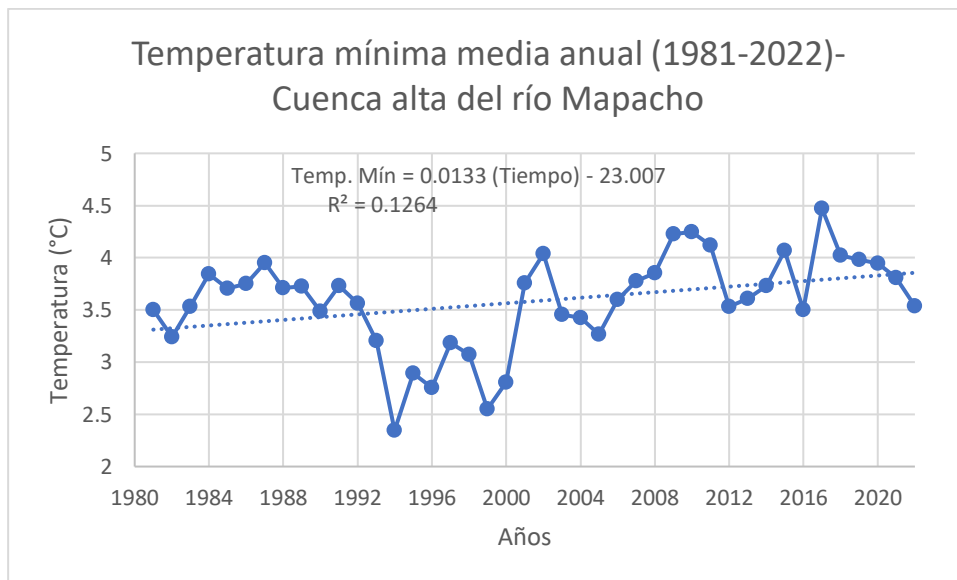
*Tendencia de la temperatura máxima anual de la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 74**

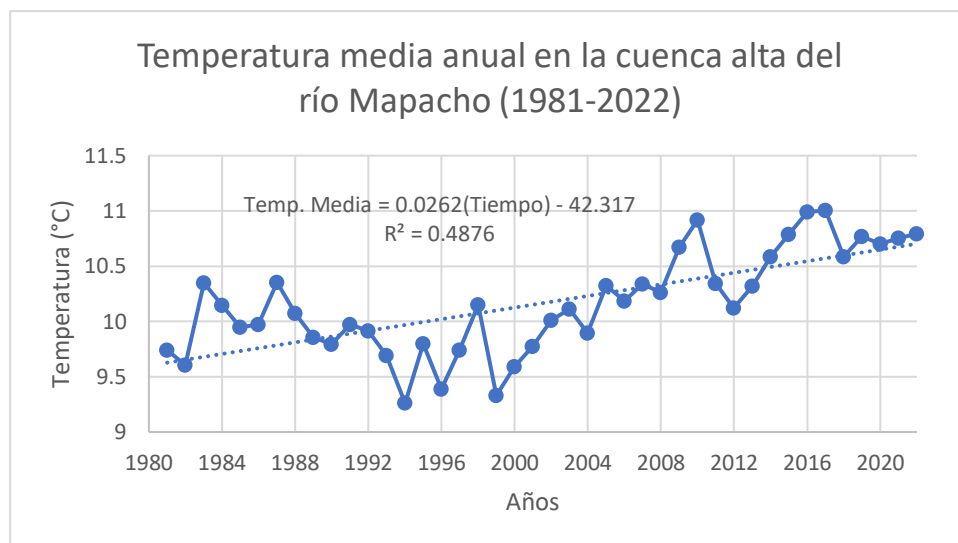
*Tendencia de la temperatura mínima anual de la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 75**

*Tendencia de la temperatura promedio anual de la cuenca alta del río Mapacho (1981-2022)*



*Nota:* Elaboración propia

#### **4.1.4. Procesamiento de datos hidrométricos**

Para el estudio de los caudales diarios y mensuales en el punto de aforo de la cuenca en estudio, se utilizó la información brindada por SENAMHI, de las estaciones hidrométricas de Paucartambo y Chacllabamba. En la estación Hidrométrica Paucartambo, la información obtenida de los caudales fue en la unidad de m<sup>3</sup>/seg, mientras que en la estación Hidrométrica Chacllabamba se obtuvo información en metros de columna de agua (m.c.a.) e información de los datos obtenidos de la medición de caudal realizada por correntómetro en el punto de aforo de la cuenca, los tipos de información descritos anteriormente se utilizaron para obtener el caudal en m<sup>3</sup>/seg en el punto de aforo.

##### **4.1.4.1. Análisis de información hidrométrica**

###### **a) Estación Hidrométrica Chacllabamba**

En el punto de aforo de la cuenca de estudio, SENAMHI realizó la medición del caudal utilizando el método del correntómetro en algunos días de los meses de los siguientes años 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020 y 2022. La información proporcionada por SENAMHI fueron las cartillas de control de descargas, las mismas que fueron procesadas en hojas Excel obteniendo así el caudal en m<sup>3</sup>/seg para cada día del mes en el que se realizó la medición del caudal utilizando el método del correntómetro. Un ejemplo de cartilla de Control de descargas proporcionada por SENAMHI se muestra en *Anexo F*.

El correntómetro utilizado en el trabajo de campo para el cálculo del caudal es el Correntómetro OTT C31 857721 con un número de hélice de HEL. N°1-866671, cuya ecuación para el cálculo de la velocidad es la siguiente:

$$V = 0.2560 N + 0.0132$$

Donde:

$$N = \frac{\text{Nro de Revoluciones}}{\text{Tiempo (segundos)}}$$

#### - Curva de Calibración

Con los caudales obtenidos mediante la utilización del método del correntómetro y las alturas de nivel de agua se realizó la obtención de la Curva de Calibración para la estación Chacllabamba.

La relación del caudal y el nivel de agua (curva de descarga) en un tramo determinado de un cauce, es producto de una serie de aforos que se realizan por un largo periodo de tiempo, de tal manera que se ajuste más a la realidad. Esta curva sirve para conocer el caudal por medio del nivel del agua y presentan valores mínimos y máximos, por lo que la medición de largos periodos logra un mejor ajuste al comportamiento del cauce. La toma de datos de los aforos se realiza mediante el uso de un correntómetro.

El objetivo de aforar una corriente durante varias épocas en el año en una sección determinada, es determinar lo que se conoce como “curva de calibración”. Si la sección de un río puede aproximarse a una figura geométrica conocida como un rectángulo, trapecio, triángulo, etc. Según Pérez (1969), el Q se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$Q = K * (H - H_0)^b$$

Donde:

Q: Es el caudal (m<sup>3</sup>)

K y b: Son parámetros de ajuste

H<sub>0</sub>: Es el nivel al cual el cauce es cero (m)

H: Es el nivel del agua (m)

Se relacionaron los caudales con los niveles de agua correspondientes a las mismas fechas de medición, tal y como se muestra a continuación para el año 2013.

**Tabla 44**

*Caudal y niveles de agua medidos en el año 2013, Estación Chacllabamba*

FECHA (mm/dd/aa)	NIVEL DE AGUA (H)	CAUDAL (Q)
4/4/2013	0.605	16.00
4/23/2013	0.235	16.00

4/27/2013	0.2	15.25
4/30/2013	0.16	11.46
5/4/2013	0.16	14.67
5/8/2013	0.145	11.51
5/14/2013	0.11	9.75
5/18/2013	0.165	10.03
5/21/2013	0.09	8.61
5/30/2013	0.03	8.39
10/15/2013	0.11	16.87
10/26/2013	0.335	22.80
11/9/2013	0.37	24.84
11/12/2013	0.19	15.82
11/16/2013	0.36	16.35
11/18/2013	0.26	19.45
11/26/2013	0.29	22.44
11/30/2013	0.195	17.08

*Nota.* Elaboración propia a partir de SENAMHI, 2024.

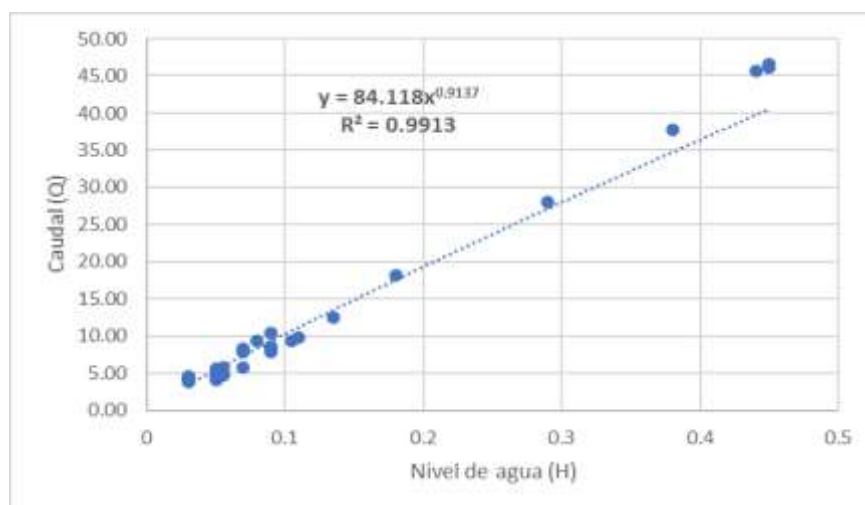
Con la información disponible de los años 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020 y 2022 se realizó una regresión ajustando la línea de tendencia a una curva potencial siendo la ecuación de la curva igual a  $Y = aX^b$ , obteniendo así los coeficientes k y b de la ecuación que caracterizan la curva de calibración del río Mapacho en la estación Chacllabamba.

Se realizó la primera regresión obteniendo un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.301$ , siendo un valor muy bajo, no se acepta la primera regresión realizada (ver *Anexo F2*).

Se realizó la eliminación de datos atípicos y la regresión ajustando la línea de tendencia a una curva potencial logrando obtener un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.9913$ .

### Figura 76

*Curva de ajuste del caudal final*



*Nota.* Elaboración propia.

La ecuación de la curva de calibración que se obtiene es la siguiente:

$$Q = 84.118 * (H)^{0.9137}$$

Utilizando la ecuación descrita anteriormente se realizó el cálculo del caudal en la estación hidrométrica Chacllabamba.

### ***b) Estación Hidrométrica Paucartambo***

La estación hidrométrica Paucartambo cuenta con información de caudales en m3/seg de forma diaria. Con los caudales obtenidos anteriormente en la estación Chacllabamba y los caudales de la estación de Paucartambo se realizó una comparación de valores obteniendo que, en algunos días de registro de caudal, el caudal observado en la estación Paucartambo es mayor al caudal observado en la estación Chacllabamba por lo que se procedió a realizar la corrección en el caudal obtenido de la estación hidrométrica Chacllabamba, utilizando la siguiente formula:

$$\frac{A_{Chacllabamba}}{A_{Paucartambo}} = \frac{Q_{Chacllabamba}}{Q_{Paucartambo}}$$

$$Q_{Chacllabamba} = \frac{A_{Chacllabamba}}{A_{Paucartambo}} \times Q_{Paucartambo}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Para determinar el valor de  $A_{Paucartambo}$  se realizó la delimitación de la cuenca considerando como punto de aforo las coordenadas de ubicación de la estación hidrométrica Paucartambo.

**Tabla 45**

*Coordenadas de la Estación hidrométrica Paucartambo*

<b>ESTACION</b>	<b>COOR_X</b>	<b>COOR_Y</b>
Estación Paucartambo	218609.6	8526260.6

Nota. Elaboración propia, en base a SENAMHI (2024).

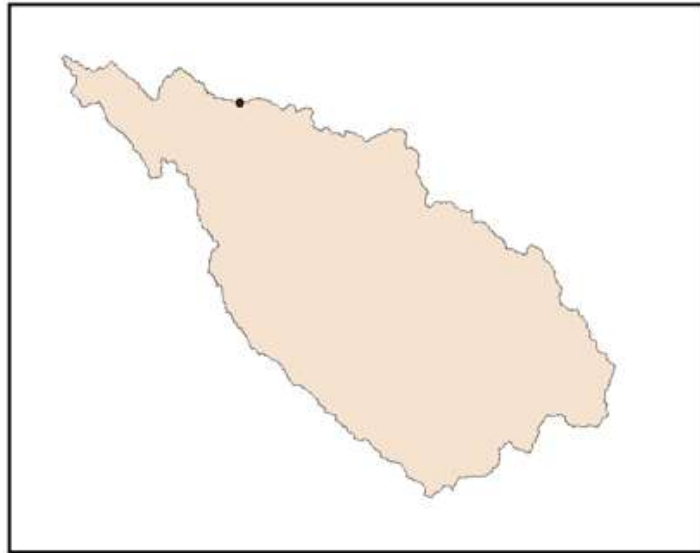
Se delimitó la cuenca considerando como punto de aforo la estación hidrométrica de Paucartambo y el área que se obtuvo es el siguiente:

$$A_{Paucartambo} = 2441.85 \text{ km}^2$$

A continuación, se muestra la cuenca delimitada considerando como punto de aforo la estación hidrométrica Paucartambo.

**Figura 77**

*Área de cuenca delimitada – Punto de aforo Paucartambo*



*Nota.* Elaboración propia (2024)

Considerando que el área de la cuenca de estudio delimitada en el punto de aforo de la estación Chacllabamba es:

$$A_{Chacllabamba} = 2928.88 \text{ km}^2$$

Se realizó la corrección del caudal  $Q_{Chacllabamba}$ , de la siguiente manera:

$$Q_{Chacllabamba} = \frac{2928.88}{2441.85} \times Q_{Paucartambo}$$

$$Q_{Chacllabamba} = 1.199 \times Q_{Paucartambo}$$

De esta manera en los días donde el caudal de la estación Chacllabamba es menor al caudal de la estación Paucartambo, se realizó la corrección de los caudales considerando el factor de 1.199, el cual se multiplicó al caudal de la estación Paucartambo obteniendo así el valor corregido del caudal para la estación hidrométrica Chacllabamba.

#### **4.1.4.2. Caudales observados**

Después de realizar el procedimiento descrito anteriormente se obtiene los siguientes caudales mensualizados y completos para la estación Hidrométrica Chacllabamba:

**Tabla 46**

*Caudales observados en la Estación Chacllabamba (m3/s)*

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2003</b>	95.9	97.5	101.8	70.5	40.1	29.6	24.1	18.6	18.5	23.1	28.7	59.1
<b>2004</b>	102.7	95.3	66.7	48.9	28.1	18.3	21.1	18.1	16.4	27.0	38.8	60.8
<b>2005</b>	63.9	92.2	83.1	59.3	28.6	21.2	14.2	13.5	14.1	22.5	33.7	49.5
<b>2006</b>	92.5	80.4	79.4	68.0	24.5	11.9	3.2	2.5	2.7	15.5	39.7	68.5
<b>2007</b>	86.6	84.8	92.7	67.6	32.5	21.1	16.2	13.2	13.6	20.7	24.0	45.9
<b>2008</b>	85.2	95.0	84.4	47.4	27.2	18.5	14.0	13.0	14.5	21.5	31.8	73.7
<b>2009</b>	106.8	88.3	90.7	62.5	26.2	16.3	13.5	46.2	46.8	21.5	50.3	69.5
<b>2010</b>	142.6	197.9	139.9	91.0	31.9	18.9	17.3	13.3	13.4	14.8	19.6	67.8
<b>2011</b>	107.3	142.0	110.7	83.7	27.9	17.2	11.7	10.9	16.4	20.6	26.7	57.3
<b>2012</b>	81.9	111.7	82.7	50.2	22.7	17.2	13.7	13.3	12.7	14.5	32.2	71.7
<b>2013</b>	164.7	149.4	89.8	44.1	24.2	13.1	9.0	8.5	11.4	37.0	62.6	123.9
<b>2014</b>	106.3	126.6	111.9	90.3	35.2	15.2	7.1	5.7	9.0	10.8	15.1	47.6
<b>2015</b>	75.0	130.1	83.1	70.5	40.4	20.7	13.0	8.5	10.1	12.0	26.2	47.9
<b>2016</b>	55.8	79.1	57.0	53.7	28.0	19.6	10.3	9.6	17.7	20.6	21.2	26.4
<b>2017</b>	73.4	91.0	104.0	58.4	25.6	21.2	18.0	16.7	22.1	25.6	29.4	40.0
<b>2018</b>	74.2	110.7	95.4	49.2	32.9	24.0	21.2	19.2	17.1	41.2	55.5	45.7
<b>2019</b>	96.4	136.8	107.7	63.9	39.3	24.8	19.0	13.8	15.0	26.5	57.5	137.4
<b>2020</b>	102.0	117.5	99.1	77.5	38.6	19.9	14.7	14.6	14.5	18.3	24.5	56.1
<b>2021</b>	98.5	123.2	114.4	58.2	26.2	18.5	15.4	13.9	19.5	25.6	42.4	88.3
<b>2022</b>	60.2	80.1	80.3	38.7	28.6	19.9	24.6	25.4	23.8	24.8	33.8	31.2
<b>Prom</b>	<b>93.6</b>	<b>111.5</b>	<b>93.7</b>	<b>62.7</b>	<b>30.4</b>	<b>19.3</b>	<b>15.1</b>	<b>14.9</b>	<b>16.5</b>	<b>22.2</b>	<b>34.7</b>	<b>63.4</b>

Nota: Elaboración propia

**Figura 78**

*Hidrograma de los caudales en la estación hidrométrica Chacllabamba (m3/s)*



Nota: Elaboración propia

#### **4.1.5. Modelamiento hidrológico SWAT**

Para determinar el potencial del recurso hídrico superficial disponible en la cuenca alta del río Mapacho se desarrolló el modelo hidrológico SWAT. En el área de estudio de la cuenca existen mediciones representativas y regulares del caudal en las estaciones hidrométricas de Paucartambo y Chacllabamba, lo que permitió reconstruir las bases para inferir parámetros de calibración del modelo. Para generar información respecto a la cuenca se utilizó la información disponible de precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

Con el modelo SWAT se realizó un estudio hidrológico, dando como resultado una serie mensual de caudales de 38 años (periodo 1985-2022) de aportaciones naturales en la cuenca representada en la versión del modelo hidrológico. A continuación, se muestran las etapas de la implementación del modelo SWAT:

##### ***4.1.5.1. Delimitación de subcuencas dentro del SWAT***

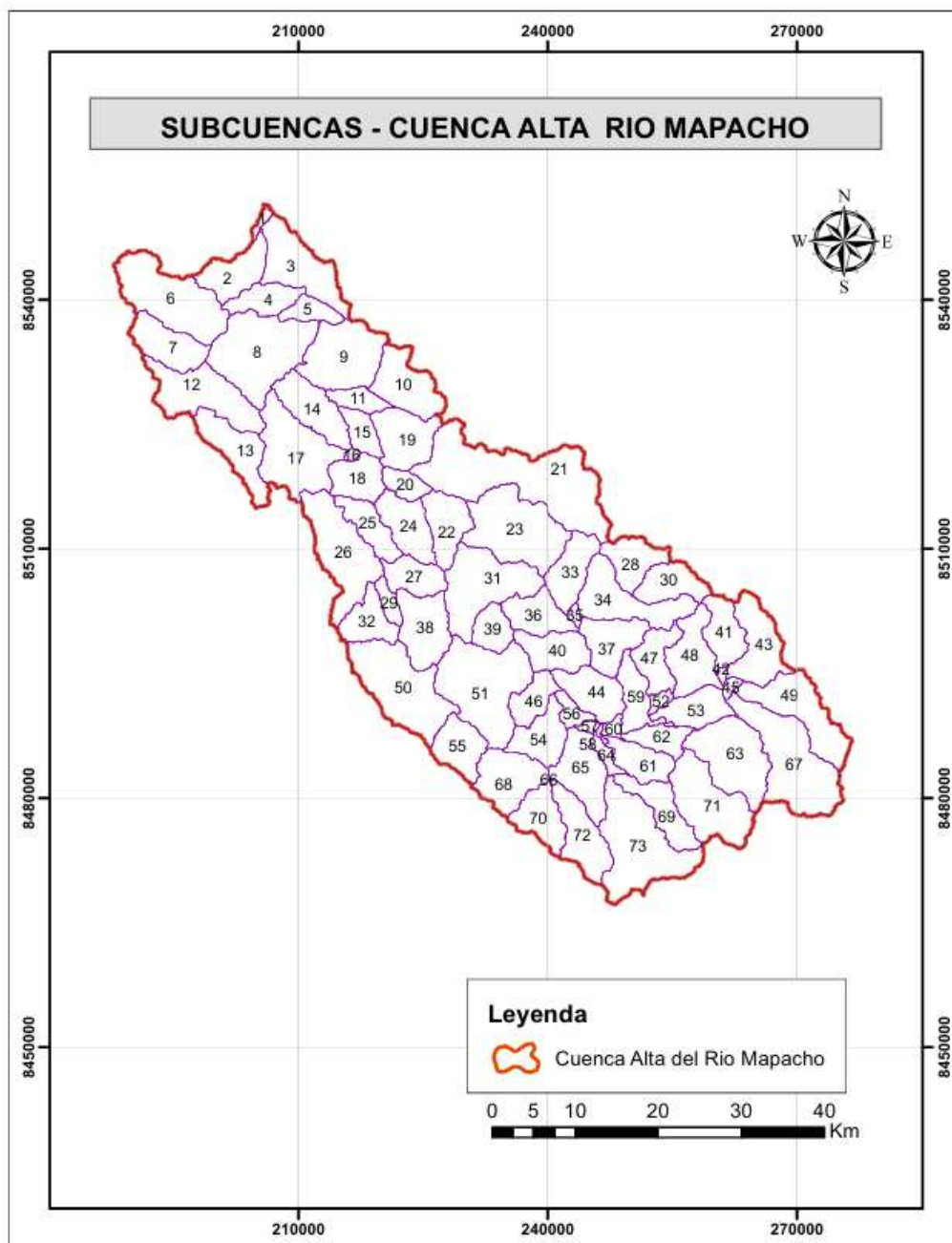
Para lograr la simulación del modelo, se insertó el DEM de la zona de estudio dentro del SWAT.

Posterior a ello, se realizó la delimitación automática de la cuenca de estudio con la herramienta Arc-SWAT, teniendo como base el DEM y como punto de aforo la estación hidrométrica Chacllabamba, cuyos datos de caudales se usaron para calibrar y validar el modelo. De esa forma, se generaron los flujos principales en la cuenca.

Luego, se generaron 73 subcuencas. Así se logró la delimitación de subcuencas para cada cauce, y a cada sector le corresponde un punto de desfogue (monitoring point).

**Figura 79**

*Subcuencas resultantes de la modelación hidrológica en SWAT*



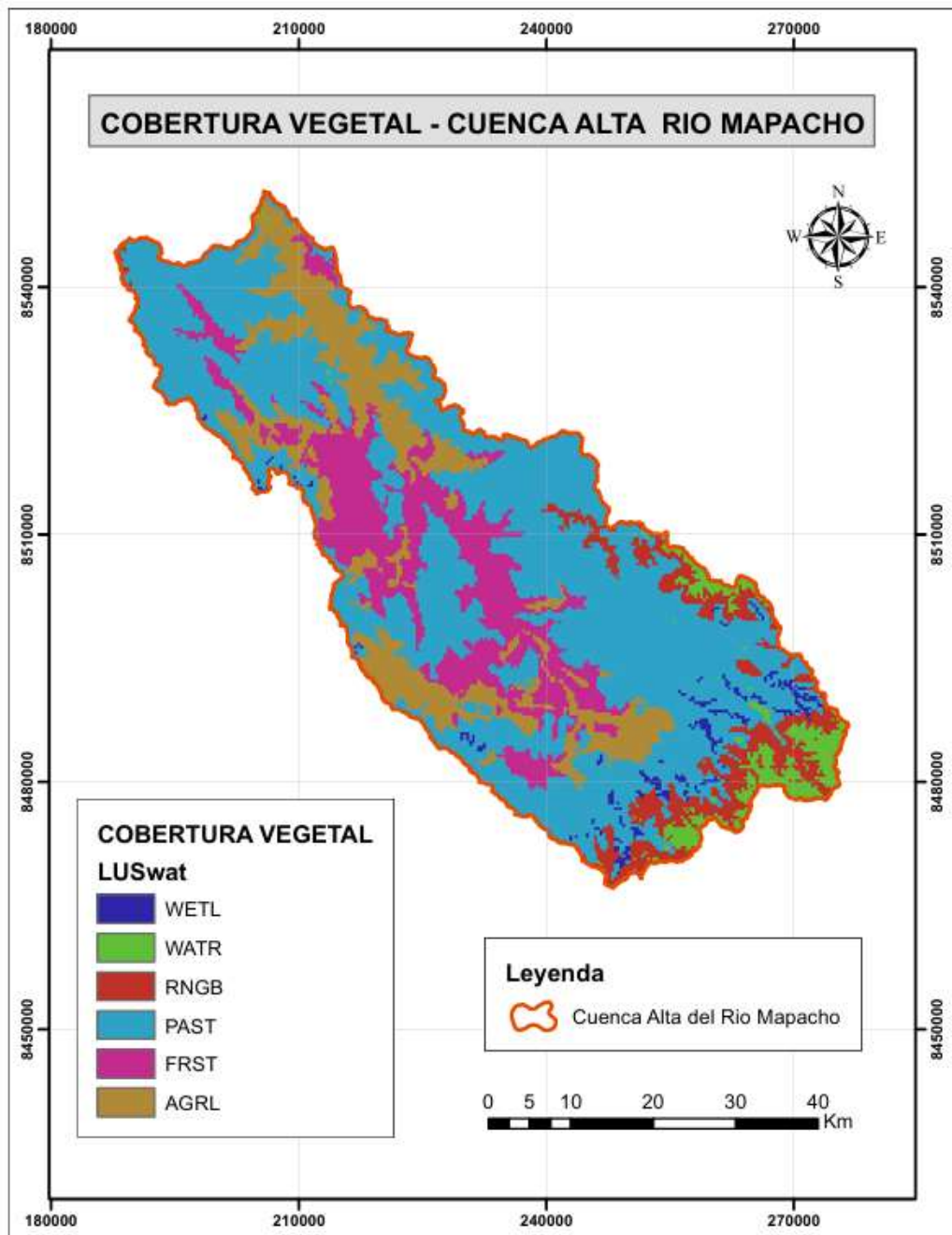
*Nota.* Elaboración en base al modelo SWAT (2024)

#### **4.1.5.2. Cobertura vegetal**

Para emplear la opción de Datos de Cobertura vegetal, se colocó previamente en la carpeta de trabajo el archivo Shapefile con escala 1:100,000 con las capas provenientes del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del Ministerio de Ambiente (2015), y se creó una tabla de datos de codificación del SWAT para que el programa pudiera reconocerla.

**Figura 80**

*Cobertura vegetal de la cuenca Mapacho*



*Nota.* Elaboración en base al modelo SWAT (2024).

A continuación, se realizó la reclasificación de los grupos de Cobertura vegetal SWAT de acuerdo con los códigos específicos del programa.

**Tabla 47***Cobertura vegetal en la cuenca alta del Rio Mapacho*

<b>Código SWAT</b>	<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Detalle de color en mapa</b>	<b>Descripción</b>
GLA-L/CO-R, WATR Water	Glaciar y cuerpos de agua	Verde	109.64 km <sup>2</sup> (3.74%), áreas cubiertas por cuerpos de agua, como glaciares, lagos, ríos o embalses.
ESV, RNGB Range Shrubland	Área altoandina con escasa y sin vegetación	Rojo	209.62 km <sup>2</sup> (7.16%), áreas de terreno cubiertas con escasa vegetación en zonas de gran altitud.
BO, WETL South Western Range	Bofedal	Azul	44.69 km <sup>2</sup> (1.53%), caracterizados por la presencia de vegetación acuática y humedales en área de la puna.
MA, FRST	Matorral arbustivo	Rosado	485.79 km <sup>2</sup> (16.59%), áreas naturales donde crecen pastos y arbustos resistentes a las condiciones extremas de puna.
AGRI, AGRL Row Crops	Agricultura andina	Mostaza	276.06 km <sup>2</sup> (9.43%), áreas dedicadas al cultivo de productos agrícolas, como cultivos de cereales, hortalizas, o frutas.
PJ, PAST Pasture/Hay	Pajonal andino	Celeste	1612.41 km <sup>2</sup> (55.05%), terrenos utilizados para el pastoreo de ganado, compuesto por plantas adaptadas a condiciones extremas de la puna.
ANO-BA, AGRL Mixed Forest	Áreas de no bosque amazónico	Mostaza	190.67 km <sup>2</sup> (6.51%), áreas que fueron desboscadas y convertidas en áreas agropecuarias.

*Nota.* Elaboración propia en base a Clasificación del uso de suelo del SWAT y MINAM (<https://oldgeni.isnew.info/landuse.html>).

En la tabla anterior se puede observar la clasificación de cobertura vegetal con su respectivo código de uso de suelo tomado por el modelo hidrológico semi distribuido SWAT.

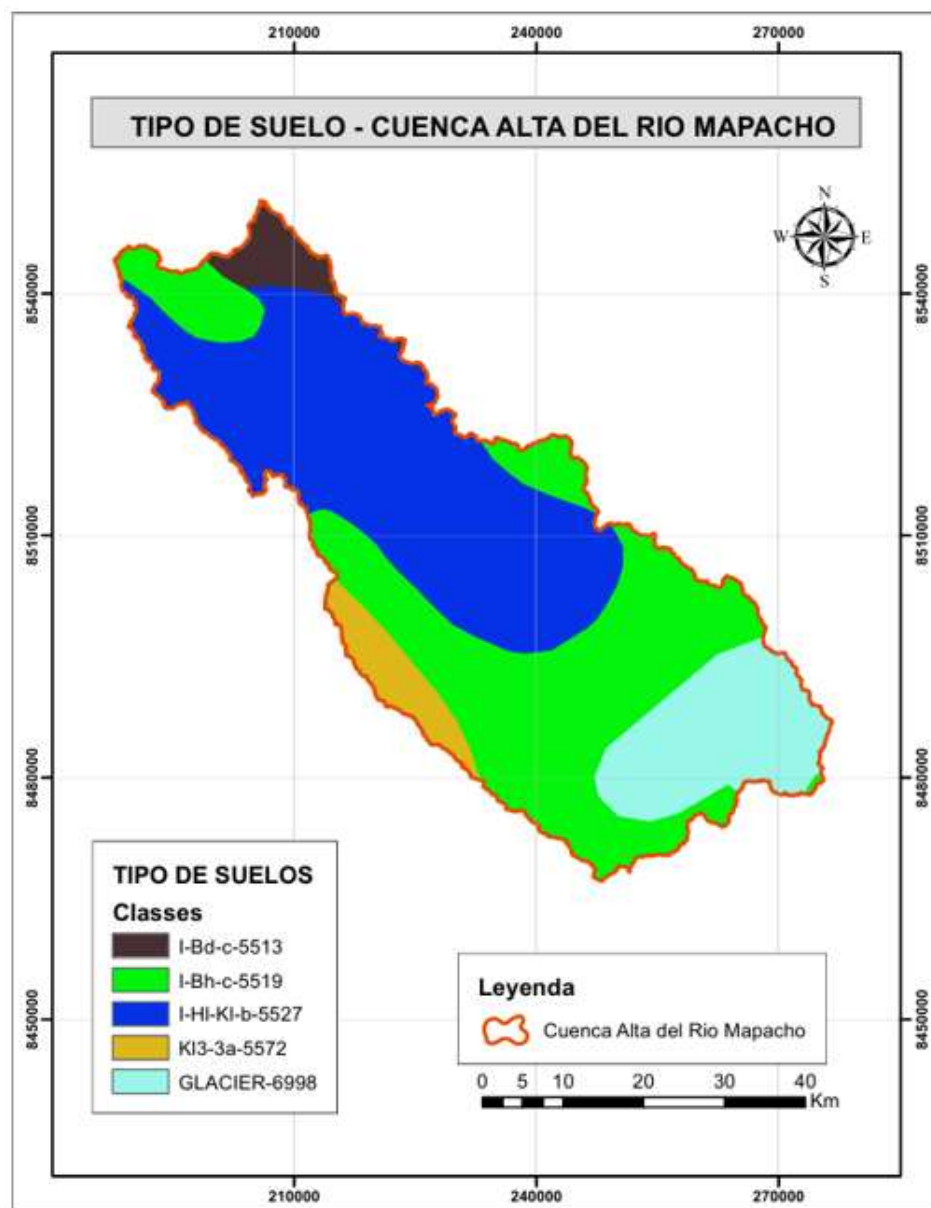
Se identificaron un total de seis categorías de cobertura y uso de la tierra. La distribución de estas categorías está influenciada por factores como la altitud, la pendiente y el clima de la cuenca. En la zona baja predominan los usos agrícolas, pajonales andinos y matorrales arbustivos; en la zona media, los matorrales y pajonales; y en la zona alta, los pajonales, nevados, lagunas y humedales, conocidos como bofedales.

#### 4.1.5.3. Tipos de suelos

La información de tipos de suelos corresponde a la clasificación de la FAO-UNESCO (1971) disponible en formato Shapefile a una escala de mapa de 1:5'000,000. De esa manera, resultaron 5 tipos de suelos predominantes cuyas simbologías corresponden a K13-3a, I-Bd-c, I-Bh-c, I-H1-kl-b y Glacier, encontrándose equivalencias taxonómicas según la base de datos del Mapa mundial visualizadas en un cuadro (Ver Tabla 48).

**Figura 81**

*Clasificación de suelos según la cuenca de estudio*



Nota. Elaboración en base a SWAT.

**Tabla 48***Tipos de suelos y atributos en la cuenca alta del río Mapacho*

<b>Clase SWAT</b>	<b>Color</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Vegetación</b>	<b>Litología</b>
I-Bd-c (94.52 km <sup>2</sup> , 3.23%)	Plomo	Litsoles (50%) y Cambisol districo (50%)	Bosque higrofitico montano, bosque seco y monte xerofitico de los valles intermontanos	Rocas elásticas algo metamorfizadas y rocas ígneas ácidas del paleozoico, con rocas elásticas y calcáreas jurásicas y cretáceas en el norte del Perú y rocas metamórficas precámbricas en Ecuador.
I-Bh-c (1103.12 km <sup>2</sup> , 37.66%)	Verde	Litsoles (50%) y Cambisol humicos (50%)	Páramo subalpino y tundra alpina	Rocas ligeramente metamorfizadas del paleozoico anterior, rocas calcáreas y elásticas permocarboníferas, rocas elásticas, cretáceas y depósitos glaciales del cuaternario.
I-H1-K1-b (1207.06 km <sup>2</sup> , 41.21%)	Azul	Litsoles (34%), Phaeozems lúvicos (33%) y Kastanozems lúvicos (33%)	Bosque montano de seco a húmedo	Rocas ígneas ácidas, rocas clásticas en parte metamorfizadas del paleozoico superior y rocas elásticas y calcáreas pérmicas y mesozoicas, capas coluviales
KI3-3a (124.50 km <sup>2</sup> , 4.25%)	Mostaza	Kastanozems lúvico (40%), Gleysoles calcáricos (20%), Kastanozems cálcicos (20%), Gleysoles éutricos (10%) y Fluvisoles (10%)	Bosque húmedo montañoso	En su mayor parte calizas y esquistos permocarboníferos
Glacier (399.68 km <sup>2</sup> , 13.65%)	Celeste	Glaciar	Ninguna	

*Nota.* Elaboración propia, en base a FAO (1971)

#### 4.1.5.4. Clasificación de pendientes

La clasificación de pendientes se elaboró a partir del modelo de elevación RASTER de resolución de pixel cada 12.5 m.

Se clasificó las pendientes en 5 rangos considerados según el estudio realizado por el SENAMHI (2016) “Asimilación y evaluación de datos de precipitación en base a satélite en el modelamiento hidrológico de la cuenca del Río Vilcanota”.

**Tabla 49**

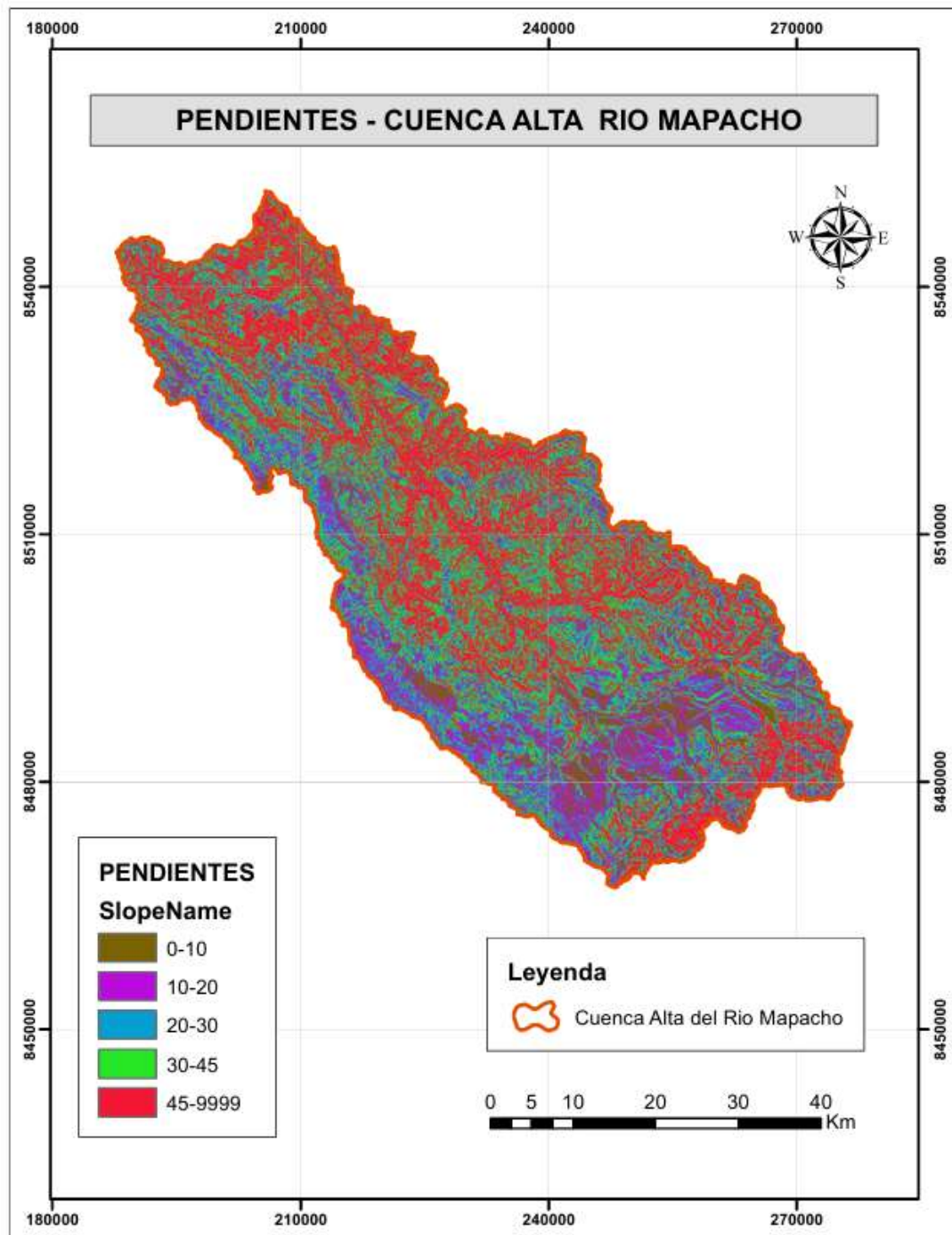
*Rangos de pendiente (%) utilizados en el modelo hidrológico SWAT*

<b>Rangos de pendientes</b>	<b>Pendiente (%)</b>
Nula a ligeramente empinada	0-10%
Moderadamente empinada	10-20%
Ligeramente escarpado	20-30%
Escarpado	30-45%
Muy escarpado	45-99%

*Nota.* Elaboración propia (2024) en base a estudio de SENAMHI (2016).

**Figura 82**

*Banda de pendientes de la cuenca del río Mapacho*



*Nota.* Elaboración propia en base a SWAT.

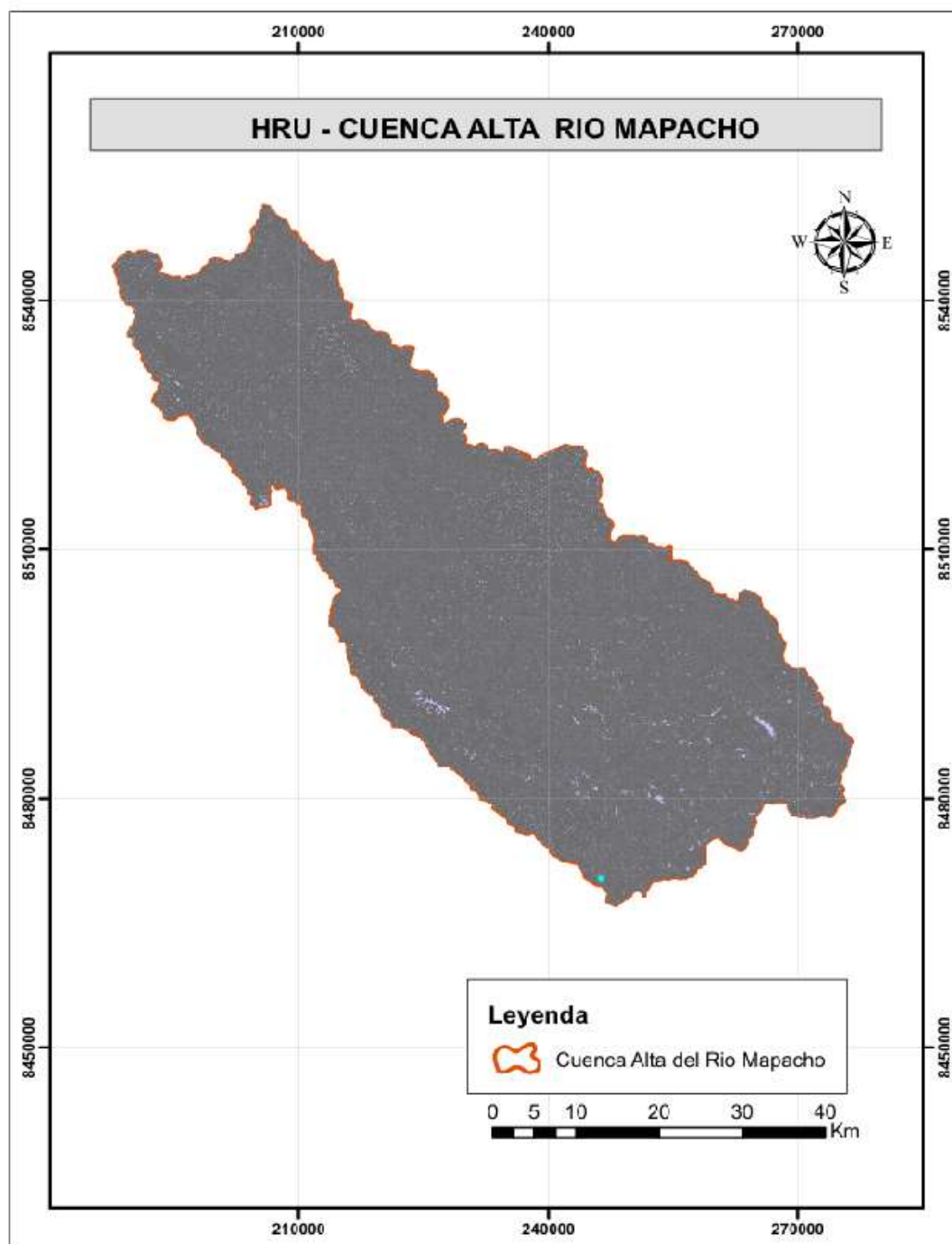
#### **4.1.5.5. Unidades de Respuesta Hídrica (HRU)**

Después de delimitar la cuenca y definir los tipos de cobertura y uso de suelo, así como rangos de pendientes, se generaron las Unidades de Respuesta Hidrológicas (HRU). El modelo

determinó la ubicación y la cantidad de los HRU, dando como resultado del proceso, un total de 1513 HRU para la cuenca alta del río Mapacho.

**Figura 83**

*HRUs en la cuenca alta del río Mapacho*



*Nota.* Elaboración propia en base a SWAT

#### 4.1.5.6. Ingreso de información climática

Al Arc-SWAT se ingresó los valores de precipitación y temperatura máxima y mínima a paso de tiempo diario.

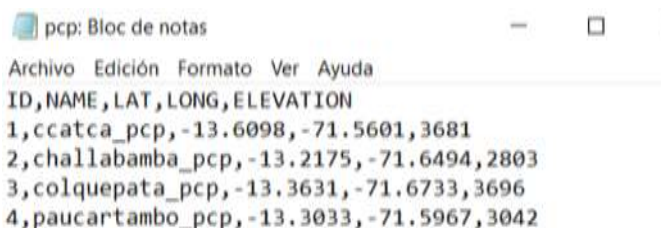
##### - **Precipitación**

La información de precipitación fueron datos diarios de dos tipos: i) datos observados y ii) datos satelitales grillados del producto PISCO. Los datos observados fueron brindados por SENAMHI para el periodo de estudio 1981-2022 y se usaron para validar los datos grillados PISCO, al realizar el escalamiento y obtener los datos.

Luego de la recopilación de la información histórica de precipitación diaria de nueve estaciones meteorológicas y posterior procesamiento. Las estaciones se seleccionaron en función a la disponibilidad de información, el gradiente altitudinal y las ecorregiones de la cuenca del río Mapacho; de manera que se llegaron a analizar 4 estaciones, ubicadas dentro de la cuenca.

#### Figura 84

*Formato de ingreso de precipitación para SWAT*



```
pcp: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
ID,NAME ,LAT ,LONG ,ELEVATION
1,ccatca_pcp, -13.6098, -71.5601, 3681
2,challabamba_pcp, -13.2175, -71.6494, 2803
3,colquepata_pcp, -13.3631, -71.6733, 3696
4,paucartambo_pcp, -13.3033, -71.5967, 3042
```

*Nota.* Elaboración propia

##### - **Temperatura**

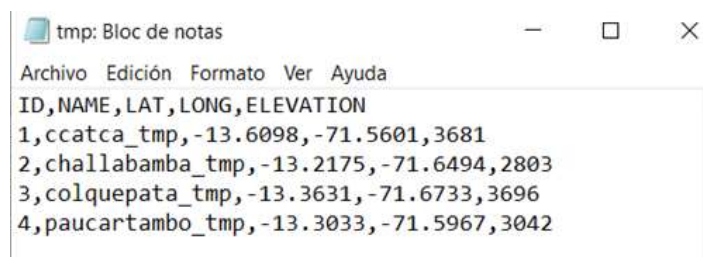
La información de temperatura máxima y mínima fueron datos diarios y de dos tipos: i) datos observados y ii) datos satelitales grillados del producto PISCO. Los datos observados fueron brindados por SENAMHI para el periodo de estudio 1981-2022 y se usaron para validar los datos grillados PISCO, al realizar el escalamiento y obtener los datos.

Se recomienda el uso de las hojas de cálculo de Excel para ordenar la información necesaria en columnas, las cuales se utilizaron en un bloc de notas, la información tendrá una extensión “.txt”, teniendo coordinadas geográficas respectivas en grados decimales. Se tiene que considerar la fecha de inicio de la data en la primera fila de cada columna “year/month/day”.

En el caso de la data de temperatura máxima y mínima se colocó ambos datos en mismo bloc de notas pero separadas por comas “Tmáx, Tmín”.

**Figura 85**

*Formato de ingreso de temperatura para SWAT*



```
tmp: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
ID,NAME,LAT, LONG,ELEVATION
1,ccatca_tmp,-13.6098,-71.5601,3681
2,challabamba_tmp,-13.2175,-71.6494,2803
3,colquepata_tmp,-13.3631,-71.6733,3696
4,paucartambo_tmp,-13.3033,-71.5967,3042
```

*Nota.* Elaboración propia

### **Preparación de la data climatológica**

La información que fue proporcionada al modelo como dato de entrada fue la precipitación, temperatura máxima y mínima de las cuatro estaciones ubicadas dentro de la cuenca de estudio. Toda la información a nivel diario, aun cuando en el modelo se simulará a nivel mensual (Torreblanca, 2020).

Se ordenó la data necesaria en columnas, las cuales serán llevadas a un bloc de notas con extensiones “txt”, teniendo en cuenta que cada bloc de notas contendrá nomenclatura de las estaciones meteorológicas. También se debe considerar la fecha de inicio de la data en la primera fila de cada columna “year/month/day”. Se debe eliminar cualquier espacio en blanco al final o al inicio de cada columna.

En el caso de la data de temperatura máxima y mínima se colocaron de forma adyacente, separadas por comas: “Tmáx, Tmín”.

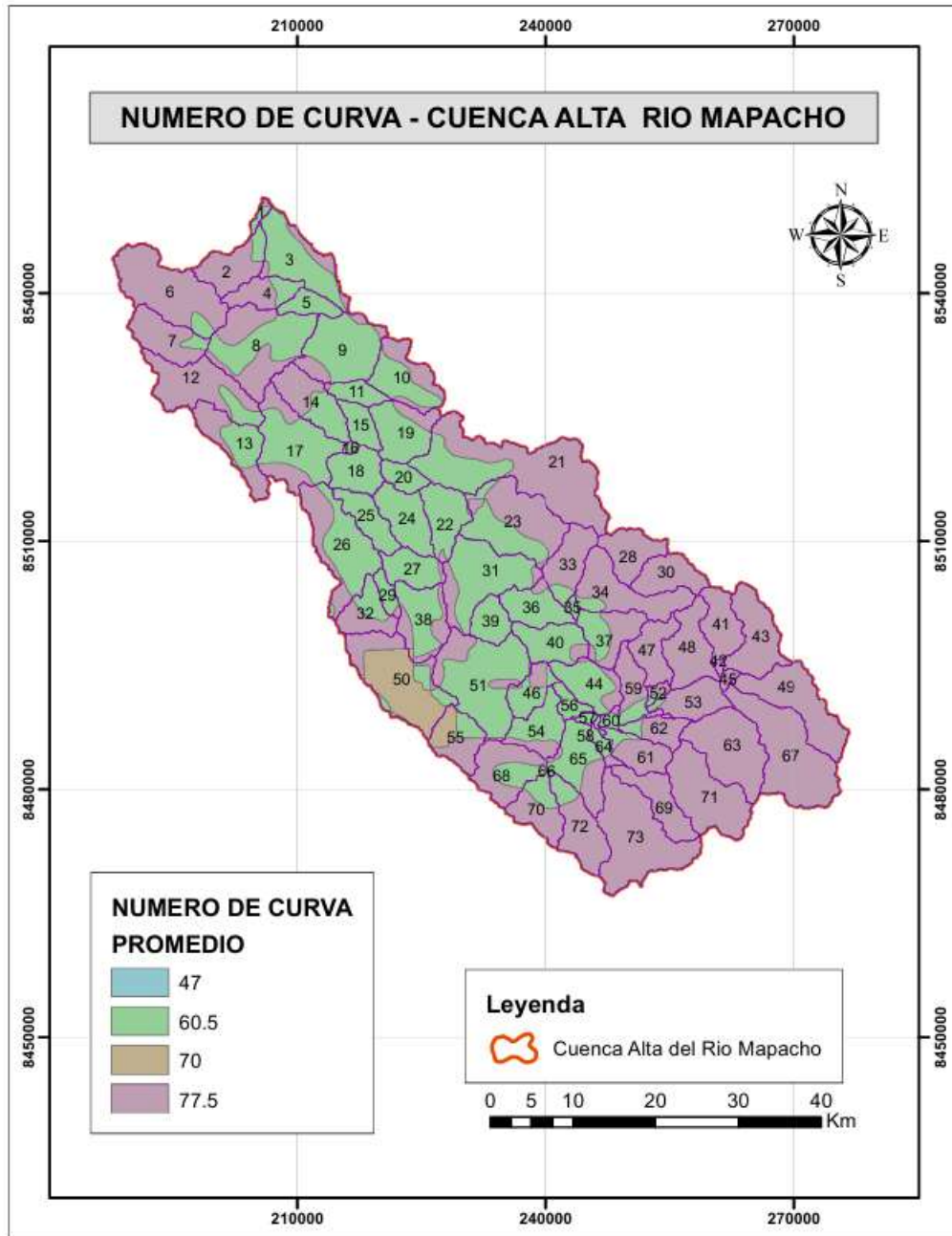
Este proceso se realizó para la precipitación y temperaturas máximas y mínimas de toda la data ya analizada y corregida en la parte de procesamiento de datos de este estudio.

#### **4.1.5.7 Generación del Número de Curva**

Para la caracterización de la cuenca y obtener así información más real, se consideró valores de Número de Curva para condiciones normales. A continuación, se muestra el mapa de número de curva considerados para la cuenca:

**Figura 86**

*Número de curva para cada subcuena del modelo hidrológico SWAT*



*Nota.* Elaboración en base al modelo SWAT (2024).

#### **4.1.5.8. Simulación inicial del modelo SWAT**

##### **Métodos de cálculo a utilizarse**

Los métodos utilizados para calcular los diferentes componentes del ciclo hidrológico fueron los siguientes:

- **Método de Evapotranspiración Potencial (ETP):** Se optó por el método de Penman-Monteith en lugar de otros métodos, ya que el modelo produjo valores de evapotranspiración cercanos a los establecidos en la literatura.
- **Método de Infiltración-Escorrentía:** La cantidad de escorrentía aproximada se estimó mediante la metodología del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) que es muy utilizado para la modelación hidrológica de cuencas hidrográficas, según el uso de suelo y grupo hidrológico del suelo.

Una vez ingresados todos los parámetros cartográficos e hidro-climáticos que el modelo SWAT requiere, se procedió a la primera simulación de los procesos hidrológicos en la cuenca del río Mapacho para el periodo 2003-2015.

### Periodos de referencia

El modelo hidrológico semi distribuido SWAT se divide en tres periodos. El primero es el periodo de calentamiento, en el cual se ingresan valores iniciales necesarios para optimizar el número de iteraciones del modelo. El segundo periodo corresponde a la calibración, donde se ajustan los valores observados y simulados de acuerdo con el criterio de sensibilidad NSE. El tercer periodo corresponde a la validación, que consiste en comparar el caudal observado con el caudal simulado y evaluar su eficiencia utilizando los criterios estadísticos.

**Tabla 50**

*Periodos de simulación en el SWAT*

Periodo	Tiempo
Calentamiento	1999-2002
Calibración	2003-2015
Validación	2016-2022

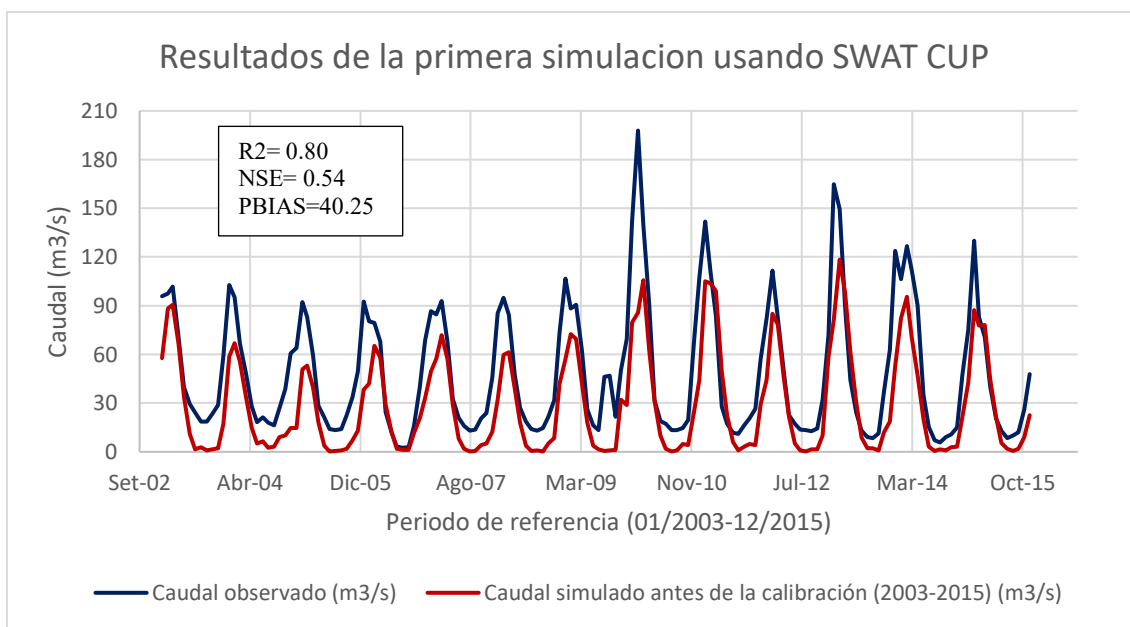
*Nota.* Elaboración propia

Otro aspecto importante es la frecuencia de modelamiento a considerar, si bien el programa SWAT requiere de datos diarios para su aplicación, los resultados se pueden agregar a otras escalas de tiempo como a nivel mensual o anual en función del objeto de estudio y la información disponible para su uso en la etapa de calibración y validación. En el caso de la

presente tesis, los datos se simularon a una frecuencia mensual, tal y como se muestra a continuación:

**Figura 87**

*Representación gráfica de los caudales observados y simulados- Simulación inicial*



*Nota.* Comparación de hidrogramas de la descarga media diaria entre el caudal observado y el caudal simulado del modelo inicial del SWAT en el periodo de calibración.

La Figura 87 evidencia que, en su configuración predeterminada, el modelo SWAT (descarga simulada) reproduce de forma aceptable los patrones de los caudales observados. Su rendimiento a escala mensual resulta satisfactorio ( $NSE = 0.54$ ), pero se muestra una tendencia a subestimar los picos de caudal en periodos de lluvia y los caudales bajos en periodo de estiaje. Asimismo, el índice PBIAS (40.25%) indica una subestimación general de las descargas por parte del modelo. Debido a este desempeño inicial limitado, fue necesario calibrar el modelo para mejorar la estimación de los parámetros y optimizar su capacidad predictiva. Para ello, se incluyeron en el análisis de sensibilidad los parámetros que afectan el flujo superficial (escorrentía directa), el flujo base (agua subterránea) y la evapotranspiración.

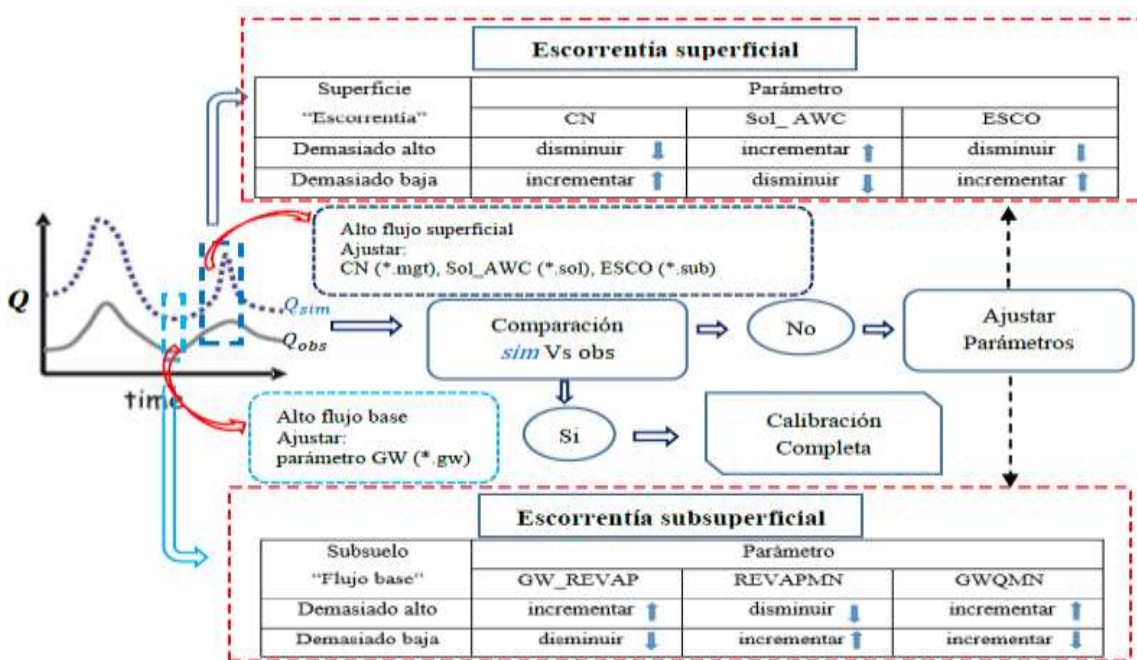
#### **4.1.6. Calibración y validación con SWAT-CUP**

En la fase de calibración y validación del modelo SWAT se utilizó el programa SWAT-CUP, que también realiza el análisis de sensibilidad e incertidumbre del modelo SWAT.

Para evaluar los resultados de la simulación del modelo SWAT, tanto en la fase de calibración como en la de validación, se emplearon indicadores estadísticos y análisis gráficos con el fin de comparar los caudales simulados con los observados.

**Figura 88**

*Proceso de calibración en SWAT*



*Nota.* Esquema tomado de Moreno (2022)

#### 4.1.6.1. Calibración del modelo SWAT

La calibración se realizó a escala mensual y de manera escalonada, considerando grupos de parámetros más sensibles del modelo. Este modelo posibilita establecer los parámetros y los rangos de las variables que se consideran relevantes para evaluar su sensibilidad mediante los coeficientes t-stat y p-valor, los cuales están estrechamente vinculados.

Para empezar este proceso se seleccionaron 22 parámetros siguiendo el protocolo de calibración propuesto por Abbaspour et al. (2015) y Arnold et al. (2012). De esa manera, se comenzó evaluando los parámetros con su respectivo rango de incertidumbre considerando una combinación de parámetros.

Los parámetros están vinculados al flujo base, las unidades de respuesta hidrológica y la rugosidad del terreno. Dentro de este conjunto, se modificó el parámetro CN2 (número de curva en condiciones normales), el cual está directamente relacionado con la generación de escorrentía superficial. Los demás parámetros influyen sobre el comportamiento del agua subterránea

(GW\_DELAY, RCHRG\_DP, GWQMN, ALPHA\_BF), sin modificar las pérdidas hídricas del sistema. En particular, el parámetro RCHRG\_DP representa la fracción de agua que se infiltra hacia el acuífero profundo con respecto a la recarga total, proporcionando una estimación de la recarga a los acuíferos profundos en las cuencas andinas del Perú, que son fundamentales para mantener el caudal base durante la estación seca (Fernandez-Palomino et al., 2021).

**Tabla 51**

*Tabla de parámetros seleccionados y evaluados en el análisis de sensibilidad.*

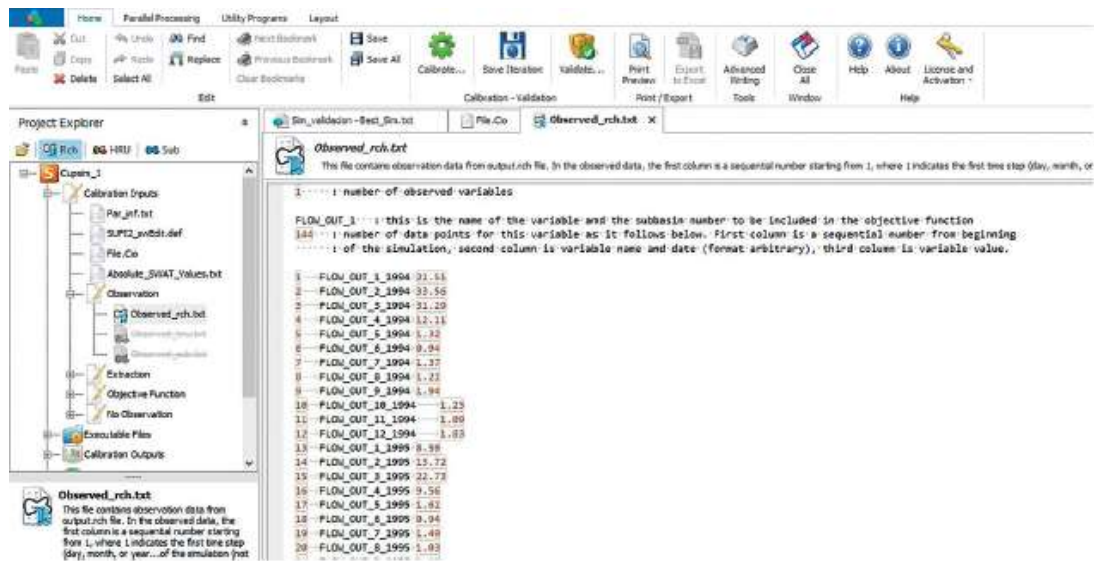
Nº	Parámetros	Descripción	Valores	
1	v__ALPHA_BF.gw	Constante de disminución del flujo normal	0.01	1
2	v__GW_DELAY.gw	Tiempo de demora para recarga de acuífero	0.01	500
3	v__GW_REVAP.gw	Coefficiente de revapotranspiración	0.02	0.2
4	v__GWQMN.gw	Nivel del umbral del acuífero poco profundo para un flujo normal	0.01	5000
5	v__REVAPMN.gw	Nivel del umbral freático en acuífero poco profundo para la revapotranspiración	0.01	500
6	v__ESCO.hru	Coefficiente de compensación de evaporación del suelo	0.01	1
7	v__EPCO.hru	Factor de compensación de la recepción de la planta	0.01	1
8	v__CANMX.hru	Máximo almacenamiento de canopeo	0.01	100
9	v__TIMP.bsn	Factor de retraso de temperatura de la nieve	0.01	1
10	v__SMFMX.bsn	Factor de fusión el 21 de junio	0.01	10
11	v__SFTMP.bsn	Temperatura umbral para el derretimiento de la nieve	0.01	5
12	v__SURLAG.bsn	Coefficiente de retraso de escorrentía superficial	1	24
13	v__CH_K2.rte	Conductividad hidráulica efectiva del canal	0.01	250
14	v__CH_N2.rte	valor "n" de Manning para el canal principal	-0.01	0.3
15	r__CN2.mgt	Numero de curva	-0.3	0.3
16	v__TLAPS.sub	Lapso de temperatura	-10	10
17	v__RCHRG_DP.gw	Coefficiente de percolación del acuífero	0.01	1
18	v__GW_SPYLD.gw	Rendimiento específico del acuífero poco profundo	0.01	0.4
19	v__DEEPST.gw	Profundidad inicial del agua en el acuífero profundo	0.01	5000
20	r__SOL_AWC(1).sol	Capacidad de agua disponible de la capa del suelo	0.01	1
21	r__SOL_K(1).sol	Conductividad hidráulica saturada	0.01	2000
22	r__SOL_BD(1).sol	Densidad aparente húmeda	0.9	2.5

Nota. Elaboración propia en base a Guía SWAT.

Para emplear el SWAT-CUP, fue necesario ajustar los datos de caudales medios mensuales observados para que pudieran ser leídos en el formato del programa. Esto se realizó específicamente en la opción *Observation* y en el archivo *Observed\_rch.txt*, así como en la opción *Objective Function* y el archivo *Observed.txt*.

Figura 89

*Datos de caudales medios mensuales observados subidos al SWAT-CUP*



Nota. La calibración del modelo SWAT se realiza con caudales medios mensuales aforados en la estación de Chacllabamba.

Se insertó los datos de caudales medios mensuales que tiene el formato de entrada de datos en Excel de caudales desde el año 2003 al 2015 (ver Anexo K).

#### 4.1.6.2. Etapas de calibración

Se realizó cuatro etapas de iteraciones de 100, 200, 500 y 750 simulaciones utilizando el indicador de Nash Sutcliffe (NSE), que es el estadístico más comúnmente utilizado en la modelación hidrológica como función objetivo, ya que mejora el ajuste entre las simulaciones y las observaciones. Los resultados de las iteraciones se muestran a continuación:

En la última fase de la calibración se realizaron 750 simulaciones, dando valores satisfactorios en cuanto a los indicadores.

**Tabla 52***Valores resultantes del rendimiento de la calibración*

<b>Criterio estadístico</b>	<b>Valor resultante</b>	<b>Rango de valores</b>	<b>Rendimiento del modelo</b>
Nash- Sutcliffe Efficiency	NS= 0.75	$0.65 < NSE \leq 0.75$	Bueno
Coefficiente de determinación	R2= 0.86	$R2 \geq 0.5$	Satisfactorio
Porcentaje de sesgo	PBIAS= 26.23	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	Malo

*Nota.* Elaboración propia en base a SWAT CUP

Según los resultados de la Tabla 52, en la etapa de calibración se obtuvo un valor de NSE de 0.75 con un rendimiento bueno, un R2 de 0.86 con un rendimiento satisfactorio y un PBIAS de 26.23%, el que se clasifica como un indicador malo.

De esta manera, se elige la simulación que más se acerca al caudal observado, es decir, la que obtiene mejores resultados en esos estimadores.

A continuación, se muestran los valores de p-factor y r-factor, que evalúan la incertidumbre del modelo:

#### **4.1.6.3. Análisis de sensibilidad**

El p-Value proporciona información sobre la relevancia de la sensibilidad del parámetro, mientras que el t-Stat mide el grado de esa sensibilidad. Por lo tanto, los parámetros más sensibles serán aquellos con un p-Value bajo y un valor absoluto de t-Stat alto.

El análisis de sensibilidad se realizó en el programa SWAT-CUP mediante el método denominado "Global Sensitivity Analysis", que tiene la ventaja de identificar correlaciones entre múltiples parámetros.

La sensibilidad de los parámetros seleccionados se analizó estadísticamente utilizando los valores de t-Stat y P-Value, calculados por el programa SWAT-CUP para cada parámetro. Los parámetros más sensibles son aquellos que presentan un valor elevado en el estadístico t-Stat, generalmente superior a 2, y un P-Value menor a 0.05.

Tras realizar la calibración e iteración de 750 simulaciones, se eliminaron los parámetros no sensibles con el fin de reducir la incertidumbre del modelo, y se continuó con el proceso de

calibración. Una vez obtenida la simulación más precisa, se extrajeron los valores de los parámetros correspondientes y se utilizó esta información para llevar a cabo la validación del modelo en SWAT-CUP.

Tras varias iteraciones, se logró ajustar los parámetros, seleccionándose los parámetros más sensibles, los cuales son aquellos cuya variación afecta a los valores de caudal simulado y cuyo  $p\text{-value} < 0.05$ . Se procedió a la eliminación de parámetros cuyo  $p\text{-value} \geq 0.05$ , (Tabla 53).

**Tabla 53**

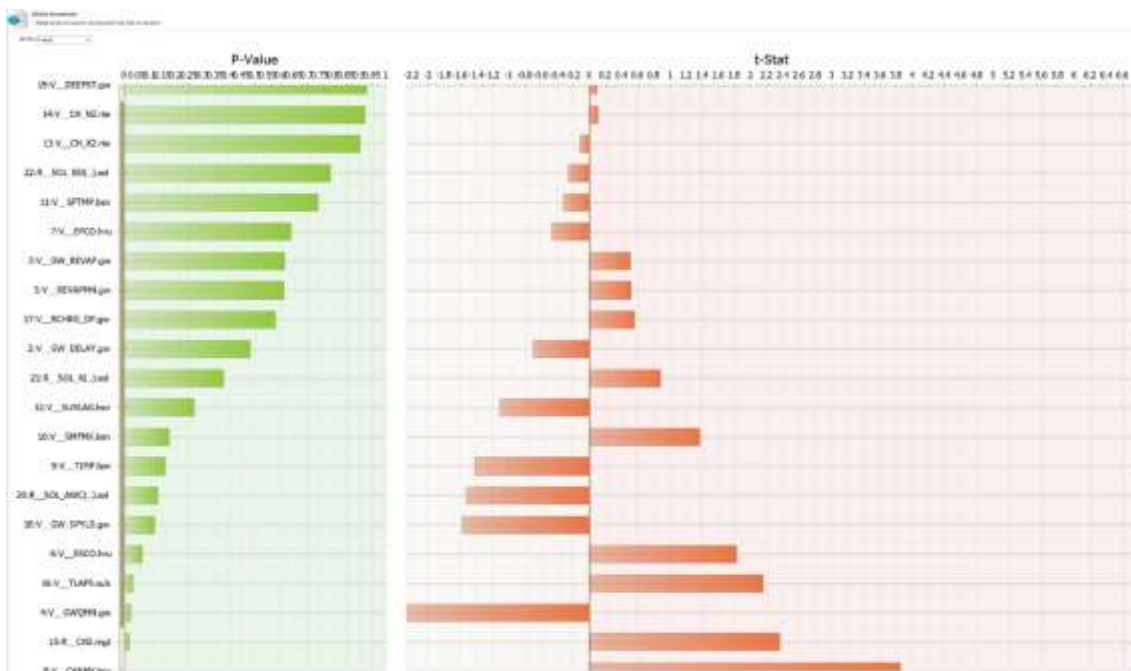
*Análisis de sensibilidad de los parámetros seleccionados*

Parámetro	Sensibilidad	
	t-Stat	P-Value
19:V__DEEPST.gw	0.09	0.93
14:V__CH_N2.rte	0.10	0.92
13:V__CH_K2.rte	-0.12	0.90
22:R__SOL_BD(..).sol	-0.27	0.79
11:V__SFTMP.bsn	-0.33	0.74
7:V__EPCO.hru	-0.47	0.64
3:V__GW_REVAP.gw	0.51	0.61
5:V__REVAPMN.gw	0.51	0.61
17:V__RCHRG_DP.gw	0.56	0.58
2:V__GW_DELAY.gw	-0.70	0.48
21:R__SOL_K(..).sol	0.88	0.38
12:V__SURLAG.bsn	-1.11	0.27
10:V__SMFMX.bsn	1.37	0.17
9:V__TIMP.bsn	-1.42	0.16
20:R__SOL_AWC(..).sol	-1.52	0.13
18:V__GW_SPYLD.gw	-1.58	0.12
6:V__ESCO.hru	1.82	0.07
16:V__TLAPS.sub	2.14	0.03
4:V__GWQMN.gw	-2.27	0.02
15:R__CN2.mgt	2.35	0.02
8:V__CANMX.hru	3.85	0.00
1:V__ALPHA_BF.gw	6.78	0.00

*Nota.* Elaboración en base a SWAT-CUP (2024)

**Figura 90**

*Resultados de la incertidumbre de los parámetros calibrados para la cuenca Mapacho*



*Nota.* Elaboración en base a SWAT.

Se obtuvo los parámetros más sensibles que se emplearon en la calibración con rangos ajustados. Se procedió a ajustar los parámetros que influyen en el flujo base y flujo superficial, para encontrar una relación próxima entre caudal simulado y observado, los cuales luego de 100 iteraciones mostraron los siguientes valores resultantes:

**Tabla 54**

*Parámetros sensibles obtenidos con SWAT-CUP*

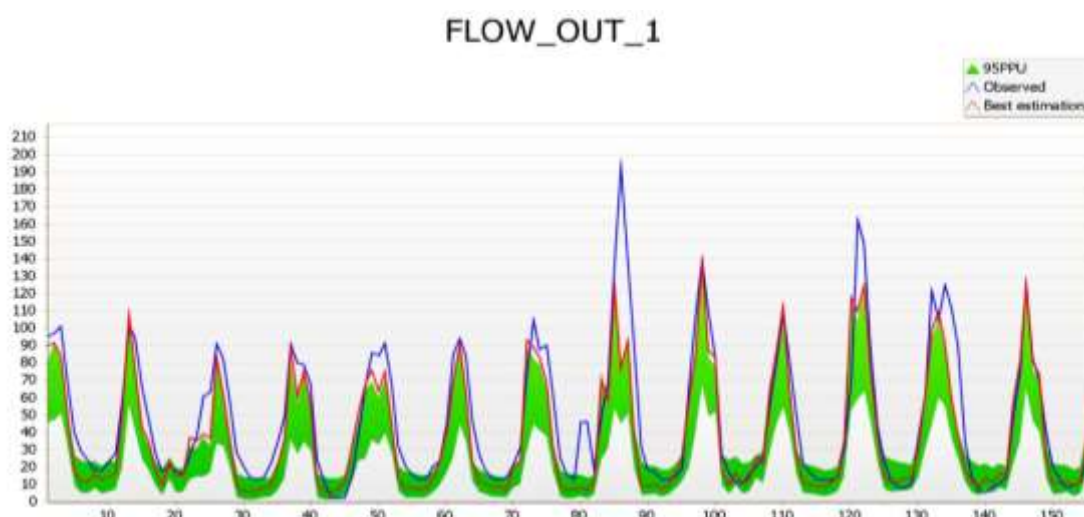
N°	Parámetros	Valores		
		Mínimo valor	Máximo valor	Valor óptimo
1	V__ALPHA_BF.gw	0.01	0.105	0.090275
2	V__GWQMN.gw	0.01	61	33.859451
3	V__CANMX.hru	0.01	1.00	0.272350
4	V__CH_K2.rte	0.01	150	8.259450
5	v__TLAPS.sub	-4.5	-3.8	-3.922500
6	v__RCHRG_DP.gw	0.90	1.00	0.900500

*Nota.* Elaboración en base a SWAT-CUP (2024)

Para aplicar los criterios estadísticos, se comparó la mejor simulación realizada con el programa SWAT-CUP con los caudales observados. Este proceso se lleva a cabo de manera iterativa, ajustando los valores mínimos y máximos de los parámetros hasta obtener resultados que cumplan con los criterios estadísticos aceptables.

**Figura 91**

*Hidrograma de simulación final con SWAT-CUP*



Nota. En base a SWAT CUP

En la siguiente tabla se muestran los indicadores de bondad de ajuste en la última etapa de calibración considerando los parámetros más sensibles:

**Tabla 55**

*Valores de bondad de ajuste del modelo SWAT- Cuenca alta del río Mapacho*

<b>Criterio estadístico</b>	<b>Valor resultante</b>	<b>Rango de valores</b>	<b>Rendimiento del modelo</b>
Nash- Sutcliffe Efficiency	NS= 0.84	$0.75 < NSE \leq 1.00$	Excelente
Coefficiente de determinación	R2= 0.86	$R2 \geq 0.5$	Satisfactorio
Porcentaje de sesgo	PBIAS= 8.14	$PBIAS < \pm 10$	Excelente

Nota. Elaboración propia en base a SWAT CUP

#### 4.1.6.4. Validación en SWAT- CUP

Durante la fase de validación, entre los años 2016 y 2022 se utilizaron las salidas de la simulación del SWAT-CUP (ver *Anexo L*), y se logró obtener el hidrograma de los caudales observados y simulados en ese período (Figura 92). Además, se calcularon los estadísticos correspondientes a esta etapa.

Los resultados de los indicadores de bondad de ajuste en las etapas de calibración y validación del modelo en el SWAT-CUP son satisfactorios, y se muestran a continuación:

**Tabla 56**

*Resumen de indicadores de bondad de ajuste del modelo SWAT- Cuenca alta del río Mapacho*

Etapa	Periodo	Indicador	Valor resultante	Rendimiento
<b>Calibración</b>	2003-2015	R2	0.86	Satisfactorio
		NSE	0.84	Excelente
		PBIAS	8.14	Excelente
<b>Validación</b>	2016-2022	R2	0.82	Satisfactorio
		NSE	0.71	Bueno
		PBIAS	4.22	Excelente

*Nota.* Elaboración propia en base a SWAT CUP.

**Tabla 57**

*Resultados de caudales simulados obtenidos de SWAT (2003-2022)*

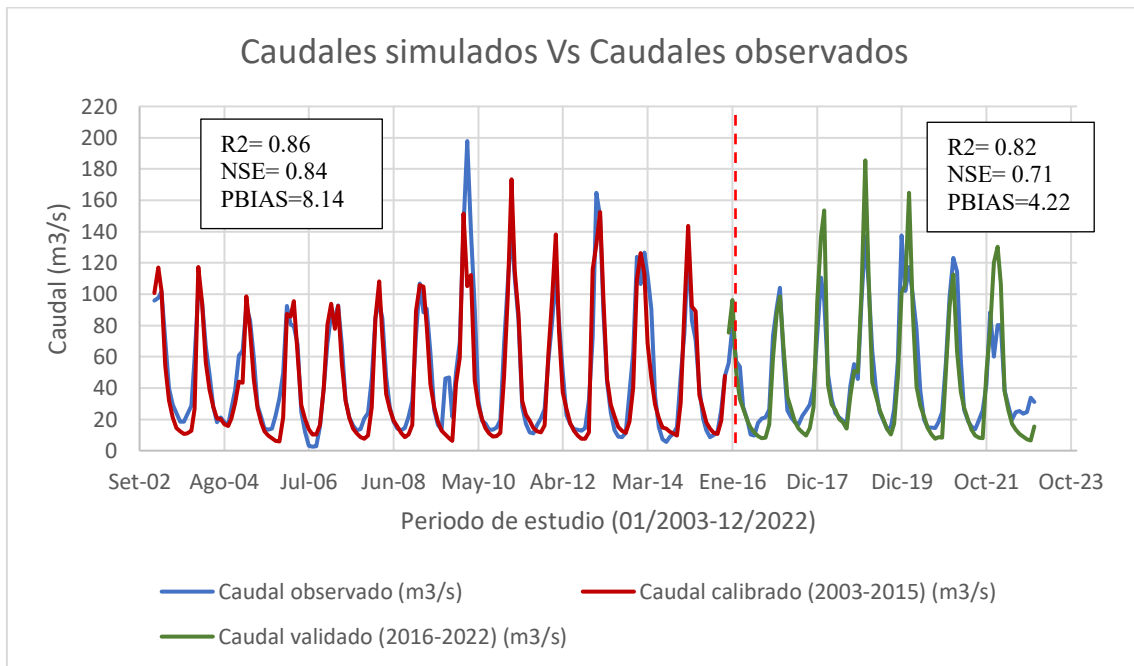
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>2003</b>	100.8	117.1	102.0	54.2	32.2	21.2	14.4	12.2	10.8	11.2	12.6	26.7
<b>2004</b>	117.4	94.4	56.4	39.0	28.1	20.5	20.4	16.7	15.9	20.6	30.6	44.2
<b>2005</b>	43.5	98.5	76.6	45.5	27.0	17.9	12.5	9.5	7.8	6.2	5.9	21.1
<b>2006</b>	87.4	85.6	95.6	61.8	29.1	20.1	13.6	10.2	10.4	16.4	39.8	80.6
<b>2007</b>	93.8	77.8	92.4	55.5	31.7	20.8	14.0	11.0	8.7	7.6	9.7	27.7
<b>2008</b>	85.0	108.3	72.7	36.1	26.4	19.4	15.5	11.5	8.8	10.2	16.5	89.5
<b>2009</b>	105.9	104.6	80.0	42.5	28.0	18.4	12.8	10.2	7.9	6.4	43.0	59.3
<b>2010</b>	151.5	105.2	112.3	44.8	28.9	19.7	14.4	11.1	9.1	9.2	11.3	47.6
<b>2011</b>	99.2	173.4	115.0	87.2	31.9	23.0	19.2	14.4	12.3	11.7	16.1	61.5
<b>2012</b>	96.8	138.2	76.0	37.2	26.8	17.5	12.6	9.6	7.7	7.7	11.8	115.8
<b>2013</b>	131.8	152.6	98.5	45.6	29.5	21.8	15.0	12.6	11.5	18.4	40.4	109.2
<b>2014</b>	126.4	112.8	68.5	46.6	29.4	21.0	14.6	14.1	12.1	11.2	9.6	30.4
<b>2015</b>	89.7	143.5	92.1	89.2	35.5	26.5	18.0	13.9	11.5	10.6	19.2	47.7
<b>2016</b>	75.4	96.4	50.1	32.8	27.0	19.2	14.6	11.6	9.2	8.0	8.4	16.8
<b>2017</b>	59.2	87.8	98.5	64.6	34.5	26.8	18.4	13.9	11.7	9.8	14.4	27.7
<b>2018</b>	95.5	136.7	153.5	41.9	29.4	25.9	20.3	18.1	14.2	34.9	51.0	50.1
<b>2019</b>	102.4	185.5	114.3	43.6	34.8	26.1	20.0	13.6	10.3	17.1	46.8	101.1

<b>2020</b>	106.1	164.7	88.8	41.2	28.6	21.9	14.4	10.5	7.4	8.5	8.3	50.1
<b>2021</b>	92.5	112.5	63.1	37.5	27.9	19.3	13.6	9.8	8.3	7.9	50.3	77.7
<b>2022</b>	120.2	130.4	106.3	38.1	26.0	17.2	13.2	10.8	9.0	7.3	6.5	15.6

Nota. Elaboración propia en base a SWAT (2024)

**Figura 92**

*Hidrograma de los caudales simulados con SWAT-CUP (2003-2022)*



Nota. Elaboración propia en base a SWAT CUP

En la Figura 92 se observan los caudales observados y simulados, se observa que el modelo logró reproducir adecuadamente los caudales observados durante el periodo de calibración (2003-2015) y validación (2016-2022), lo que se demuestra con los criterios estadísticos validados. Se evidencia un buen comportamiento para los meses húmedos donde los datos se ajustan; sin embargo, en el período de secas es donde el modelo simula una ligera subestimación de datos en la mayoría de meses.

#### **4.1.7. Selección del modelo climático global en la cuenca**

Para evaluar el comportamiento futuro de los patrones de precipitación y temperatura en la cuenca alta del río Mapacho se realizó un análisis a partir de los Modelos Climáticos Globales (MCG). Sin embargo, estos modelos no permiten modelar el comportamiento de patrones locales de las variables climáticas, por lo que usualmente se emplean métodos de regionalización

dinámica que permiten mejorar la resolución espacial, dando como resultado a los modelos climáticos regionales (RCM). Cabe resaltar que los RCM en la actualidad solo están presentes en ciertas partes del globo por lo que la información de los RCM es limitada. Es así que el Proyecto Analysis & Mapping of Impact under Climate Change of Adaptation & Food Security (AMCAF) en Perú, ofrece proyecciones climáticas futuras con datos para la variable de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínimas respectivamente (SENAMHI, 2016).

De esta forma, se identificó que modelos son los más adecuados para el análisis de la cuenca, permitiendo realizar la modelización hidrológica en SWAT para evaluar su impacto sobre la escorrentía superficial y el caudal en el punto de aforo de la cuenca de estudio.

#### **4.1.7.1. Procedimiento de obtención de datos climáticos del CMIP6**

En el presente estudio se consideró 3 modelos de circulación general que forman parte del Sexto Informe experimental del IPCC (CMIP6). Se seleccionaron los escenarios con Trayectorias Socioeconómicamente Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 con una proyección de referencia desde el 2023 hasta el 2099.

Los procesos de extracción y síntesis de la data de los GCM fueron extraídos mediante el software RStudio Versión 4.3. Asimismo, para la reducción de escala estadística se utilizó el portal CMhyd y Microsoft Excel para la obtención de la data siguiendo los puntos en donde se ubican las estaciones del SENAMHI utilizadas. El modelo de circulación general (MCG) que más se acerca al modelo se somete a una reducción de escala estadística.

##### **4.1.7.1.1. Extracción de información climática desde portal de COPERNICUS**

Se seleccionaron tres modelos climáticos globales (CanESM5, CNRM-CM6-1 y MPI-ESM1-LR) y dos escenarios SSP (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) para el periodo de tiempo entre el 2016 al 2099. A continuación, se muestran las características de los modelos climáticos seleccionados que se utilizó como proyecciones climáticas:

**Tabla 58**

*Modelos climáticos globales representativos para Perú*

<b>Modelo climático global (CMIP6)</b>	<b>País</b>	<b>Resolución espacial (Lat x Long)</b>	<b>Centro de análisis y modelamiento</b>
CanESM5	Canadá	2.8°x2.8	The Canadian Earth System Model
CNRM-CM6-1	Francia	1.4°x 1.4°	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)
MPI-ESM1-2-1R	Alemania	1.8°x 1.8°	Max Planck Institute Earth System Model

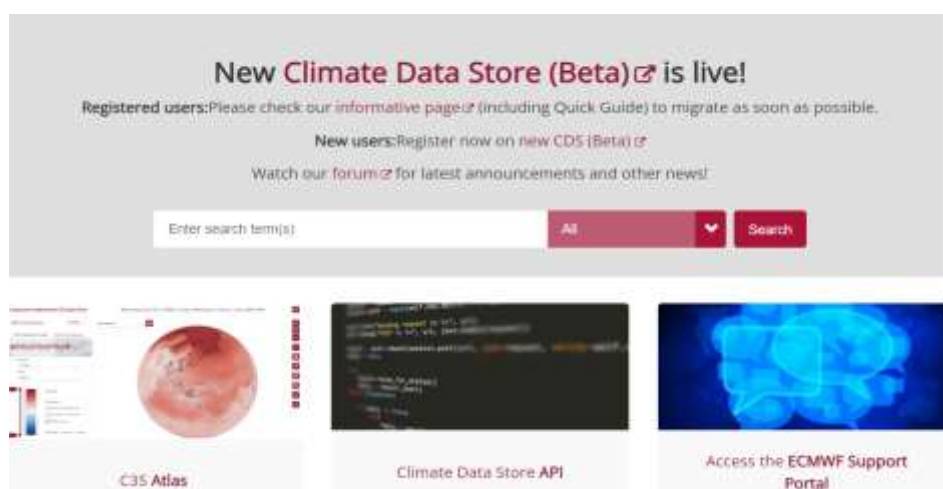
*Nota.* Elaboración propia en base a SENAMHI, 2014.

#### 4.1.7.1.2. Descarga de datos de MCGs

En la descarga de la data de la climatología de los modelos de circulación general se utilizó el portal de Copernicus. Para la investigación se requirió de información futura de las variables de precipitación, temperaturas mínimas y temperaturas máximas en resolución temporal diaria. Es así que se ingresó al portal de Copernicus, donde se extrajo información de cada variable desde: <https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>.

**Figura 93**

*Interface de Cds.Copernicus*

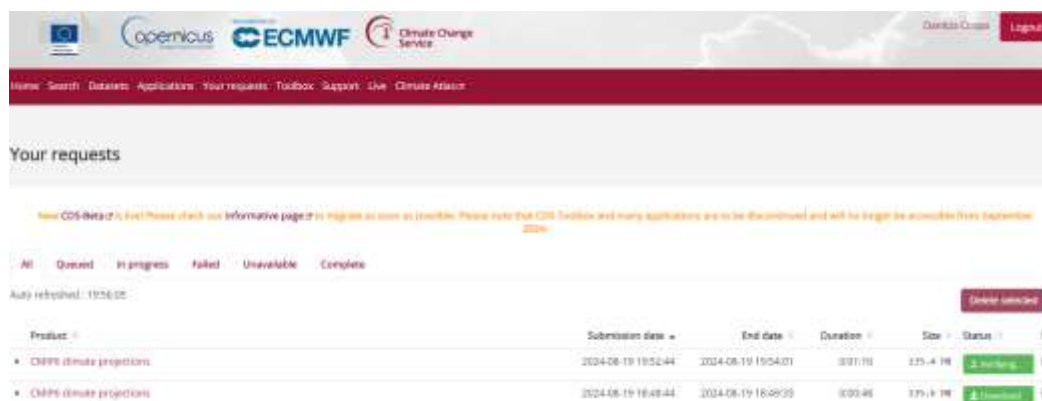


*Nota.* La figura muestra la interface Copernicus, según Akhtar & Chatterjee, 2020

Para obtener la información climática de cada estación se ubicó las coordenadas utilizando el rango de latitudes y longitudes de las 4 estaciones y luego de ello, se procede a la descarga de datos desde el servidor. Se extrajo información desde los rangos de 13° hasta los 14° grados de latitud. Teniendo en cuenta estas consideraciones se procede a extraer la información correspondiente para el rango de estas latitudes y longitudes.

**Figura 94**

*Interfaz de descarga de datos*



*Nota.* En la figura se muestra la página web de Copernicus.

De esa manera, se obtuvo la información de los datos climáticos en formato netCDF, los cuales se muestran, a continuación:

**Figura 95**

*Datos climáticos descargados*

CanESM5 > CanESM5 > SSP2-45 > PCP > Ccatca\_pp\_CanESM5\_4.5

Nombre	Fecha de modifi
adaptor.esgf_wps.retrieve-1724204612.1...	20/08/2024 09:5
adaptor.esgf_wps.retrieve-1724204612.1...	21/08/2024 01:4
adaptor.esgf_wps.retrieve-1724204612.1...	21/08/2024 01:4
pr_day_CanESM5_ssp245_r1i1p1f1_gn_20...	21/08/2024 01:4

*Nota.* Elaboración propia en base a los MCG descargados.

#### **4.1.7.2. Reducción de escala de los Modelos Climáticos Globales (MCG)**

Los Modelos Climáticos Globales (MCG) del CMIP6 presentan sesgos en sus variables debido a la resolución espacial de las celdas de cuadrícula, lo que impide utilizar directamente los datos climáticos simulados como entradas para el modelo hidrológico.

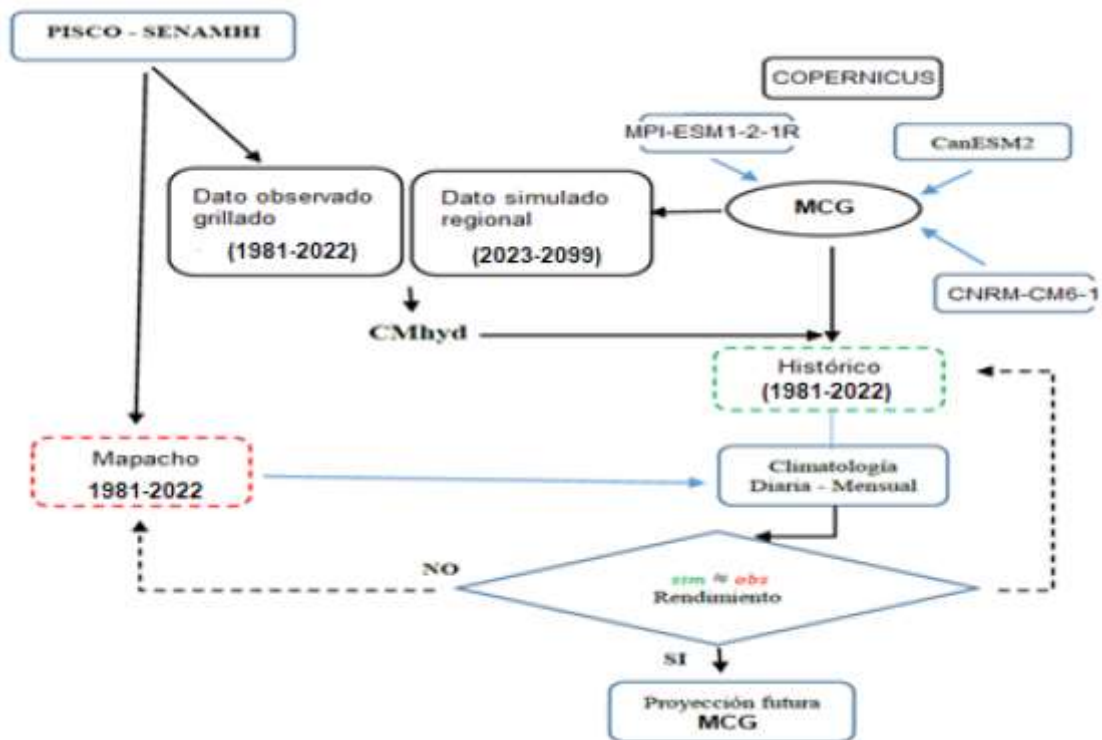
Para reducir la discrepancia entre los cambios climáticos observados y modelados, se emplearon técnicas de corrección de sesgo mediante "downscaling", con el fin de ajustar las simulaciones hidrológicas basadas en datos climáticos corregidos para que coincidan con las simulaciones derivadas de observaciones climáticas.

#### 4.1.7.2.1. Corrección de sesgos mediante el software CMhyd

Este proceso se llevó a cabo utilizando la herramienta CMhyd, la cual necesita combinar datos climáticos observados y simulados para cada punto de medición en un modelo de cuenca, con el objetivo de realizar la corrección de sesgo y la reducción de escala de los datos (tanto históricos como proyectados), a fin de utilizarlos en la modelización hidrológica.

Figura 96

Diagrama de procesamiento de datos para la proyección futura con CMhyd



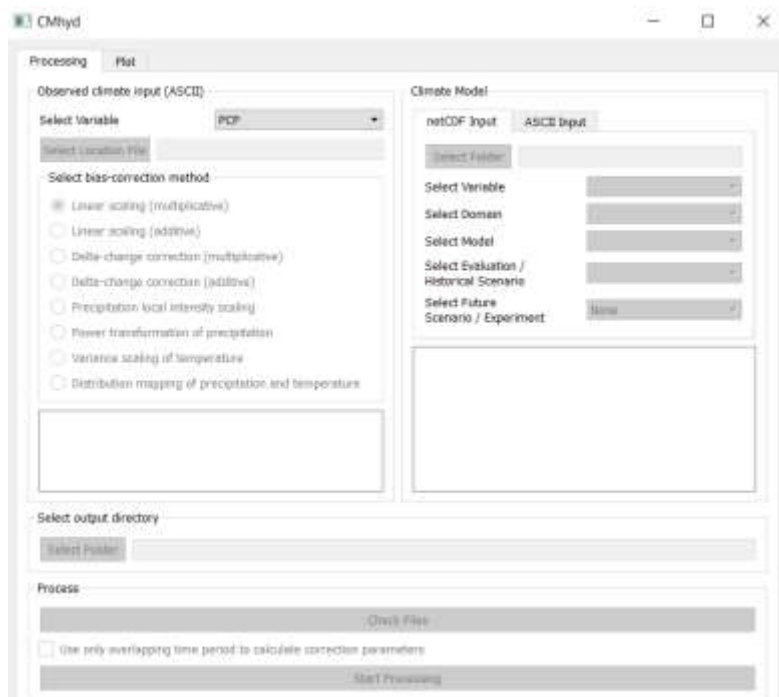
Nota. Elaboración propia.

A través de la herramienta CMhyd, se utilizó los archivos en formato NetCDF para convertir los datos de precipitación y temperatura en milímetros y grados Celsius, respectivamente, y se extrajo series de tiempo de las celdas de cuadrícula correspondientes al área de estudio.

Los métodos de corrección de sesgo empleados incluyeron el método de mapeo de distribución (DM) para la precipitación y la temperatura. Este último método tiene como objetivo comparar la función de distribución de los valores esperados de los MCG con la función de distribución observada.

**Figura 97**

*Interfaz de CMhyd*



*Nota.* Fuente: CMhyd (2024)

#### **4.1.7.2.2. Escalamiento estadístico para precipitaciones y temperatura**

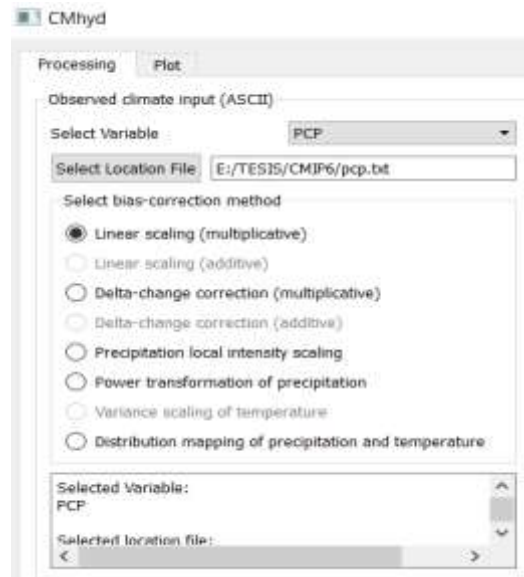
Al seleccionar los modelos climáticos globales más apropiados para la cuenca alta del río Mapacho se realizó el escalamiento estadístico para la variable de precipitación y temperatura.

Para ello, se utilizó el software CMhyd, en el cual se realizó el downscaling y corrección de sesgo de los valores futuros. Dentro del programa, se utilizó el método de Mapeo de distribución para la variable de precipitación y temperatura.

La herramienta CMhyd requiere datos históricos observados en formato NetCDF Input, los cuales fueron obtenidos por la corrección de datos Pisco escalados. Luego, es necesario insertar la carpeta del modelo climático obtenido para cada variable PCP (Precipitación) y TMP (Temperatura).

## Figura 98

*CMhyd para downscaling de datos de precipitación*

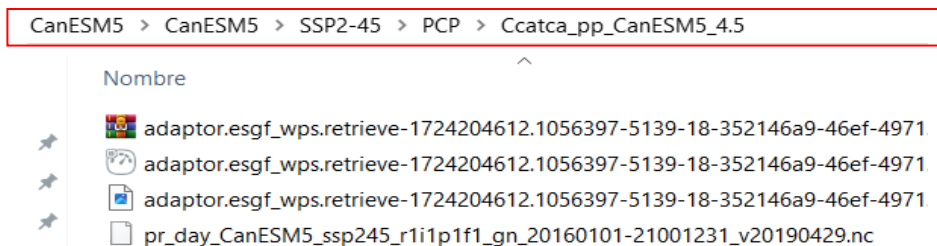


*Nota.* En base a CMhyd (2024)

A continuación, se muestra el modelo climático CanESM5 para la precipitación en el escenario SSP2-4.5:

## Figura 99

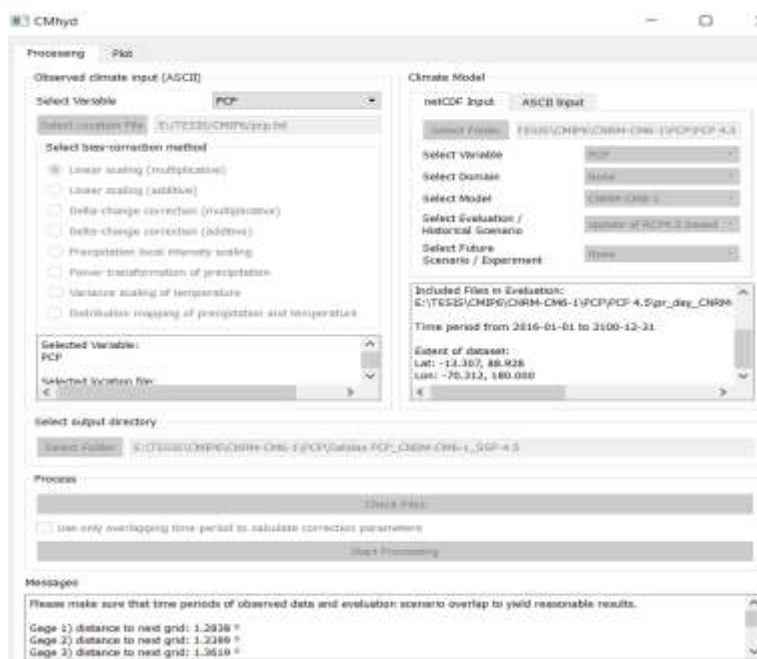
*Modelo climático CanESM5 descargado para la precipitación en el escenario SSP2-4.5*



*Nota.* En base a CMhyd (2024)

**Figura 100**

*Reducción de sesgo y extracción de datos con CMhyd*



*Nota.* En base a CMhyd (2024).

De esa manera, se obtuvo cada carpeta con los archivos de escalamiento para cada una de las estaciones de acuerdo a cada modelo climático:

#### **4.1.7.3. Validación del modelo CMIP6 para la precipitación y temperatura proyectada**

Se analizó un total de 3 modelos, que se presentan en la Tabla 58. Para la selección de estos modelos, se utilizó la media mensual del periodo histórico a partir del año 2016 al 2022, ya que los GCMs solo disponen de datos desde el año 2016. La elección de los modelos climáticos globales (GCMs) se basó en el análisis del sesgo (Bias) y el factor de determinación (R2) entre cada GCM y datos observados de SENAMHI y PISCO. Así, el criterio de selección de los GCMs se centró en elegir los modelos con el menor valor en el PBIAS y mayor valor de Coeficiente de determinación.

De esa manera, el modelo MPI-ESM-LR muestra un buen ajuste para la precipitación y la temperatura, ya que presenta un BIAS cercano a 0 y un factor de determinación cercano a 1 para la precipitación, temperatura máxima y mínima. Los modelos climáticos globales seleccionados bajo este criterio se encuentran en la Tabla 59.

**Tabla 59**

*Coefficiente BIAS y coeficiente de determinación (R2) para la precipitación y temperatura obtenida y datos simulados con MCGs en el periodo (2016-2022)*

Modelo climático global (MCG)	Precipitación		Temperatura máxima		Temperatura mínima	
	R2	PBIAS	R2	PBIAS	R2	PBIAS
<b>MPI.ESM1.2.LR</b>	0.785	0.194	0.784	-0.136	0.914	0.202
<b>CNRM.CM5</b>	0.729	0.174	0.750	-0.161	0.906	0.013
<b>CanESM5</b>	0.741	0.229	0.642	-0.178	0.911	-0.201

*Nota.* Elaboración propia (2024)

## 4.2. Presentación de resultados

### 4.2.1. Modelamiento hidrológico con escenarios climáticos

Después de analizar la sensibilidad de los parámetros, calibrar y validar el modelo SWAT, este se utilizó para simular escenarios futuros, manteniendo constante la topografía, división de cuencas, tipo de suelo y cobertura vegetal.

Según los objetivos del estudio, se incorporó en SWAT los datos climáticos como precipitación y temperatura considerando escenarios de emisión SSP 2-4.5 y SSP5-8.5 para el período de tiempo de 2023-2099. Asimismo, para ajustar las predicciones de precipitación, así como las temperaturas máxima y mínima de los GCMs a la región de estudio, se incluyó en SWAT las proyecciones derivadas de la regionalización estadística realizada con el software CMhyd, que empleo el método de mapeo de distribución.

Para el modelamiento hidrológico futuro considerando el cambio climático a través de los Modelos Climáticos Globales, se empleó los parámetros que produjeron los mejores indicadores durante la calibración de la simulación de caudales históricos del SWAT para la cuenca. Es decir, después de tener el modelo calibrado y validado mediante la optimización de parámetros, se ingresó los datos forzantes como la temperatura y las precipitaciones futuras dentro del modelo SWAT para el periodo 2016-2099.

Estos datos provinieron del modelo que mejor reprodujo el clima histórico de la cuenca, considerando 3 modelos climáticos globales propuestos por AMCAF, los cuales fueron ajustados mediante técnicas estadísticas de "downscaling". Se aplicó corrección de sesgo mediante el método de mapeo de distribución (DM) para la temperatura y precipitación. Los modelos climáticos fueron evaluados, y el modelo MPI-ESM-2-LR fue el que ofreció la aproximación más confiable al clima histórico en la zona de estudio, como se mostró anteriormente. De esa manera,

después de realizar la simulación de datos climáticos, se obtuvo los siguientes resultados de caudales medios mensuales tanto para el escenario SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla 61 presenta los caudales mensuales simulados bajo las proyecciones de descarga generadas por el modelo SWAT utilizando datos climáticos ajustados según el Modelos Climático Global (MCG) evaluado:

**Tabla 60**

*Generación de caudales mediante calibración en SWAT utilizando modelos climáticos*

<b>Periodo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>Escenario SSP2-4.5</b>	99.6	126.1	111.6	70.6	35.4	18.4	12.1	11.4	15.7	24.8	38.0	73.0
<b>Escenario SSP5-8.5</b>	110.6	151.3	134.9	78.3	40.5	19.8	12.2	11.9	14.4	24.7	43.9	80.5

*Nota.* Elaboración propia (2024)

#### **4.2.2. Análisis de las proyecciones de cambio climático**

Se realizó proyecciones de las variables climatológicas e hidrológicas para dos escenarios de emisión: SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Se presentan estas proyecciones, considerando la media anual desde 1981 hasta 2099.

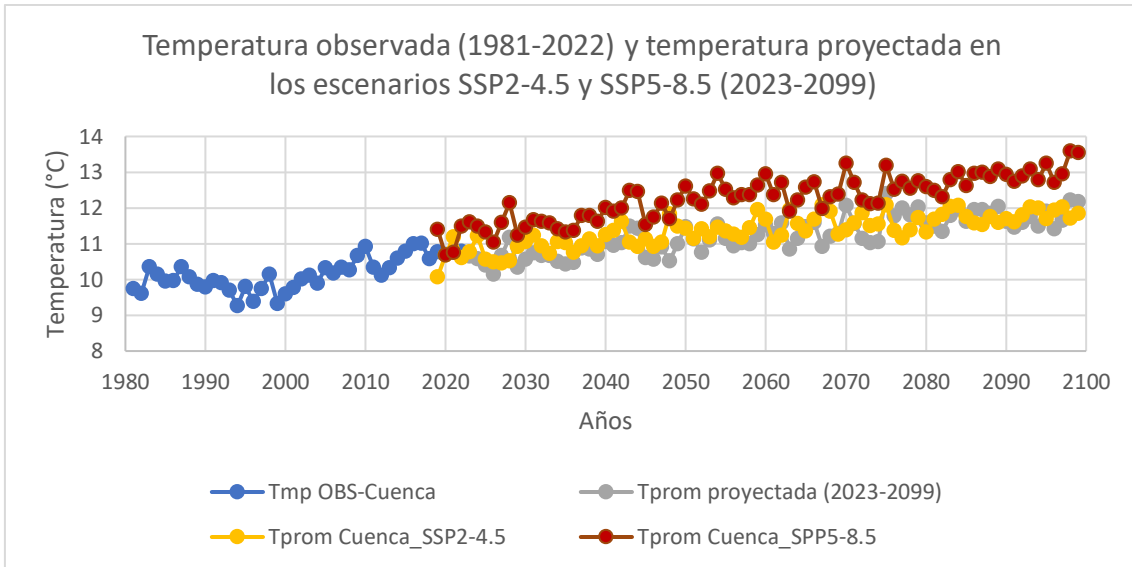
##### **4.2.2.1. Temperatura media anual histórica y proyectada**

Se visualiza la temperatura media anual de la cuenca, donde se muestra que en el escenario SSP5-8.5 existe una tasa de crecimiento mayor en la temperatura en comparación con el escenario SSP2-4.5.

De la misma forma, se cuantificó la temperatura media anual en la cuenca desde 1981 al 2022 y se observó que la temperatura aumentó aproximadamente en 1.05°C en el periodo considerado, verificándose la tendencia de calentamiento en la zona. Por lo tanto, la cuenca analizada es susceptible a los efectos del cambio climático.

**Figura 101**

*Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*



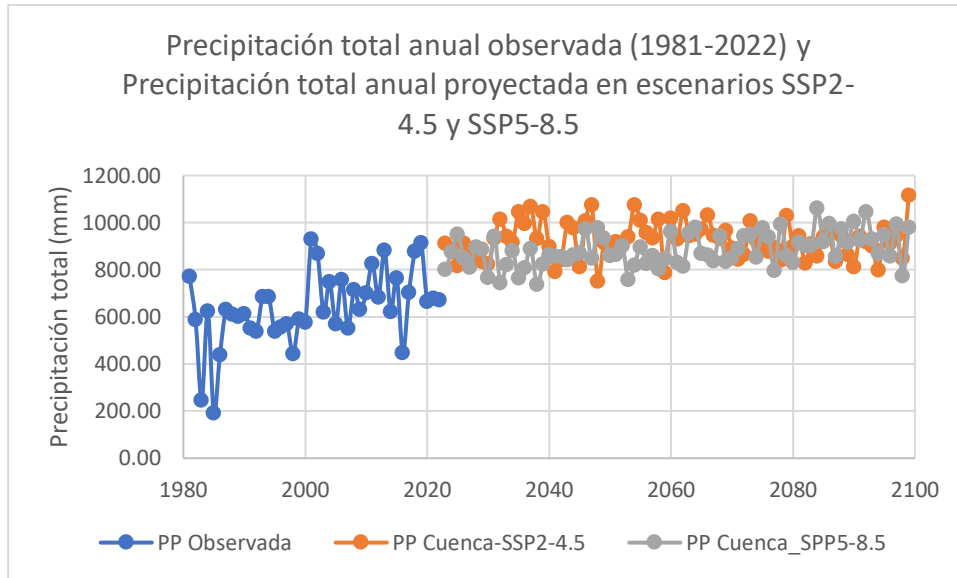
*Nota.* Elaboración propia

#### **4.2.2.1. Precipitación anual histórica y proyectada**

La precipitación media anual en el periodo base (1981-2022) fue de 656.04 mm. Sin embargo, los escenarios de cambio climático prevén cambios para la precipitación. El escenario SSP2-4.5 del modelo climático global MPI-ESM-1-2-LR predice una precipitación media anual de 747.53 mm en el periodo del año 2023 al 2099, y en el escenario SSP5-8.5, la precipitación media anual es de 774.60 mm durante el periodo 2023-2099.

**Figura 102**

*Precipitación total anual histórica (1981-2022) y Precipitación total anual futura (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

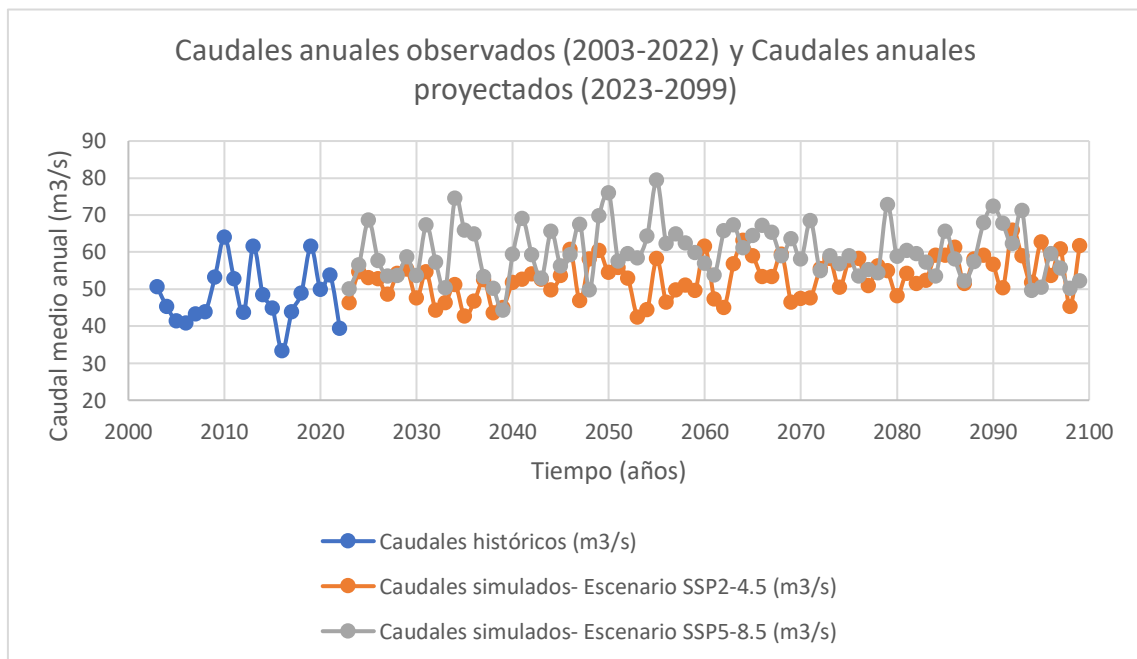


*Nota.* Elaboración propia

#### 4.2.2.1. Caudal promedio histórico y proyectado

**Figura 103**

*Tendencia del caudal promedio anual histórico (1981-2022) y Caudal promedio anual futuro (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia

### 4.2.3. Tendencias futuras y respuesta hidrológica en los periodos de estudio

#### 4.2.3.1. Tendencia futura de la precipitación media mensual

Se clasifico los escenarios futuros de precipitación entre 2023 y 2099 en tres periodos: futuro cercano (2023-2049), futuro mediano (2050-2074) y futuro lejano (2075-2099). Estos escenarios se analizaron utilizando las trayectorias socioeconómicas compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5. A continuación, se muestran los cambios proyectados en la precipitación y su tasa de variación en comparación con el promedio histórico.

##### 4.2.3.1.1. Tendencia futura de la precipitación en el escenario SSP2-4.5

Para el escenario SSP2-4.5 (escenario con algunas reducciones en las emisiones humanas de gases de efecto invernadero), los resultados de la precipitación promedio mensual se presentan para los tres periodos futuros:

**Tabla 61**

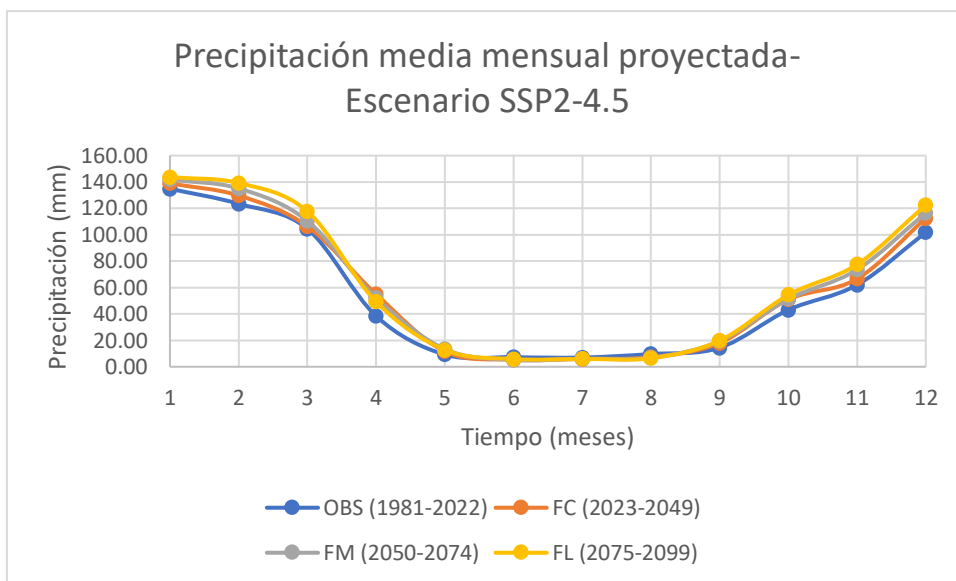
*Precipitación media mensual (mm) de los datos observados y de los MCG en el escenario SSP2-4.5*

Mes	PP observada (1981-2022)	PP Futuro cercano (2023-2049)	PP Futuro medio (2050-2074)	PP Futuro lejano (2075-2099)
Enero	134.86	138.93	141.85	143.68
Febrero	123.48	129.74	135.11	139.21
Marzo	104.57	106.42	110.55	117.80
Abril	38.42	54.94	52.09	49.21
Mayo	9.27	11.62	13.37	12.76
Junio	7.31	5.32	5.18	5.87
Julio	7.02	5.93	6.15	5.95
Agosto	9.65	7.27	6.83	6.47
Setiembre	14.42	18.02	19.41	19.81
Octubre	43.11	51.01	51.34	54.47
Noviembre	62.07	66.66	73.57	77.54
Diciembre	101.86	112.49	116.56	122.56

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 104**

*Comportamiento de precipitación media mensual proyectada- Escenario SSP2-4.5*



*Nota.* Elaboración propia.

A continuación, se muestran gráficamente las tasas de cambio de la precipitación futura en relación con la precipitación observada, verificándose una tendencia de cambio similar para los periodos cercano, medio y lejano.

**Tabla 62**

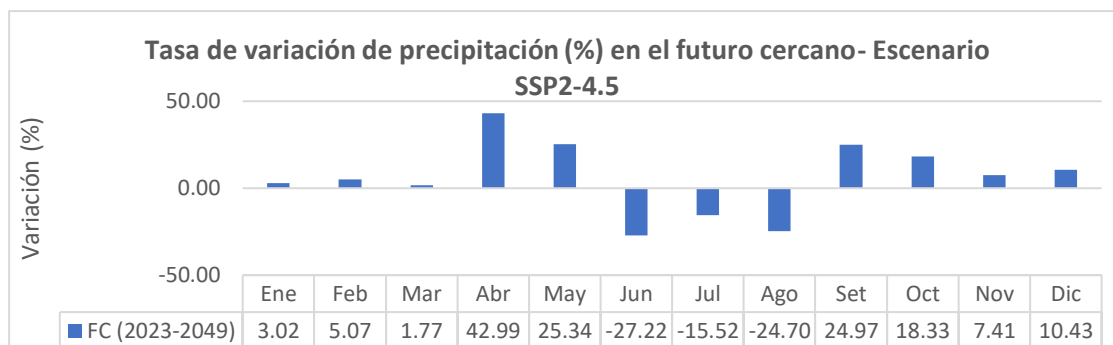
*Variación porcentual de la precipitación media mensual- Escenario SSP2-4.5*

Periodo	FC (2024-2049)	FM (2050-2074)	FL (2075-2099)
<b>Ene</b>	3.0%	5.2%	6.5%
<b>Feb</b>	5.1%	9.4%	12.7%
<b>Mar</b>	1.8%	5.7%	12.7%
<b>Abr</b>	43.0%	35.6%	28.1%
<b>May</b>	25.3%	44.2%	37.6%
<b>Jun</b>	-27.2%	-29.2%	-19.8%
<b>Jul</b>	-15.5%	-12.3%	-15.3%
<b>Ago</b>	-24.7%	-29.3%	-33.0%
<b>Set</b>	25.0%	34.6%	37.4%
<b>Oct</b>	18.3%	19.1%	26.3%
<b>Nov</b>	7.4%	18.5%	24.9%
<b>Dic</b>	10.4%	14.4%	20.3%
<b>Anual</b>	<b>5.99%</b>	<b>9.67%</b>	<b>11.55%</b>

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 105**

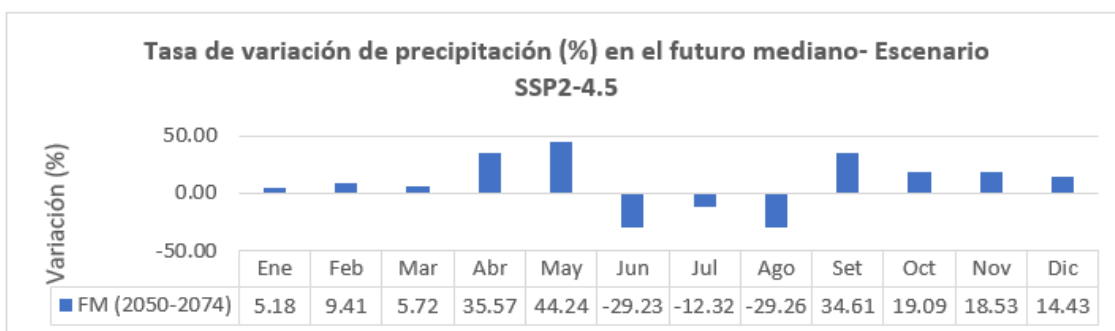
*Variación de precipitación (%)- Futuro cercano SSP2-4.5 (2023-2049)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 106**

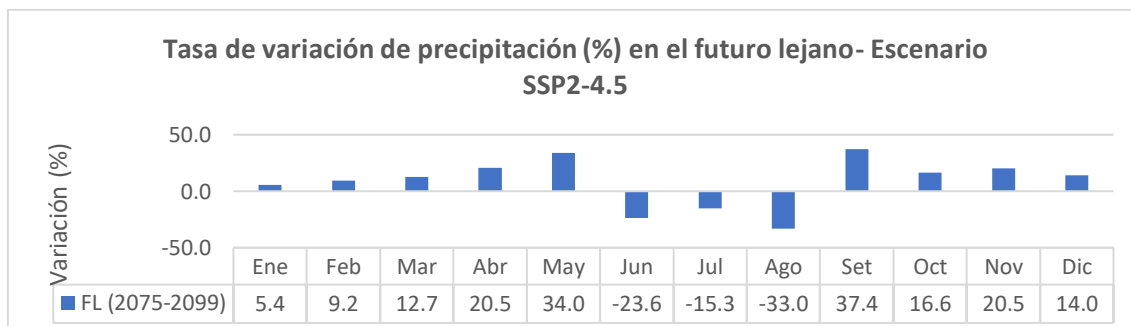
*Variación de precipitación (%)- Futuro cercano SSP2-4.5 (2023-2049)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 107**

*Variación de precipitación (%)- Futuro lejano SSP2-4.5 (2075-2099)*



*Nota.* Elaboración propia.

En cuanto a la variación anual de la precipitación para el escenario SSP2-4.5, se muestra la tendencia a incrementarse en sus proyecciones futuras debido al cambio climático. Estos valores se presentan en la Tabla 62, donde en sus tres clasificaciones de futuro cercano (2023-2049) se incrementa en 5.9%, en el periodo de futuro medio (2050-2074) en 9.7% y periodo de futuro lejano (2075-2099) resulta un incremento de 11.6% tomando en comparación a los datos observados en el periodo 1981-2022.

Además, se observa que, los meses de junio, julio, agosto muestran una disminución de hasta un -33.0%, mientras que en los demás meses la precipitación tiende a incrementarse hasta un 44.24%, con respecto a la precipitación observada.

Para el periodo de lluvias, la tasa de variación de precipitación (%) tiende a incrementarse desde la actualidad al año 2099. Asimismo, en el período de estiaje o seco (junio, julio y agosto) se proyecta en promedio mayores disminuciones en el paso del tiempo en el escenario SSP2-4.5. Esto indica la mayor variabilidad en cuanto a la precipitación debido al cambio climático.

#### 4.2.4.1.2. Tendencia futura de la precipitación en el escenario SSP5-8.5

Para el escenario SSP5-8.5, los resultados se muestran en la Tabla 63 y Figura 108, donde se pueden visualizar los cambios de precipitación promedio para los tres periodos futuros:

**Tabla 63**

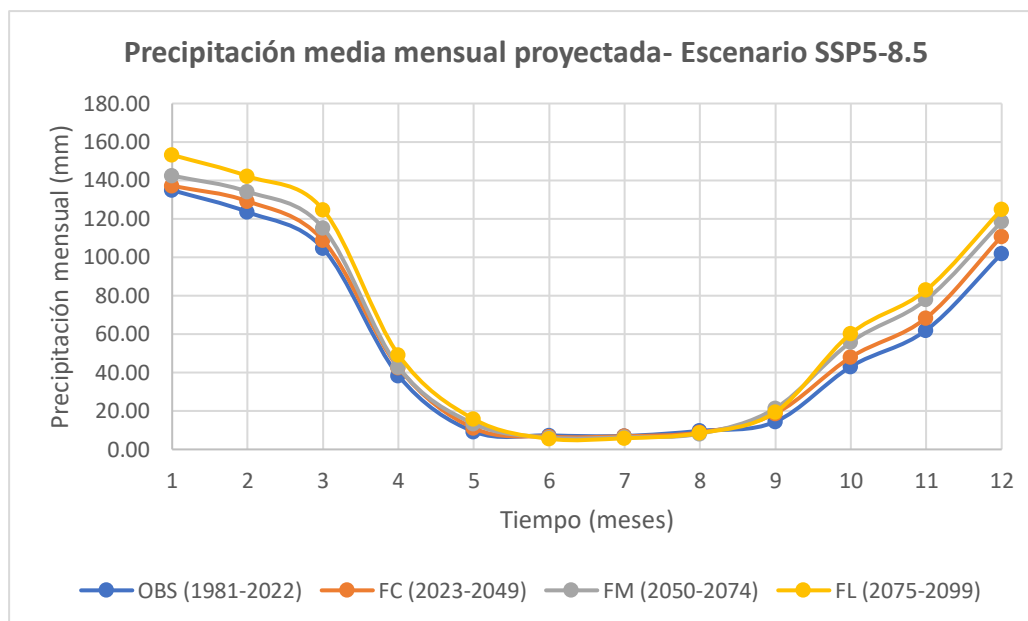
*Valores de la precipitación media mensual del MGC y los datos observados- SSP585*

<b>Mes</b>	<b>PP observada (1981-2022)</b>	<b>PP Futuro Cercano (2023-2049)</b>	<b>PP Futuro mediano (2050- 2074)</b>	<b>PP Futuro lejano (2075- 2099)</b>
<b>Enero</b>	134.86	137.15	142.45	153.21
<b>Febrero</b>	123.48	129.13	134.10	142.16
<b>Marzo</b>	104.57	108.83	115.30	124.80
<b>Abril</b>	38.42	42.53	42.86	49.29
<b>Mayo</b>	9.27	11.01	13.34	15.76
<b>Junio</b>	7.31	6.62	6.17	5.54
<b>Julio</b>	7.02	6.86	6.34	5.81
<b>Agosto</b>	9.65	8.84	8.18	8.50
<b>Setiembre</b>	14.42	18.69	21.38	19.41
<b>Octubre</b>	43.11	48.04	55.87	60.31
<b>Noviembre</b>	62.07	68.45	77.96	82.97
<b>Diciembre</b>	101.86	110.90	118.49	124.88

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 108**

*Comportamiento de precipitación media mensual proyectada- Escenario SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia.

En el escenario SSP5-8.5 (escenario más severo de calentamiento global) en sus tres clasificaciones de Futuro cercano (2023-2049) se observa un incremento de 6.64%, en cuanto al futuro medio (2050-2074) se visualiza un incremento en 13.26% y para un futuro lejano (2075-2099) se prevé de un incremento de 18.63% tomando como comparación los datos observados. Se observa una disminución de precipitaciones en periodo de secas y un incremento más considerable de precipitaciones en el periodo de lluvias, similar al escenario SSP2-4.5. A continuación, se muestra la tabla que contiene tal información:

**Tabla 64**

*Valores de tasas de cambio de la precipitación futura*

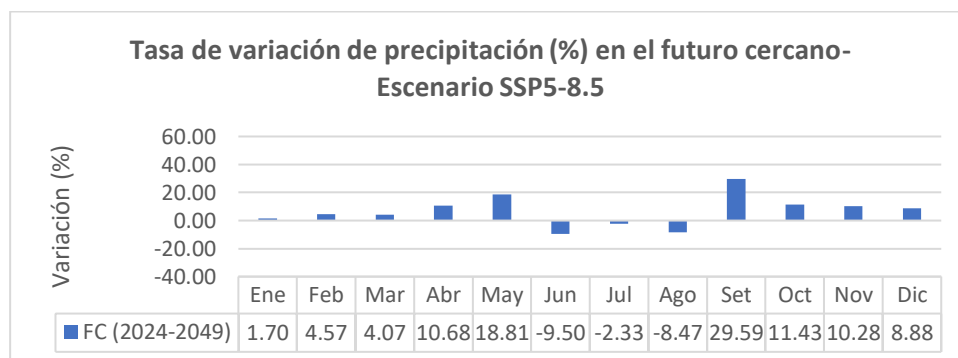
Mes	FC (2024-2049)	FM (2050-2074)	FL (2075-2099)
<b>Enero</b>	1.70	5.62	13.61
<b>Febrero</b>	4.57	8.60	15.12
<b>Marzo</b>	4.07	10.26	19.35
<b>Abril</b>	10.68	11.55	28.29
<b>Mayo</b>	18.81	43.84	70.02
<b>Junio</b>	-9.50	-15.63	-24.24
<b>Julio</b>	-2.33	-9.63	-17.29
<b>Agosto</b>	-8.47	-15.31	-11.99
<b>Setiembre</b>	29.59	48.27	34.60
<b>Octubre</b>	11.43	29.58	39.88

<b>Noviembre</b>	10.28	25.61	33.67
<b>Diciembre</b>	8.88	16.33	22.60
<b>Anual</b>	<b>6.64</b>	<b>13.26</b>	<b>18.63</b>

Nota: Elaboración propia

**Figura 109**

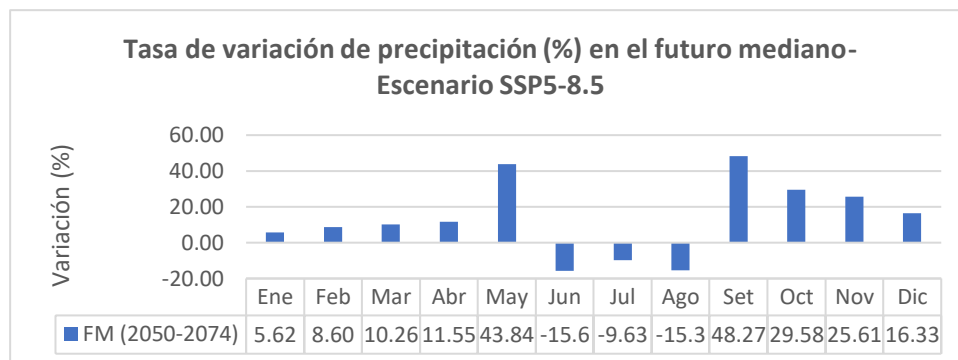
Variación de precipitación (%)- Futuro cercano (2023-2049)- Escenario SSP5-5.8



Nota. Elaboración propia.

**Figura 110**

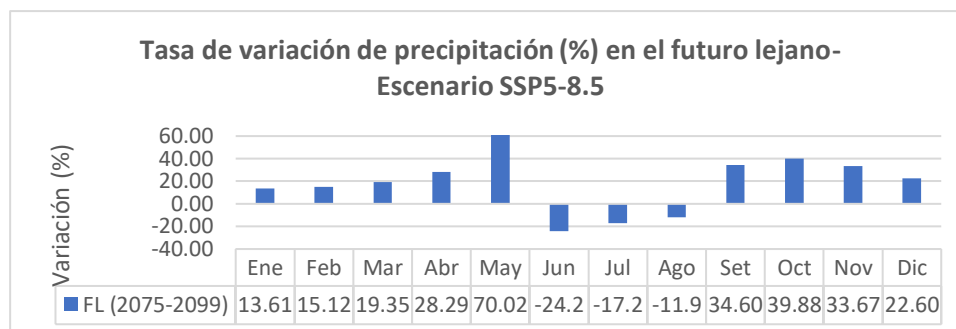
Variación de precipitación (%)- Futuro medio (2050-2074)- Escenario SSP5-5.8



Nota. Elaboración propia.

**Figura 111**

*Variación de precipitación (%)- Futuro lejano (2075-2099)- Escenario SSP5-5.8*



*Nota.* Elaboración propia.

Se observa que en los meses de setiembre a mayo como periodo de lluvias se experimentan un aumento en la precipitación mensual de hasta un 70.02%, mientras que en los demás meses la precipitación disminuye hasta un -24.24%.

Por lo tanto, se prevé que en los próximos años la precipitación se incrementará, lo que podría generar mayores anomalías en su comportamiento al 2099.

#### **4.2.4.2. Temperatura media anual en la cuenca**

La estimación de la tendencia de cambio de la temperatura es más confiable, y los modelos climáticos empleados en esta investigación tienen un alto nivel de fiabilidad, lo cual se demostró mediante la comparación entre los datos observados y las predicciones de los GCMs en el período histórico.

A continuación, se presentan los resultados de la cuantificación de los cambios para los períodos futuro cercano, medio y lejano, considerando los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

##### **4.2.4.2.1. Temperatura media mensual en la cuenca en el escenario SSP2-4.5**

Para el escenario SSP2-4.5, la Tabla 65 y Figura 112 ilustran las variaciones de temperatura media mensual, donde se muestran incrementos progresivos de la temperatura a lo largo de los años, con un patrón de incremento similar en cada mes.

**Tabla 65**

*Comportamiento de la temperatura máxima media mensual del GCM y los datos observados- SSP2-4.5*

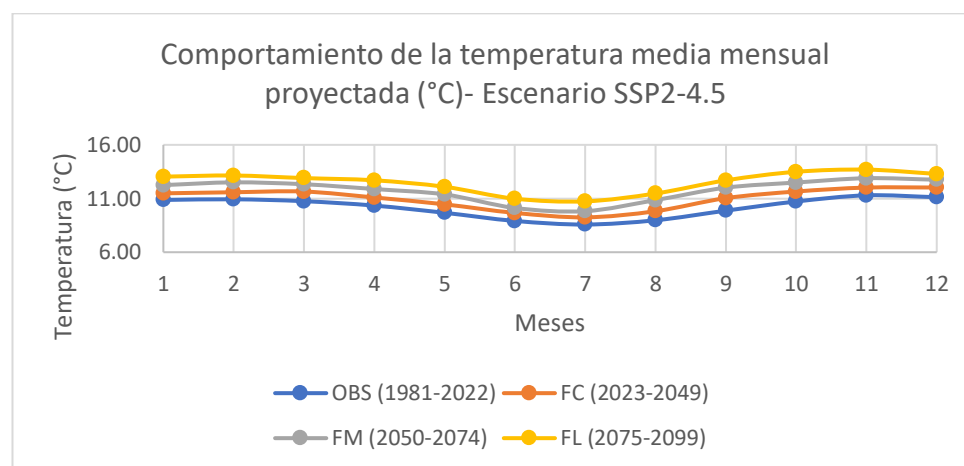
Mes	OBS (1981-2022) (°C)	FC (2023-2049) (°C)	FM (2050-2074) (°C)	FL (2075-2099) (°C)
<b>Enero</b>	10.87	11.86	12.25	13.04
<b>Febrero</b>	10.93	11.58	12.51	13.14

<b>Marzo</b>	10.75	11.65	12.33	12.90
<b>Abril</b>	10.34	10.86	11.88	12.70
<b>Mayo</b>	9.67	10.46	11.38	12.09
<b>Junio</b>	8.91	9.66	10.12	10.99
<b>Julio</b>	8.58	8.96	9.83	10.74
<b>Agosto</b>	8.97	9.82	10.85	11.47
<b>Setiembre</b>	9.87	11.04	12.01	12.69
<b>Octubre</b>	10.72	11.65	12.49	13.49
<b>Noviembre</b>	11.30	12.02	12.89	13.69
<b>Diciembre</b>	11.12	12.03	12.75	13.29

Nota. Elaboración propia.

**Figura 112**

*Comportamiento de la temperatura media mensual proyectada- Escenario SSP2-4.5*



Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestran las tasas de variación de la temperatura media mensual para los periodos futuros:

**Tabla 66**

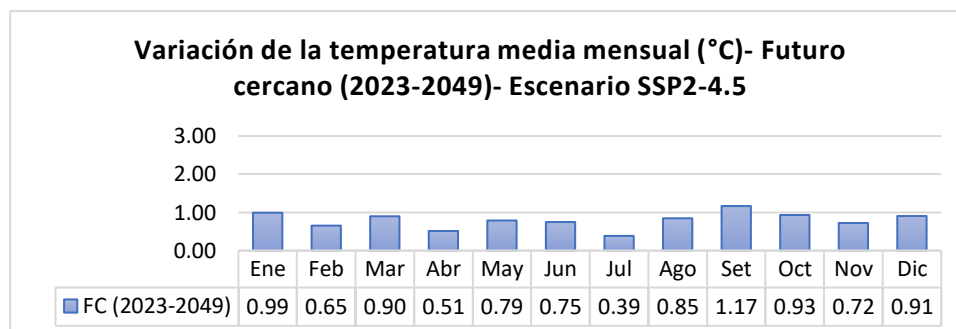
*Valores de la variación de Temperatura máxima mensual futura (°C)- Escenario SSP2-4.5*

<b>Periodo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
<b>FC (2023-2049)</b>	1.0	0.7	0.9	0.5	0.8	0.8	0.4	0.9	1.2	0.9	0.7	0.7	<b>0.8</b>
<b>FM (2050-2074)</b>	1.4	1.6	1.6	1.5	1.7	1.2	1.3	1.9	2.1	1.8	1.6	1.6	<b>1.7</b>
<b>FL (2075-2099)</b>	2.2	2.2	2.1	2.4	2.4	2.1	2.2	2.5	2.8	2.8	2.4	2.2	<b>2.3</b>

Nota: Elaboración propia

**Figura 113**

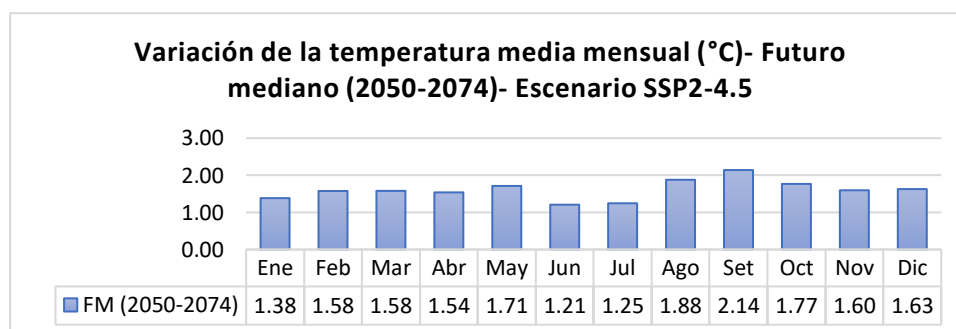
*Variación de temperatura (°C)- Futuro cercano (2023-2049)- Escenario SSP2-4.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 114**

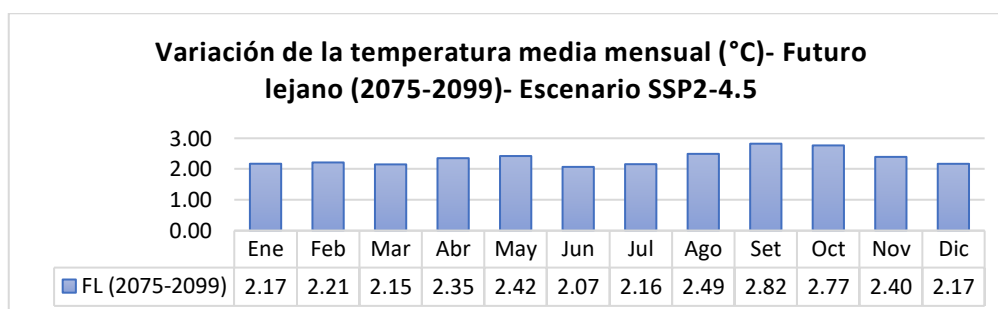
*Variación de temperatura (°C)- Futuro medio (2050-2074)- Escenario SSP2-4.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 115**

*Variación de temperatura (°C)- Futuro lejano (2075-2099)- Escenario SSP2-4.5*



*Nota.* Elaboración propia.

Se observa que la variable de temperatura media mensual muestra la tendencia a incrementarse debido al cambio climático en el escenario SSP2-4.5 en sus tres periodos futuros.

Se tiene el futuro cercano (2023-2049) que presenta un incremento de 0.80 °C, en el futuro medio (2050-2074) se incrementa en 1.60° C anualmente y en el futuro lejano (2075-2099) el incremento se da en 2.35°C en comparación con los datos observados de temperatura en el periodo 1981-2022.

#### 4.2.4.2.2. Temperatura media mensual en el escenario SSP5-8.5

Para el escenario SSP5-8.5, la tabla 67 y Figura 116 ilustran las variaciones de temperatura media mensual en sus proyecciones futuras, donde se muestra un aumento progresivo de la temperatura a lo largo de los años:

**Tabla 67**

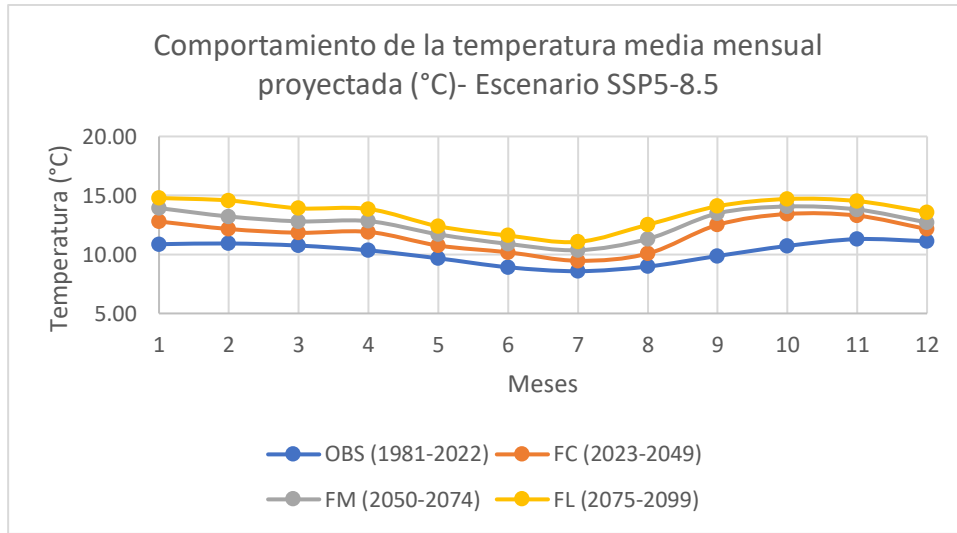
*Comportamiento de la temperatura máxima media mensual del GCM y los datos observados-SSP5-8.5*

Mes	Temperatura Observada (1981-2022)	Temperatura Futuro cercano (2023-2049)	Temperatura Futuro mediano (2050-2074)	Temperatura Futuro lejano (2075-2099)
<b>Enero</b>	10.87	12.79	13.93	14.78
<b>Febrero</b>	10.93	12.15	13.22	14.57
<b>Marzo</b>	10.75	11.84	12.81	13.91
<b>Abril</b>	10.34	11.91	12.82	13.85
<b>Mayo</b>	9.67	10.75	11.70	12.39
<b>Junio</b>	8.91	10.18	10.89	11.60
<b>Julio</b>	8.58	9.46	10.36	11.07
<b>Agosto</b>	8.97	10.07	11.32	12.52
<b>Setiembre</b>	9.87	12.51	13.48	14.09
<b>Octubre</b>	10.72	13.43	14.06	14.70
<b>Noviembre</b>	11.30	13.29	13.81	14.52
<b>Diciembre</b>	11.12	12.15	12.71	13.58

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 116**

*Comportamiento de la temperatura máxima media mensual del GCM y los datos observados- SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 68**

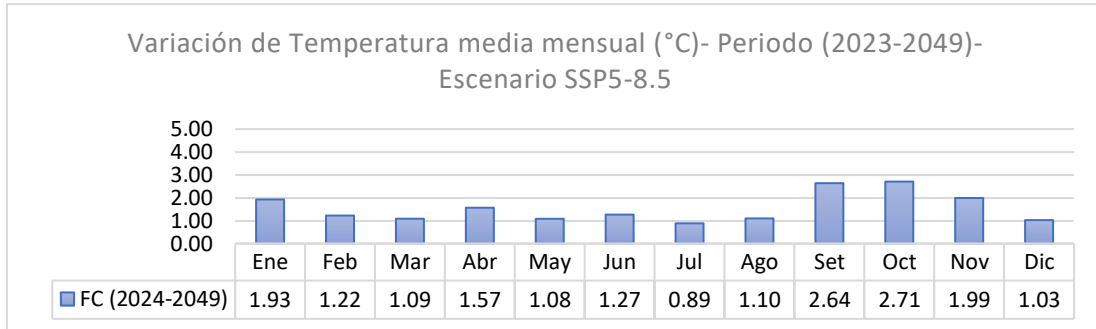
*Valores de la variación de Temperatura máxima mensual futura (°C)- Escenario SSP5-8.5*

Periodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>FC (2023-2049)</b>	1.9	1.2	1.09	1.6	1.1	1.3	0.9	1.1	2.6	2.7	2.0	1.0	<b>1.5</b>
<b>FM (2050-2074)</b>	3.1	2.3	2.1	2.5	2.0	1.9	1.8	2.3	3.6	3.3	2.5	1.6	<b>2.5</b>
<b>FL (2075-2099)</b>	3.9	3.6	3.2	3.5	2.7	2.7	2.5	3.6	4.2	4.0	3.2	2.5	<b>3.3</b>

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 117**

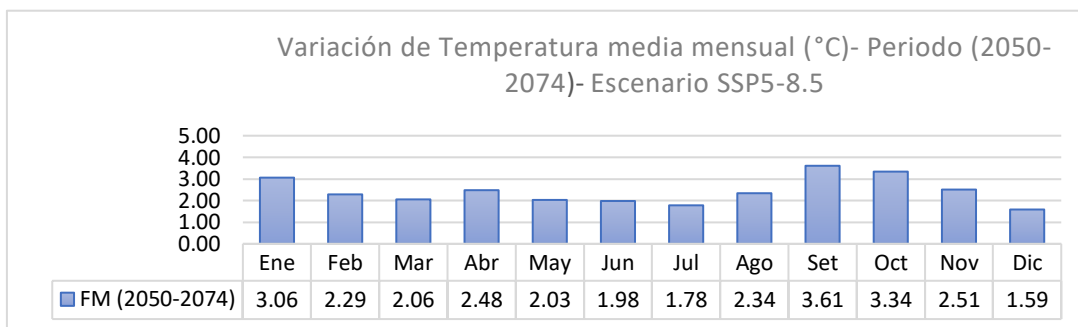
*Variación de temperatura (°C)- Futuro cercano (2023-2049)- Escenario SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 118**

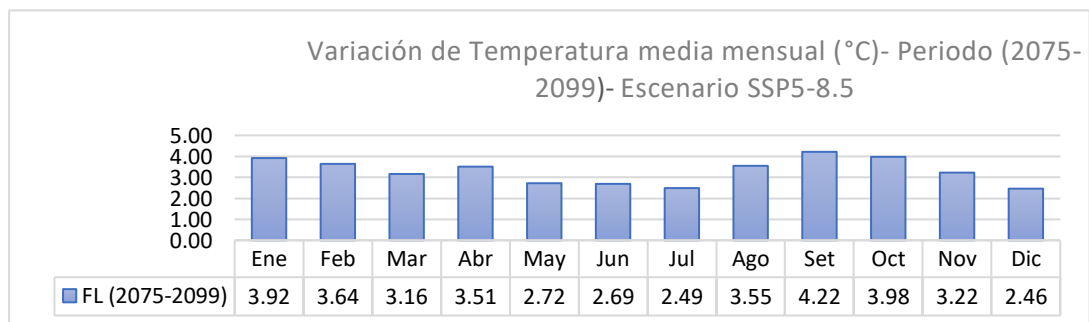
*Variación de temperatura (°C)- Futuro medio (2050-2074)- Escenario SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 119**

*Variación de temperatura (°C)- Futuro lejano (2075-2099)- Escenario SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia.

Se observa que la temperatura media anual para el escenario SSP5-8.5 tiene una mayor tendencia con el paso del tiempo. Es así que, en el periodo de futuro cercano (2023-2049) se incrementa en 1.54°C, en el futuro mediano (2050-2074) se incrementa en 2.42°C y en el futuro lejano (2075-2099), el incremento es de 3.30°C tomando como comparación los datos observados de temperatura máxima en el periodo (1981-2022).

#### 4.2.4.3. Tendencia futura de caudal medio mensual

##### 4.2.4.3.1. Caudal medio mensual en el escenario SSP2-4.5

Para el escenario SSP2-4.5 se muestra los resultados en la Tabla 69 y Figura 120, donde se muestra la estacionalidad media mensual del caudal para el periodo 2023-2099:

**Tabla 69**

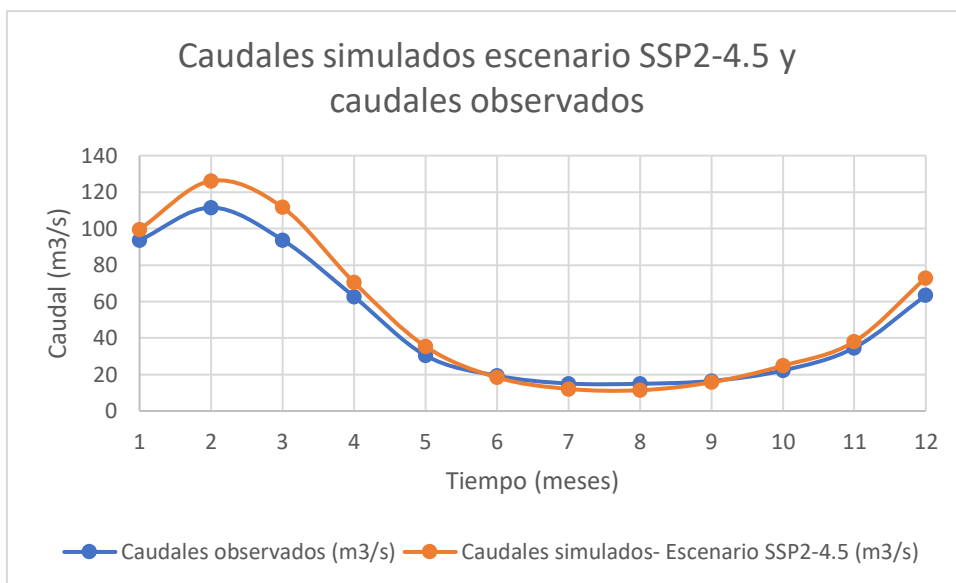
*Caudales simulados (m3/s)- Escenario SSP2-4.5*

Mes	Caudales observados	Caudales simulados escenario SSP2-4.5
Enero	93.60	99.59
Febrero	111.48	126.11
Marzo	93.75	111.61
Abril	62.68	70.55
Mayo	30.44	35.37
Junio	19.35	18.37
Julio	15.07	12.11
Agosto	14.93	11.37
Setiembre	16.46	15.74
Octubre	22.20	24.79
Noviembre	34.68	38.03
Diciembre	63.41	72.99
<b>Promedio</b>	<b>48.17</b>	<b>53.05</b>
<b>Mín</b>	<b>14.93</b>	<b>11.37</b>
<b>Máx</b>	<b>111.48</b>	<b>126.11</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 120**

*Caudales proyectados (2023-2099)- Escenario SSP2-4.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 70**

*Tasa de variación de caudales (%) - Escenario SSP2-4.5*

Mes	Variación porcentual de caudales- Escenario SSP2-4.5
Ene	6.4%
Feb	13.1%
Mar	19.2%
Abr	12.6%
May	16.2%
Jun	-5.0%
Jul	-19.6%
Ago	-23.8%
Set	-4.4%
Oct	-11.6%
Nov	9.7%
Dic	15.1%
<b>Anual</b>	<b>4.2%</b>

*Nota:* Elaboración propia

En la Tabla 70, el promedio anual estimado del caudal indicó un aumento de +4.2 % bajo el escenario SSP2-4.5. La Figura 120 presenta el hidrograma mensual correspondiente a los

caudales medios proyectadas en la cuenca alta del río Mapacho para el periodo 2023-2099, considerando ambos escenarios de emisiones. Se observa un incremento del escurrimiento durante los meses húmedos, con la mayor variabilidad registrada en marzo. Asimismo, las descargas promedio muestran un ascenso durante noviembre y mayo, hasta en un 19.2% con respecto a los caudales históricos, esto concuerda con lo reportado por Del Águila y Mejía (2021) en la cuenca del río Anya (Junín). No obstante, se proyecta una disminución en la oferta hídrica entre los meses desde junio a octubre hasta en un 23.8% con referencia al caudal histórico.

#### 4.2.4.3.2. Caudal medio mensual en el escenario SSP5-8.5

Para el escenario SSP5-8.5 se muestra los resultados en la Tabla 71 y Figura 121, donde se muestra la estacionalidad media mensual del caudal:

**Tabla 71**

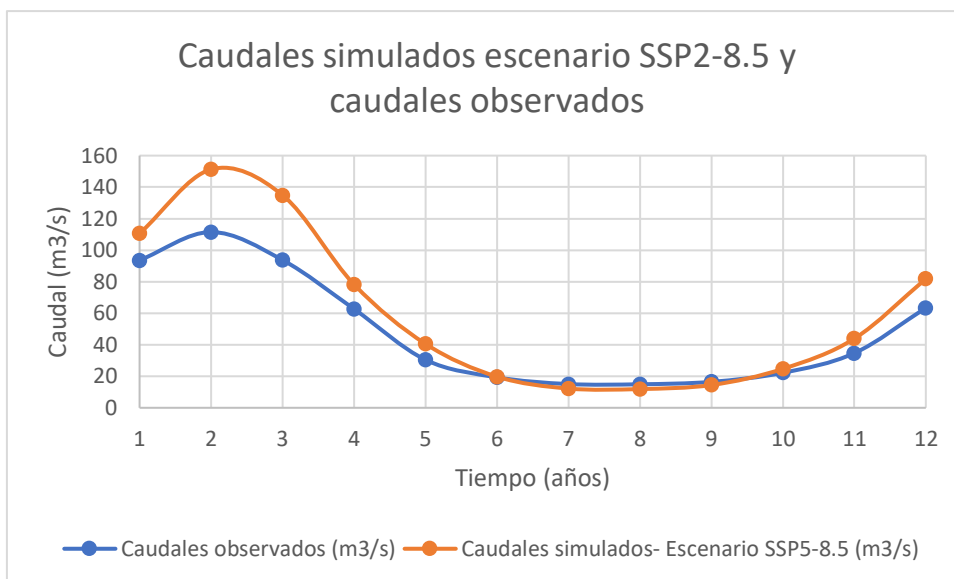
*Caudales simulados (m<sup>3</sup>/s)- Escenario SSP5-8.5*

<b>Mes</b>	<b>Caudales observados</b>	<b>Caudales simulados escenario SSP5-8.5</b>
Enero	93.60	110.58
Febrero	111.48	151.26
Marzo	93.75	134.90
Abril	62.68	78.29
Mayo	30.44	40.55
Junio	19.35	19.77
Julio	15.07	12.22
Agosto	14.93	11.89
Setiembre	16.46	14.45
Octubre	22.20	24.70
Noviembre	34.68	43.88
Diciembre	63.41	81.84
<b>Promedio</b>	<b>48.17</b>	<b>60.36</b>
<b>Mín</b>	<b>14.93</b>	<b>11.89</b>
<b>Máx</b>	<b>111.48</b>	<b>151.26</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 121**

*Caudales proyectados (2023-2099)- Escenario SSP5-8.5*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 72**

*Tasa de variación de caudales (%)- Escenario SSP5-8.5*

Mes	Variación porcentual de caudales- Escenario SSP5-8.5
<b>Ene</b>	18.1%
<b>Feb</b>	35.7%
<b>Mar</b>	43.9%
<b>Abr</b>	24.9%
<b>May</b>	33.2%
<b>Jun</b>	2.2%
<b>Jul</b>	-18.9%
<b>Ago</b>	-20.3%
<b>Set</b>	-12.3%
<b>Oct</b>	-11.2%
<b>Nov</b>	26.5%
<b>Dic</b>	29.1%
<b>Anual</b>	14.5%

*Nota:* Elaboración propia

En la Tabla 72 se observa que el promedio anual estimado por el MCG para el caudal indicó un aumento de +14.5% bajo el escenario SSP5-8.5. La Figura 121 presenta los

hidrogramas mensuales correspondientes a las descargas medias proyectadas en la cuenca alta del río Mapacho para el periodo 2023-2099, considerando dicho escenario de emisión. Se observa un incremento del escurrimiento durante los meses húmedos, con la mayor variabilidad registrada en marzo. Asimismo, las descargas promedio muestran un ascenso durante noviembre y mayo hasta en un 43.9%, en concordancia con lo reportado por Lujano et al. (2016) en la cuenca del río Ramis (Puno); no obstante, se proyecta una reducción de caudales entre los meses de junio y octubre hasta en un -20.3% con referencia al caudal histórico.

#### **4.2.5. Discusión de resultados**

Se determinó la variación de los caudales mediante una modelización hidrológica de la cuenca utilizando el modelo SWAT para el periodo 1985-2022. Para ello, se llevó a cabo la recopilación de datos meteorológicos, el análisis de consistencia, la extensión y completación de los datos diarios de precipitación y temperatura, la recopilación de los modelos climáticos globales y su reducción de escala, la introducción de los parámetros iniciales para la primera simulación del modelo y, finalmente, la calibración y validación del mismo.

Los hallazgos evidencian que el modelo SWAT constituye una herramienta útil en estudios relacionados con el balance hídrico y la gestión de los recursos hídricos, ya que representa de forma adecuada la estacionalidad de los principales componentes del ciclo hidrológico. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones al estimar los picos de caudal durante los periodos de lluvias intensas, tal como lo mencionaron Asurza y Lavado (2020).

El modelo SUFI-2 incorporado al software SWAT-CUP fue utilizado en el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo, donde el uso de los coeficientes p-valor y t-stat, permitieron identificar los parámetros más influyentes y redujo la sobre-parametrización del modelo.

Se obtuvo un índice de eficiencia de Nash de 0.84, coeficiente de determinación de 0.86 y un PBIAS de 8.14% para el periodo de calibración, y un coeficiente de Nash de 0.71, un coeficiente de determinación de 0.82 y un PBIAS de 4.22% para el periodo de validación, lo que demuestra que el modelo simula de manera satisfactoria la hidrología de la cuenca y genera caudales similares a los observados. Como resultado de la modelización, el modelo SWAT demostró simular de manera satisfactoria los componentes del ciclo hidrológico.

Se alcanzó una calibración satisfactoria del caudal medio mensual, lo que permitió emplear el modelo SWAT para simular los efectos del cambio climático en los caudales promedio futuros de la cuenca. No obstante, es importante considerar que las incertidumbres asociadas a la calidad de los datos observados pueden afectar la precisión del modelado hidrológico. Por esta razón, se hace necesario realizar investigaciones adicionales que cuantifiquen dichas

incertidumbres, especialmente aquellas vinculadas a errores en los registros de caudales en cuencas andinas (Fernandez-Palomino, 2021).

El análisis del impacto del cambio climático se realizó utilizando los resultados de la modelación hidrológica de referencia en la cuenca Alta del Río Mapacho y las proyecciones ajustadas de los escenarios climáticos SSP245 y SSP585 del modelo global MPI-ESM-1-2-LR. Estas proyecciones asumen que la distribución espacial de la cobertura vegetal y del suelo, así como sus características, permanecen constantes. En consecuencia, las modificaciones observadas en los componentes del balance hidrológico se atribuyen exclusivamente a las variaciones en la precipitación y la temperatura en distintos horizontes temporales.

El modelo climático MPI-ESM1-2-LR mediante el método de escalamiento de mapeo de distribución, representó adecuadamente el comportamiento de la precipitación y las temperaturas máxima y mínima. Por lo tanto, fue utilizado para analizar escenarios futuros del impacto del cambio climático en la cuenca alta del río Mapacho. Las variaciones en la precipitación juegan un papel fundamental en la probabilidad de ocurrencia de inundaciones y procesos de erosión en la cuenca, debido a que tanto la cantidad como la intensidad de las lluvias son variables altamente sensibles al cambio climático (González-Celada et al., 2021). Esta tendencia ya se manifiesta en el régimen de lluvias de la cuenca Alta del Río Mapacho, donde se observan temperaturas más altas y precipitaciones más intensas, pero de menor duración. Estos cambios indican una mayor concentración de eventos de lluvia a lo largo del siglo XXI, lo que podría traducirse en una mayor capacidad erosiva de cada evento hacia finales del siglo.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Se analizó la variación de los patrones climáticos en los caudales de la cuenca alta del río Mapacho durante el periodo 1981-2099, concluyéndose que la variación de los caudales ante efectos del cambio climático es significativa bajo los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Considerando los efectos del cambio climático, los resultados indican que, en todos los escenarios futuros, la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca tiende a incrementarse, tal es el caso, que para el escenario SSP2-4.5, el caudal medio anual podría incrementarse en 4.2% y para el escenario SSP5-8.5 se podría incrementar en hasta un 14.5%. Por lo tanto, se concluye que es fundamental implementar medidas de gestión adecuada de los recursos hídricos para la prevención de inundaciones y riesgo de desastres naturales en la zona de Quispicanchi y Paucartambo.

Se observa una disminución en la oferta hídrica durante los meses de junio a octubre para el escenario SSP2-4.5 hasta de 23.8% y una disminución hasta del 20.3% para el escenario SSP5-8.5 en los meses de julio a octubre. Por otro lado, para el escenario SSP2-4.5, entre los meses de noviembre a abril se proyecta un aumento en la oferta hídrica de hasta un 19.2% con respecto a los caudales históricos, y un aumento de hasta un 43.9% para el escenario SSP5-8.5.

En cuanto a la estacionalidad, se prevé un ligero desplazamiento de aproximadamente un mes, es decir, los valores históricos de caudal para cada mes en los próximos años corresponderían al mes anterior.

Los modelos climáticos globales (GCMs) muestran que la precipitación media anual tiene una tendencia a incrementarse. Según las proyecciones más elevadas de las futuras emisiones de gases de efecto invernadero (SSP5- 8.5), se espera que las precipitaciones aumenten un 18.63% a finales de este siglo. En un escenario de emisiones más bajas (SSP2-4.5), el aumento previsto es del 11.55%.

En relación con la temperatura, se muestra que los modelos climáticos globales (MCG) coinciden en que se espera un aumento gradual en el transcurso de los años hasta el 2099, con una posible tendencia de incremento de hasta 2.35°C para el escenario SSP2-4.5 y un incremento de 3.34°C para el escenario SSP5-8.5.

### 5.2. Recomendaciones

Se recomienda a entidades como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) la instalación de estaciones hidrometeorológicas en mayores puntos dentro del territorio nacional y en particular dentro de la

cuenca Urubamba, esto con el objetivo de mejorar la modelación hidrológica y gestionar los recursos hídricos de manera eficiente.

Es importante considerar el mantenimiento de las estaciones meteorológicas dado que garantizan la precisión y confiabilidad de las mediciones y, en consecuencia, la calidad de los pronósticos y la toma de decisiones en diversos sectores. Si no se considera el mantenimiento adecuado, estos instrumentos pueden presentar errores en las lecturas, lo que afectaría la fiabilidad de las predicciones y los modelos climáticos. El mantenimiento regular asegura que todos los instrumentos estén correctamente calibrados y funcionen dentro de los parámetros establecidos. Además, este mantenimiento periódico ayuda a identificar posibles problemas antes de que se conviertan en fallos importantes. Esto reduce el tiempo de inactividad y asegura que la estación continúe operando de manera eficiente.

Respecto al uso de programas para el manejo de grandes volúmenes de datos, como los Modelos climáticos Globales que se encuentran en formato ráster, se sugiere utilizar lenguajes como R, entre otros lenguajes de programación similares, debido a su eficacia en estos casos.

Se recomienda emplear técnicas de escalamiento para corregir los sesgos en las predicciones, aunque se observó que este procedimiento puede eliminar ciertos eventos extremos identificados por los GCMs. Por ello, para investigaciones enfocadas en la identificación de eventos extremos (como fenómenos del Niño, sequías, inundaciones, etc.), sería más adecuado aplicar otros métodos de corrección de sesgos.

Se recomienda continuar con el estudio de la cuenca del río Mapacho, considerando próximos estudios sobre la simulación de erosión y el transporte de sedimentos en la cuenca, y analizar la calidad de agua, considerando la influencia de estos parámetros en la distribución y disponibilidad de agua en la cuenca para los diferentes usos.

Se alienta a utilizar la herramienta de evaluación de agua y suelos (SWAT) para futuras investigaciones evaluando el impacto ambiental sobre la calidad de agua, erosión del suelo y transporte de sedimentos en la cuenca alta del río Mapacho.

Finalmente, se recomienda y alienta a futuros investigadores continuar investigando en este campo de la ciencia e ingeniería, dado que el cambio climático se encuentra en un punto crítico y sus efectos son cada vez más evidentes, con distintas intensidades y frecuencias en diversas partes del mundo. Además, es recomendable realizar estudios sobre estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbaspour, K. (2015). *SWAT CUP-Calibration and Uncertainty Programs: A User Manual*. Suiza: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). [https://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual\\_swatcup.pdf](https://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual_swatcup.pdf)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper N°56: Roma.
- Amador, J., & Alfaro, E. (2007). *Métodos dinámicos y estadísticos de reducción de escala: Aplicaciones al clima, variabilidad climática y cambio climático*. Costa Rica: Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Escuela de Física. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/1a9ee84a-7fd1-4461-9dd0-5ded72b242ac/content>
- ANA & MINAGRI. (2013). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Lima: Autoridad Nacional del Agua. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa Editores.
- Arnold, J. G., Moriasi, D.N., Gassman, Abbaspour, K., White, M. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. University of Nebraska-Lincoln. 406. [https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1408&context=biosysengfa\\_cpub](https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1408&context=biosysengfa_cpub)
- Astorayme, M. (2017). *Configuración de Modelos Climáticos Hidrológicos e Hidráulicos en la cuenca del río Rímac*, Perú. Lima: PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8506>
- Asurza, F., & Lavado, W. (2020). Estimación de parámetros regionales del modelo SWAT: metodología y aplicación a cuencas hidrográficas en el drenaje del Pacífico peruano. *Agua*, 12(11), 3198. <https://doi.org/10.3390/w12113198>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Inventario de fuentes de agua superficiales cuenca del río Urubamba*. Cusco: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. <https://crhc.ana.gob.pe/urubamba/ambito-de-gestion/calidad-de-agua>
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). *Formulación de los planes de gestión de recursos hídricos en dos cuencas piloto de la vertiente del Atlántico: Pampas y Vilcanota Urubamba: Informe de Diagnóstico-Cuenca Vilcanota-Urubamba*. Lima: Incla.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe, O. (2017). *Uso del Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios*,

*Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico*. Lima: Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017.

<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-8.pdf>

- Bello, C. (2019). *Cuantificación de la alteración hidrológica en la Cuenca del Río Vilcanota para el periodo 1965-2016*. (Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas). Universidad Agraria La Molina (UNALM). <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3999>
- Bettolli, M., Rivera, J., & Penalba, O. (2010). *Regionalización de los días secos en Argentina. Un enfoque metodológico*. Buenos Aires: FCEN-UBA.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres- PREDES. (2011). *Plan de Operaciones de Emergencia de la Provincia de Paucartambo ante sismos, deslizamientos, huaycos y otros peligros*. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación- COSUDE: Lima. [https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/poe\\_paucartambo.pdf](https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/poe_paucartambo.pdf)
- Chereque, W. (1980). *Hidrología*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chow, V, T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Colin, G., Palacios, E., López, A., Bolaños, M., Flores, H., Ascencio, R., & Canales, E. (2024). Evaluation of the Impact of Climate Change on the Water Balance of the Mixteco River Basin with the SWAT Model. *Hydrology*, 11(4), 45. <https://doi.org/10.3390/hydrology11040045>
- Collados, A., Pulido, D., Jimeno, P., & Fernández, F. (2015). *Aplicación de técnicas de reescalado estadístico en la generación de series climáticas futuras para los escenarios de emisiones A1B y RCP8.5*. España: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Corporación Autónoma Regional de Tolima- CORTOLIMA. (2019). *Caracterización morfológica de la subzona hidrográfica del río Totare*. [https://cortolima.gov.co/images/POMCA/POMCA\\_Rio\\_Totare/Caracterizacion\\_Fisico\\_Biotica/caracterizacion\\_morfometrica.pdf](https://cortolima.gov.co/images/POMCA/POMCA_Rio_Totare/Caracterizacion_Fisico_Biotica/caracterizacion_morfometrica.pdf)
- Del Águila, S. (2021). *Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú* (Tesis de doctorado en Recursos Hídricos). Repositorio institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstreams/28c0e2bb-90bb-4d33-8338-eeee1e8edffe/download>
- Del Águila, S. (2024). *Modelamiento hidrológico de cuencas andinas*. Ayacucho: Fondo Editorial de la UNSCH. [https://oficinas.unsch.edu.pe/vri/wp-content/uploads/2024/04/df\\_2422715.001\\_LIBRO-MODELAMIENTO-HIDROLO%CC%81GICO-final.pdf](https://oficinas.unsch.edu.pe/vri/wp-content/uploads/2024/04/df_2422715.001_LIBRO-MODELAMIENTO-HIDROLO%CC%81GICO-final.pdf)

- Del Águila, S. y Mejía, A. (2021). Caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2), 1-20. <https://doi:10.24850/j-tyca-2021-02-12>
- Espinel, P. (2015). *Procedimiento para efectuar una Clasificación Ascendente Jerárquica de un Conjunto de Puntos utilizando el Método de Ward*. Ecuador. Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latucunga. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Infociencia/article/view/977/pdf>
- Fang, G., Yang, J., Chen, Y., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2547-2559. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-19-2547-2015>
- FAO-Unesco. (1971). *Mapa mundial de suelos 1:5'000,000: Volumen IV, América del Sur*. Paris: UNESCO. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Amb-188.pdf>
- Fernández, C. (2017). *Modelamiento Hidrológico de la Región Hidrográfica del Titicaca*. Lima: Dirección de Hidrología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-44.pdf>
- Fernandez-Palomino, C., Hattermann, F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., & Bronstert, A. (2021). Towards a more consistent eco-hydrological modelling through multi-objective calibration: A case study in the Andean Vilcanota River basin, Peru. *Hydrological Science Journal*, 66, 59-74. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1846740>
- Gámez, W. (2010). *Texto básico de hidrología*. Nicaragua: Editronic S.A.
- Gobierno Regional del Cusco. (2005). *Zonificación Ecológica Económica: Departamento del Cusco*: Dirección de estudios y proyectos de gestión ambiental. [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/estudio\\_de\\_la\\_propuesta\\_de\\_zee\\_2.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/estudio_de_la_propuesta_de_zee_2.pdf)
- Gómez Garzón, A. (2020). *Caracterización de una cuenca: principios y métodos. Serie de Seminarios virtuales 2020*. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMIIR). México. <https://www.riego.mx/files/webinars/webinar04.pdf>
- González-Celada, G., Ríos, N., Benegas-Negri, L., & Argotty-Benavides, F. (2021). Impacto del cambio climático y cambio de uso/cobertura de la tierra en la respuesta hidrológica y erosión hídrica en la subcuenca del río Quiscab. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(6), 363-421. DOI: 10.24850/j-tyca-2021-06-09
- Goyburo, A. (2021). *Reconstrucción histórica y proyecciones de cambio climático de la seguridad hídrica en la cuenca Vilcanota, Urubamba*. (Tesis para optar al grado de

- Magíster en Recursos Hídricos). Universidad Agraria La Molina (UNALM). <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5086>
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC). (2020). *El cambio climático y la tierra. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres*. Suiza: PNUMA.
  - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2002). *Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC*. Ginebra: IPCC.
  - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2007). *Cambio climático y diversidad: Documento Técnico VI del IPCC*. Suiza: IPCC.
  - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2014). *Cambio climático, impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Suiza: IPCC.
  - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2018). *Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC?* Suiza: Secretaría del IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_what\\_ipcc\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_what_ipcc_es.pdf)
  - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2021). *Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. PNUMA: Suiza. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf)
  - Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill. <https://cgspace.cgiar.org/items/6afef8fd-0375-41ff-b20f-d7bd78a9a1cf>
  - Huacoto, Y. (2012). *Homogenización usando el método del vector regional y completación de la información pluviométrica: Cuenca del río Chillón- Subcuenca Larancocha*. Lima: Publicación histórica de SENAMHI. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3299>
  - Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente- IMA. (2007). *ZEE Quispicanchis*. Cusco: Centro Bartolomé de las Casas. [https://www.ima.org.pe/estudios/zee-quispicanchis/CARACTERIZACION\\_ZEE\\_QUISPICANCHIS\\_FINAL.pdf](https://www.ima.org.pe/estudios/zee-quispicanchis/CARACTERIZACION_ZEE_QUISPICANCHIS_FINAL.pdf)
  - Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente- IMA. (2019). *Estudio hidrológico del perfil de proyecto: Mejoramiento y Ampliación de los servicios de protección contra inundaciones en el río Mapacho, distrito de Paucartambo y Challabamba, provincia de Paucartambo, departamento del Cusco*. Gobierno Regional del Cusco: Cusco.

- Instituto Nacional de Estadística e Información- INEI. (2017). *Resultados oficiales del Censo 2017*. Recuperado de: <http://www.inei.gob.pe>
- Instituto Peruano de Economía. (2021). *Índice de Desarrollo Humano-IDH*. Lima: IPE. <https://www.ipe.org.pe/portal/wp-content/uploads/2011/11/IDH-y-Componentes-2003-2019.xlsx>
- Lenderink, G., Buishand, A., & Van Deursen, W. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: Direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3), 1145-1159. <https://hess.copernicus.org/articles/11/1145/2007/hess-11-1145-2007.pdf>
- León, R., Portuguez, D. y Chávarri, E. (2019). *Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio climático*. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), p.182-193. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.476>
- Linsley, R., Kohler, M., Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros*. USA: Editorial McGraw-Hill. 2da edición.
- McCuen, R. (1998) *Hydrologic Design and Analysis*. New Jersey: Prince Hal
- Mediero, L. (2007). *Pronóstico probabilístico de caudales de avenida mediante redes bayesianas aplicadas sobre un modelo hidrológico distribuido*. España: Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética. [http://oa.upm.es/669/1/LUIS\\_MEDIERO\\_ORDU%C3%91A.pdf](http://oa.upm.es/669/1/LUIS_MEDIERO_ORDU%C3%91A.pdf)
- MINAM. (2011). *Informe Perú: Vulnerabilidad de las ciudades frente al cambio climático en agua potable y saneamiento*. Lima. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/informe-peru-vulnerabilidad-las-ciudades-frente-cambio-climatico-agua>
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería 2da edición*. Colombia: Alfaomega.
- Moriasi, D., Gitau, M., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and Evaluation Criteria. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*, 58(6), 1763-1785. [https://www.researchgate.net/publication/289540757\\_Hydrologic\\_and\\_Water\\_Quality\\_Models\\_Performance\\_Measures\\_and\\_Evaluation\\_Criteria](https://www.researchgate.net/publication/289540757_Hydrologic_and_Water_Quality_Models_Performance_Measures_and_Evaluation_Criteria)
- Moya, A., Ortega, J., & Pacheco, X. (2015). Evaluación del Modelo climático global MIRCOS5 y estimaciones de temperatura y precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú. *Apuntes Ciencias Sociales*, 05(02). <https://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/325/332>
- Neitsch, S.; Arnold, J.; & Kiniry, J. (2005). *Soil and Water Assessment Tool User's Manual. Versión 2000*. <https://swat.tamu.edu/media/1290/swat2000theory.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas- ONU. (1992). *¿Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático?* Ginebra: UNFCC. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- OXFAM. (2007). *Pobreza, desigualdad y desarrollo en el Perú: Informe Anual 2005-2007*. Lima: Oficina del Programa Perú.
- Pascual, J., & Díaz, M. (2016). *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS*. Madrid: Parque Científico Tecnológico de la Universidad de Alcalá. [https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos%20de%20Geomat%C3%81tica%204\\_b.pdf](https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos%20de%20Geomat%C3%81tica%204_b.pdf)
- Potter, E., Fyffe, C., Orr, A., Quincey, D., Ross, A., Rangelcroft, S., Medina, K., Burns, H., Llacza, A., Jacome, G., Hellstrom, R., Castro, J., Cochachin, A., Montoya, N., Loarte, E., & Pellicciotti, F. (2023). A future of extreme precipitation and droughts in the Peruvian Andes. *Climate and Atmospheric Science*, 6(96), 2397-3722. <https://eprints.whiterose.ac.uk/200282/14/s41612-023-00409-z.pdf>
- Rodas, F. (2022). *Evaluación del cambio climático y su efecto en la disponibilidad hídrica futura de la cuenca Caplina-Tacna*. (Tesis para optar al Título profesional en Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22538>
- SENAMHI. (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú*. Lima: SENAMHI. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)
- SENAMHI. (2016a). *Corrección de BIAS para pronósticos de precipitación del modelo ETA/SENAMHI*. Lima: Dirección de meteorología y evaluación atmosférica.
- SENAMHI. (2016b). *Asimilación y evaluación de datos de precipitación en base a satélite en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Vilcanota*. Lima: SENAMHI.
- SENAMHI. (2019). *Caracterización temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018)*. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Lima. [https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/233/Caracterizaci%C3%B3n-espacio-temporal-sequ%C3%ada-departamentos-altoandinos-Per%C3%ba\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/233/Caracterizaci%C3%B3n-espacio-temporal-sequ%C3%ada-departamentos-altoandinos-Per%C3%ba_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos- SNIRH. (2023). *Plataforma ANDREA: Manual de usuario*. Lima: Autoridad Nacional de Agua (ANA). <https://es.scribd.com/document/762951774/Manual-de-Usuario-ANDREA>

- Supo, J. (2017). *Portafolio de aprendizaje para la docencia de investigación científica*. Guatemala: Bioestadístico Masterclass.
- Torreblanca, L. (2020). *Predicción de la hidrología en la cuenca del río Cancusane hasta su almacenamiento en la represa “El Frayle” hasta el año 2050* (Tesis para optar el título en Ingeniería Civil). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/09f57562-9dd1-4642-ab07-b7be79d38d26/content>
- Uribe, (2010). *Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. Version SWAT 2005*. <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorialspanish.pdf>
- Urrutia, R. & Vuille, M. (2009). Climate Change Projections for the Tropical Andes Using a Regional Climate Model: Temperature and Precipitation Simulations for the End of the 21st Century. *Journal of Geophysical Research*, 114, Article ID: D02108. <http://dx.doi.org/10.1029/2008JD011021>
- Valdivieso, F. y Naranjo, G. (2003). Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del río Catamayo. En III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográfica. s.l., s.e. p. 8–13.
- Vargas, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2009/Documento-de-Trabajo-14-2009.pdf>
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Waheed, A., Jamal, M., Javed, M., & Muhammad, K. (2024). A CMIP6 multi-model based analysis of potential climate change effects on watershed runoff using SWAT model: A case study of Kunhar River Basin, Pakistan. *Heliyon*, 10(8), e28951. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28951>

## ANEXOS

### Anexo A. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	PRINCIPAL	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativa
<b>PG:</b> ¿De qué manera influye el cambio climático en la generación de los caudales en la cuenca alta del río Mapacho bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099?	<b>OG:</b> Analizar la influencia del cambio climático sobre la generación de los caudales bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	<b>HG:</b> El cambio climático influye significativamente en los caudales en la cuenca alta del río Mapacho bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	VARIABLE 1: CAUDALES  X1: Caudales estimados X2: Caudales proyectados  INDICADORES  1) Precipitación histórica 2) Temperatura histórica 3) Uso de suelos 4) Cobertura vegetal 5) 6) Caudales observados	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptiva Correlacional Predictiva  DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Investigación No experimental- Longitudinal
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		TÉCNICA DE SELECCIÓN DE MUESTRAS: No probabilística
<b>PE1:</b> ¿Cuál es la variación porcentual entre los caudales históricos y los caudales futuros bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2- 4.5 y SSP5-8.5 en el periodo de tiempo del año 2023 al 2099 en la cuenca alta del Río Mapacho?	<b>OE1:</b> Determinar la variación entre los caudales históricos y los caudales futuros bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	<b>HE1:</b> Los caudales futuros frente a los caudales históricos varía en gran medida bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	VARIABLE 2: CAMBIO CLIMÁTICO  INDICADORES  1) Modelos climáticos globales (MCG) 2) Escenarios de emisión- Trayectorias	INSTRUMENTOS: 1. Software hidrológico SWAT 2. Softwares estadísticos - RStudio

			Socioeconómicas compartidas (SSP)	- Easyfit
<b>PE2:</b> ¿En qué medida varía la precipitación histórica de la precipitación futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2- 4.5 y SSP5-8.5 en el periodo de tiempo del año 2023 al 2099 en la cuenca alta del Río Mapacho?	<b>OE2:</b> Determinar la variación entre la precipitación histórica y la precipitación futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	<b>HE2:</b> Existe una variación considerable entre la precipitación histórica y la precipitación futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	3) Tiempo (corto, mediano y largo plazo) 4) Precipitación proyectada 5) Temperatura proyectada	
<b>PE3:</b> ¿En qué medida varía la temperatura histórica de la temperatura futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2- 4.5 y SSP5-8.5 en el periodo de tiempo del año 2023 al 2099 en la cuenca alta del Río Mapacho?	<b>OE3:</b> Determinar la variación entre la temperatura histórica y la temperatura futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.	<b>HE3:</b> Existe un incremento significativo de la temperatura histórica comparada con la temperatura futura proyectada bajo los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en la cuenca Alta del río Mapacho durante el periodo de tiempo del año 2023 al 2099.		



## Anexo B. Antecedentes de la cuenca

### Anexo B1. Aspectos socioeconómicos de la cuenca

Para realizar el análisis del componente socioeconómico se parte de la información de las provincias involucradas territorialmente a la cuenca en estudio, dentro de la región del Cusco, tales como Paucartambo y Quispicanchi, se realiza el análisis considerando los siguientes aspectos:

#### - *Población*

La cuenca alta del río Mapacho políticamente se ubica en cinco distritos de las provincias de Paucartambo y en tres distritos de la provincia de Quispicanchi.

**Tabla 73**

*Distritos pertenecientes a la cuenca alta del río Mapacho*

Cuenca	Región	Provincia	Distritos
Mapacho- Zona alta	Cusco	Paucartambo	Challabamba, Paucartambo, Caicay,
		Quispicanchi	Colquepata, Huancarani Ocongate, Ccatca, Carhuayo

*Nota:* Elaboración propia, en base a INEI (2017)

Según el Censo de Población y Vivienda del año 2017 realizado por el INEI (2017), los distritos dentro de la cuenca tienen aproximadamente 154,322 viviendas, de las cuales más del 19% se encuentran en el distrito de Paucartambo, siendo este uno de los que más crecimiento poblacional presentó en el período de tiempo del año 2007 al año 2017, juntamente con el distrito de Colquepata, donde se desarrollan actividades turísticas.

De otro lado, la provincia de Quispicanchi que comprende la parte alta de la cuenca, donde la actividad agropecuaria es la principal actividad económica, ha presentado un crecimiento lento y en algunos distritos hasta decrecimiento poblacional en el mismo periodo de tiempo.

**Tabla 74**

*Población y densidad poblacional de la provincia de Paucartambo*

Distrito	Población (habitantes)		Superficie (km <sup>2</sup> )	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	
	2007	2017		2007	2017
Paucartambo	11028	12057	1259.13	8.8	9.6
Caicay	2398	2521	110.72	21.7	22.8
Challabamba	8621	8433	746.56	11.5	13.4
Colquepata	8572	9616	467.68	18.3	20.6
Huancarani	6204	6910	145.14	42.7	47.6
Kosñipata	3873	4790	3565.78	1.1	1.3
Total	40696	44327	6295.78	6.5	7.3



Nota: Tomado de Censo Nacional de Población y Vivienda- Censo 2017- INEI- Cusco

### - *Indicadores de Pobreza*

Dentro de la cuenca Alta del río Mapacho, alrededor del 50% de la población se encuentra en situación de pobreza, a continuación, se muestran los indicadores de pobreza por provincia.

**Tabla 75**

*Condición de pobreza en las provincias dentro de la cuenca alta del río Mapacho (%)*

Región	Provincia	Nivel de pobreza (%)			No pobreza
		Total	Extrema	No extrema	
Cusco	Paucartambo	73%	44.3%	28.7%	27%
	Quispicanchi	64%	30.8%	33.2%	36%
	Promedio cuenca	68.5%	37.55	30.95%	31.5%

Nota: Adaptado del Mapa de pobreza provincial y distrital, INEI (2017)

Según el último reporte de las Naciones Unidas para el Desarrollo Humano (PNUD), la provincia de Paucartambo ocupa el puesto 194 a nivel nacional, de un total de 195 provincias del país. El distrito con mayor pobreza es el distrito de Challabamba ocupando el lugar 1816 de 1838 distritos existentes en el Perú.

### - *Indicadores de Desarrollo Humano (IDH)*

A través de la publicación de Instituto Peruano de Economía (2021), los resultados del Índice de Desarrollo Humano (IDH) al año 2019, a nivel distrital de la provincia de Paucartambo y Quispicanchi, son los siguientes:

**Tabla 76**

*Indicadores del IDH a nivel distrital- Paucartambo- Año 2019*

Distrito	Población	Esperanza de vida al nacer (Años)	Población (18 años) educación secundaria completa	Ingreso familiar per cápita (S/.)	Índice de desarrollo Humano
Paucartambo	12676	59.5	42.68 %	285.51	0.2466
Caicay	2732	63.6	52.96 %	261.77	0.2453
Challabamba	9922	59.7	50.75 %	170.57	0.1908
Colquepata	9398	66.1	55.64 %	124.74	0.1747
Huancarani	7395	67.2	71.50 %	210.76	0.2542
Kosñipata	5309	62.7	65.89 %	454.30	0.3612



Nota: Adaptado en base al Informe sobre Desarrollo Humano/PNUD, Perú (2021)

**Tabla 77**

*Indicadores del IDH a nivel distrital- Quispicanchi- Año 2019*

Provincia	Esperanza de vida al nacer (Años)	Poblac 18 años con educación secundaria completa (%)	Años de educación (Poblac 25 y más) (Años)	Ingreso familiar per cápita (S/.)	IDH
Provincia Quispicanchi	<b>65.53</b>	<b>60.42</b>	<b>5.45</b>	<b>420.78</b>	<b>0.3466</b>
<b>Distrito</b>					
Urcos	65.57	72.80	7.25	719.10	0.4629
Andahuaylillas	63.31	67.24	7.58	698.33	0.4480
Camanti	57.23	65.70	7.86	858.41	0.4563
Ccarhuayo	62.56	48.98	3.33	129.91	0.1768
Ccatca	70.18	51.55	3.19	164.03	0.2069
Cusipata	61.46	59.94	5.23	273.63	0.2818
Huaro	66.43	58.41	7.11	635.23	0.4284
Lucre	60.13	63.57	7.65	772.36	0.4475
Marcapata	63.13	30.49	3.84	194.46	0.2050
Ocongate	67.03	59.60	3.69	281.29	0.2701
Oropesa	64.79	77.15	8.36	844.31	0.5066
Quiquijana	69.18	53.23	4.06	251.91	0.2663

Nota: Adaptado en base al Informe sobre Desarrollo Humano/PNUD, Perú (2021)

- **Actividades económicas**

A nivel provincial de la región Cusco, la mayor parte de las principales actividades productivas y comerciales están concentradas en las ciudades de Cusco, Sicuani y Quillabamba. Para el caso de la provincia de Paucartambo, se tienen como actividades principales a la agricultura, ganadería y producción agroindustrial. En la actividad agrícola, los productos comerciales se basan en cultivos como el maíz y la papa. La ganadería, por su parte, tiene mayor presencia en las partes altas de la cuenca, utilizándose la carne del ganado vacuno. Para la producción agroindustrial se utilizan las harinas de trigo, cebada y maíz, así como mermeladas y néctares de frutas.

Por otra parte, en la provincia de Quispicanchi, específicamente en los distritos de Ocongate, Ccatca y Carhuayo, se tienen como principal actividad económica a la ganadería.

Los corredores económicos más importantes dentro del área de influencia son:

Cusco- Paucartambo-Pillcopata

Urcos- Ocongate- Quincemil



### **Anexo B.2. Usos de suelos**

El uso del suelo se refiere a la ocupación de una superficie determinada en función de su capacidad agrológica y por tanto de su potencial de desarrollo. Se clasifica de acuerdo a su ubicación como urbano o rural, representa un elemento fundamental para el desarrollo de la ciudad y sus habitantes, a partir de ello se define la funcionalidad.

La cuenca Mapacho consta de seis tipos de uso de la tierra. El uso principal es pajonal andino, seguido de áreas altoandinas con escasa y sin vegetación, agricultura costera y andina, bofedal, lagos, lagunas, ríos, glaciares y área urbana (IMA, 2007).

**Tabla 78**

*Uso del suelo en la cuenca Mapacho*

Uso del suelo	Área (km <sup>2</sup> )	% Total de área
Área agrícola	4845,92	8.25%
Cuerpos de agua	149,93	0.25%
Praderas/arbustos	15450,8	26.30%
Zona de nieve	9,25	0.02%
Zona húmeda	38268,92	65.16%
Zona construida	10,18	0.02%
<b>TOTAL</b>	<b>58735</b>	<b>100%</b>

*Nota:* Tomado de IMA (2007) a través del ZEE.

### **Anexo C. Análisis de información incompleta**

A continuación, se presenta la cantidad de años con información completa, incompleta y sin información (vacío) de las estaciones de manera gráfica:



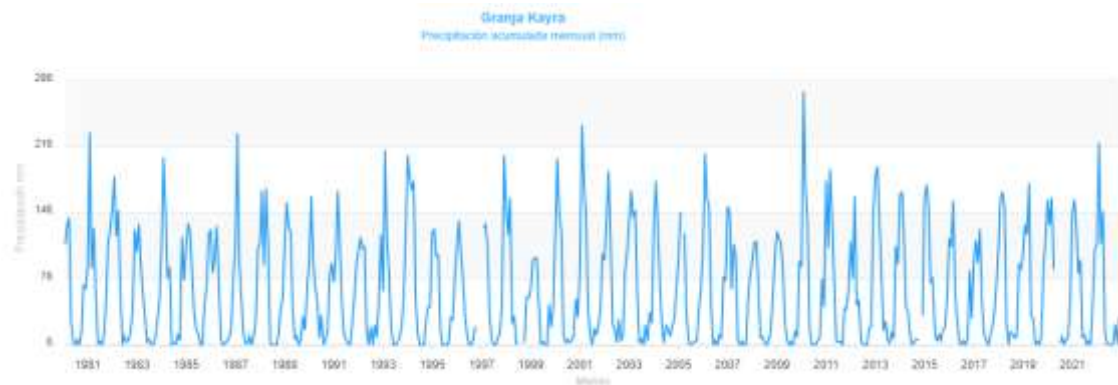
## Anexo C2. Histogramas incompletos de estaciones

### - Estación Luis Olivera Olazo (Perayoc)

En la estación Perayoc se observa discontinuidad en la información. Los datos presentan un salto visual desde el año 2017 al año 2019.

**Figura 123**

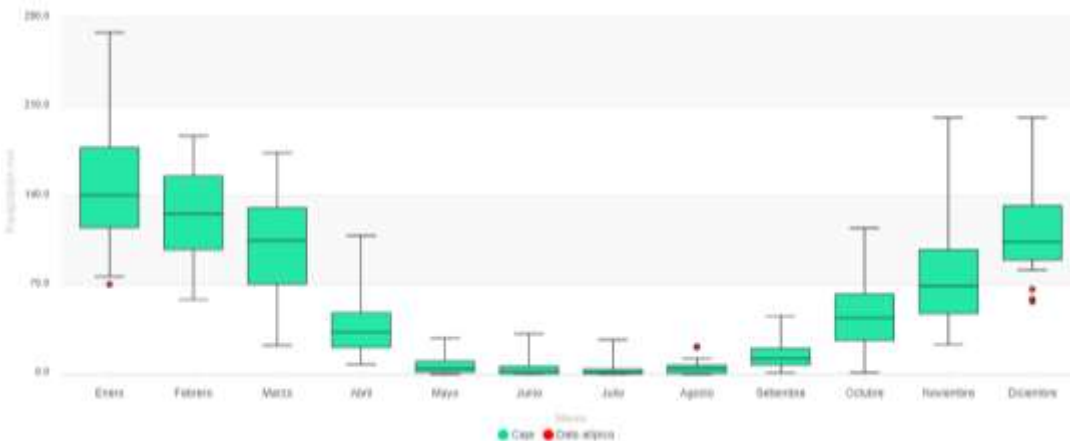
*Análisis visual de la precipitación total mensual (mm)- Estación de Kayra*



*Nota.* Elaboración propia, en base a información de ANDREA (2023).

**Figura 124**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Kayra*



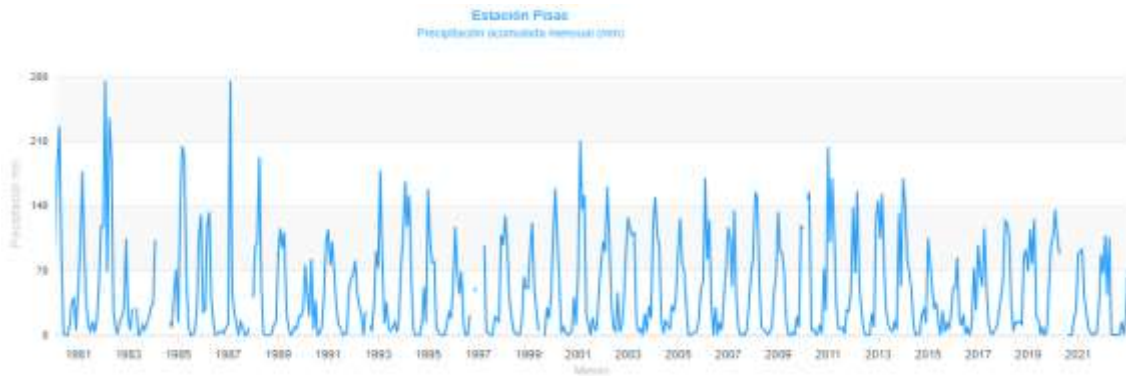
*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

### - Estación Pisac

En la estación Pisac se observa discontinuidad en la información. Los datos presentan saltos visuales en periodos de tiempo cortos como por ejemplo entre el año 1987 y el año 1989. Los saltos cortos se pueden apreciar de mejor manera en la figura siguiente:

**Figura 125**

*Datos de precipitación total mensual- Estación Pisac*



Nota. Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**Figura 126**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Pisac*



Nota. Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

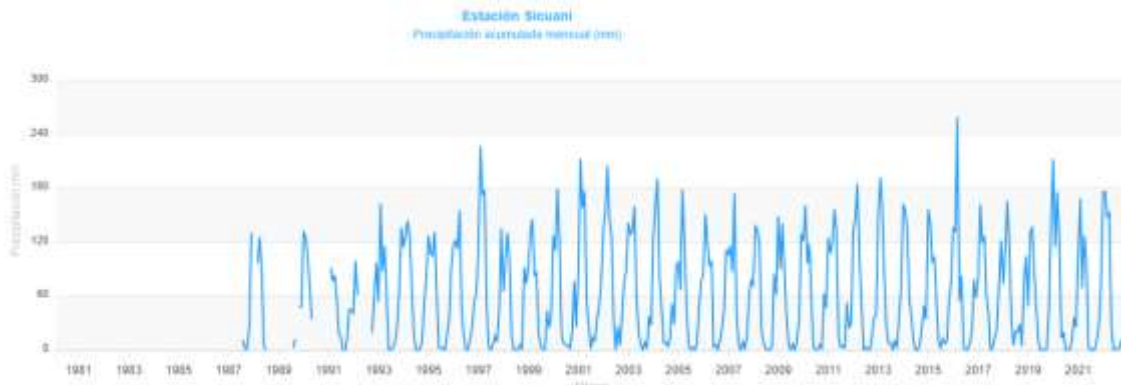
**- Estación Sicuani**

Según los datos de precipitación en la estación se observa que se tiene información de las precipitaciones a partir del año 1987, existen también saltos visuales en periodos cortos de tiempo como por ejemplo entre el año 1988 y 1989.



**Figura 127**

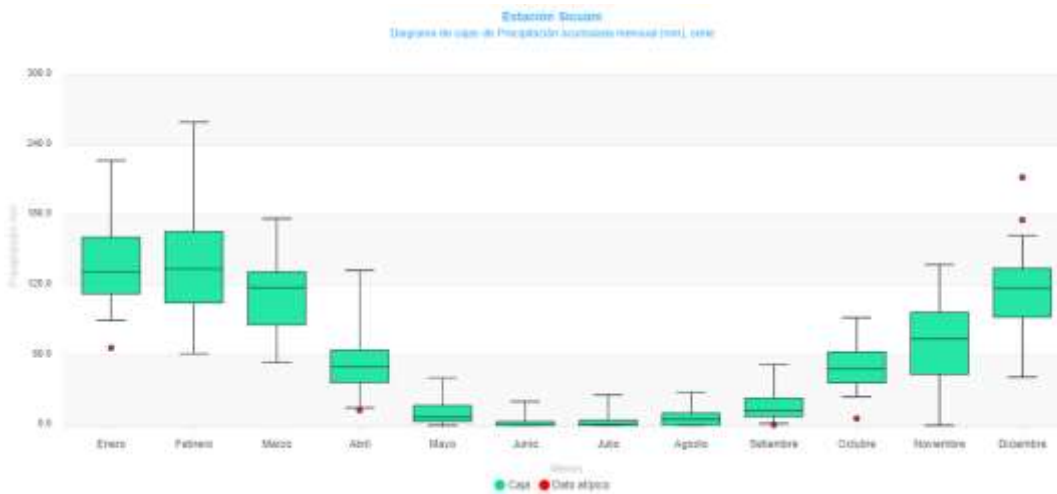
*Datos de la precipitación total mensual- Estación Sicuani*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023)

**Figura 128**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Sicuani*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

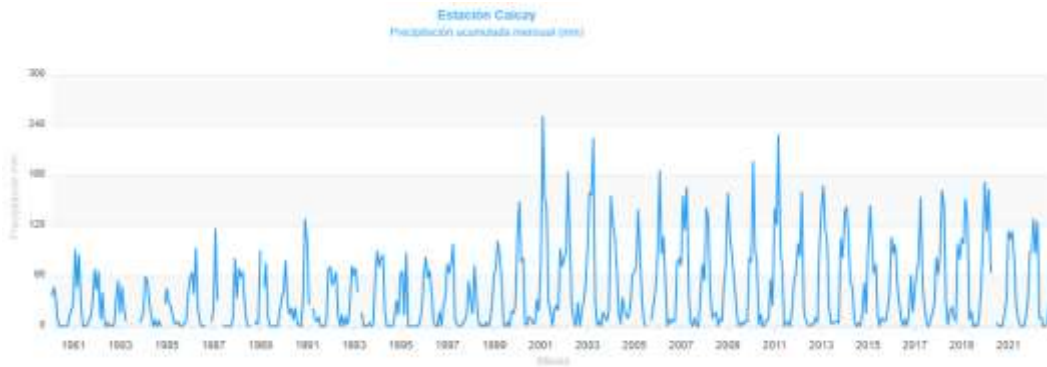
**- Estación Caicay**

En la estación Caicay se observa discontinuidad en la información. Los datos presentan saltos visuales en periodos de tiempo cortos como por ejemplo entre el año 1983 y el año 1984. Los saltos cortos se pueden apreciar de mejor manera en la figura siguiente:



**Figura 129**

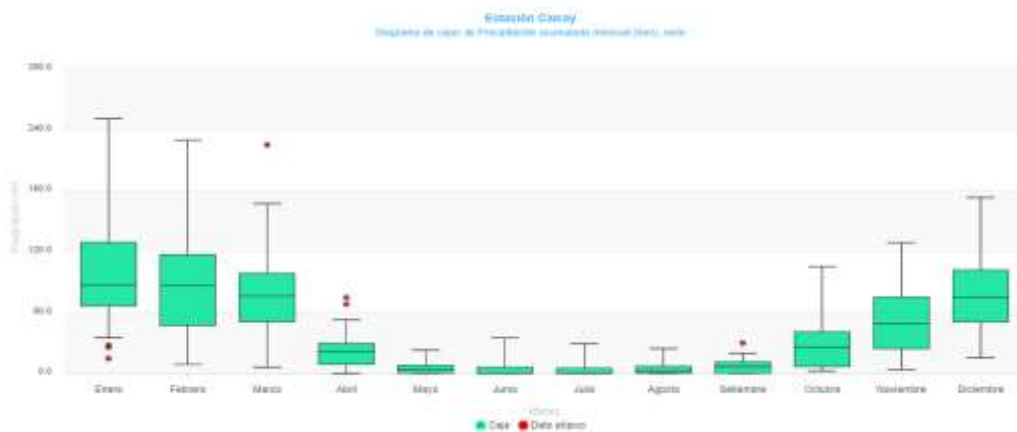
*Datos de la precipitación total mensual- Estación Caicay*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**Figura 130**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Caicay*



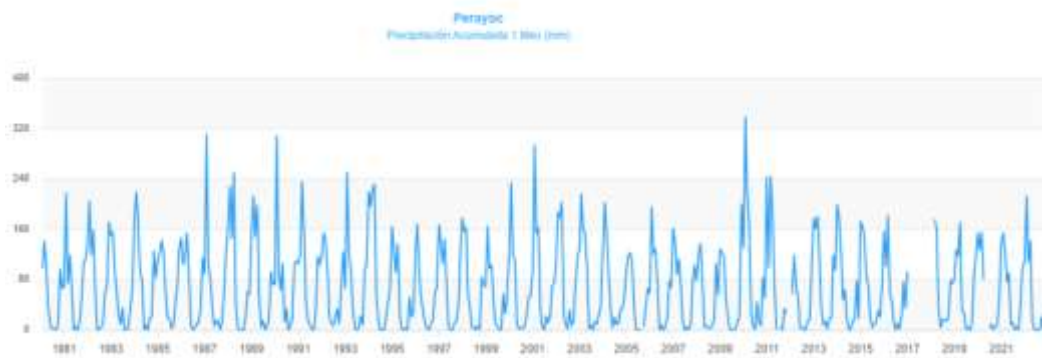
*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**- Estación Luis Olivera Olazo (Perayo)**

En la estación Perayoc se observa discontinuidad en la información. Los datos presentan un salto visual desde el año 2017 al año 2019.

**Figura 131**

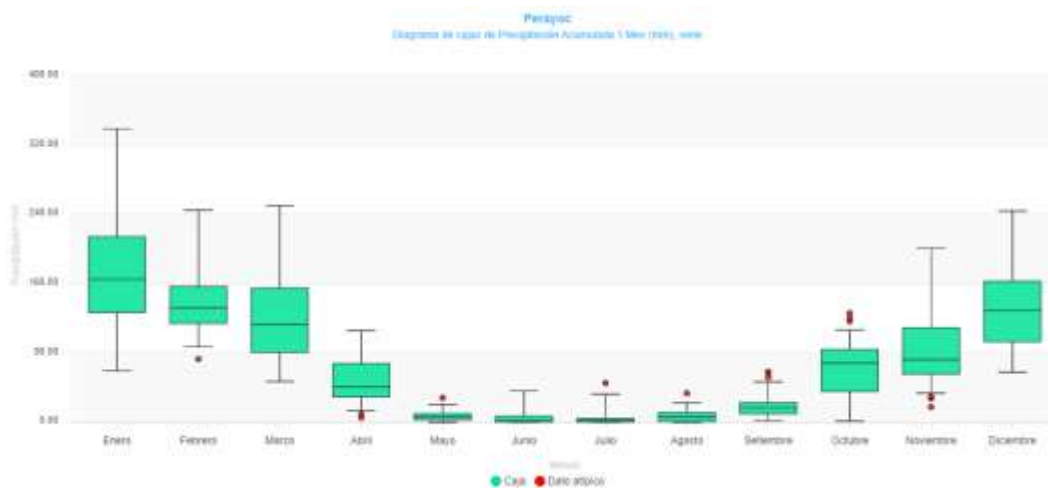
*Datos de la precipitación total mensual- Estación Perayoc*



*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).

**Figura 132**

*Diagrama de cajas de precipitación acumulada mensual (mm)- Estación Perayoc*



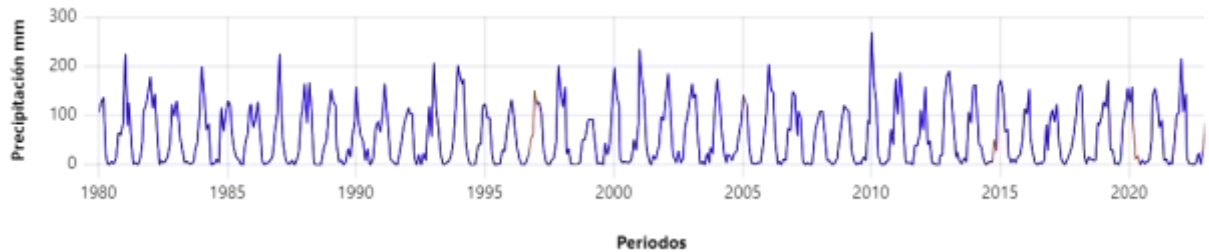
*Nota.* Elaboración propia, en base a los resultados de ANDREA (2023).



### Anexo C3. Histogramas resultantes de la completación de datos pluviométricos

**Figura 133**

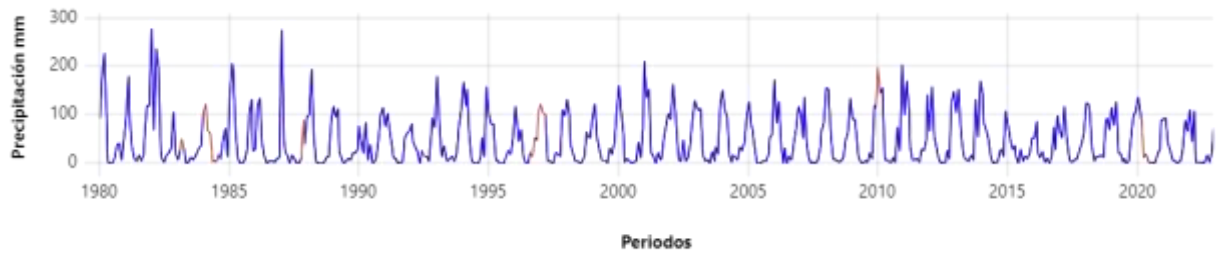
*Histograma con datos completados de la Est. Kayra*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 134**

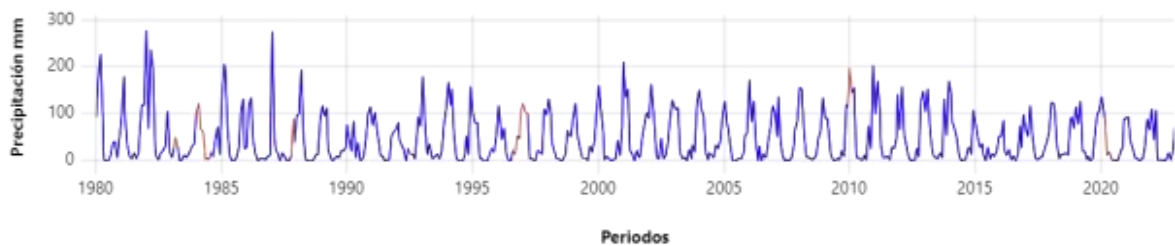
*Histograma con datos completados de la Est. Pisac*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 135**

*Histograma con datos completados de la Est. Sicuani*

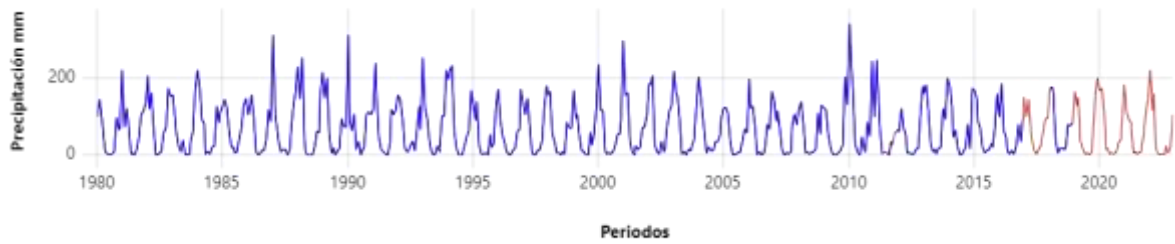


*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).



**Figura 136**

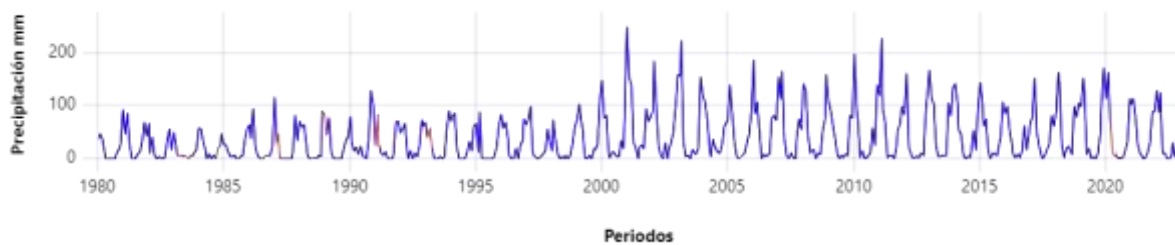
*Histograma con datos completados de la Est. Perayoc*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 137**

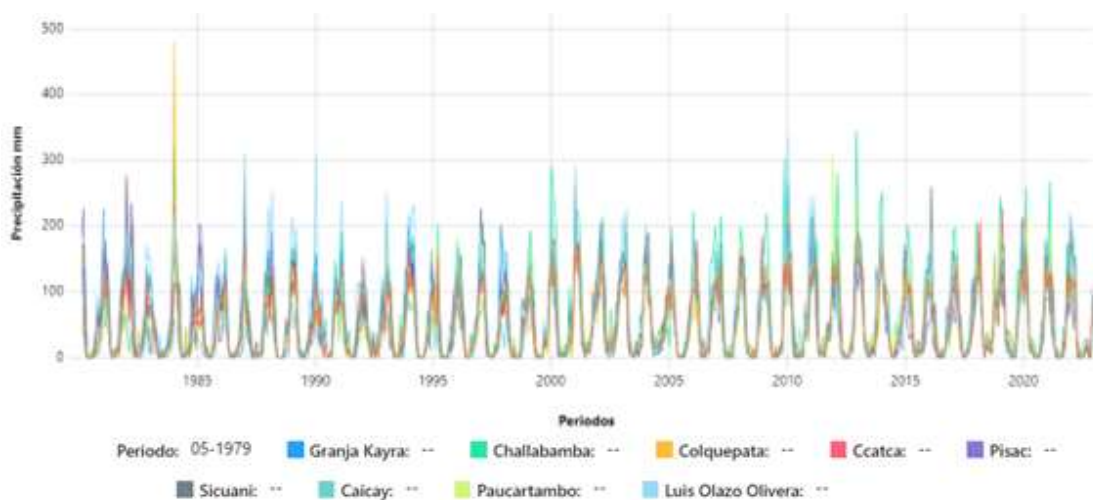
*Histograma con datos completados de la Est. Caicay*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).

**Figura 138**

*Combinación de histogramas con datos completados*



*Nota.* Elaboración en base a plataforma de ANDREA (2023).



## Anexo D. Información PISCO

### Anexo D1. Información PISCO para precipitaciones

#### 1. Descarga de datos PISCO

Se considera la ubicación espacial de las estaciones pluviométricas y se descarga la información de precipitación desde SENAMHI HSR PISCO, el link mediante el cual se accede a la descarga de datos PISCO es el siguiente:

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SEAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es/>.

Se realizó la descarga de datos de precipitación diaria, las mismas que se descargan en formato netcdf. Con la finalidad de poder visualizar la información descargada en formato Excel se realiza la extracción de datos diarios para las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca de estudio según sus coordenadas geográficas. A continuación, se muestra las estaciones que se consideran en la extracción de datos:

**Tabla 79**

*Ubicación de estaciones dentro de la cuenca de estudio*

Estación	Longitud	Latitud
Challabamba	-71.649386	-13.217544
Colquepata	-71.673369	-13.363133
Ccatcca	-71.560112	-13.609892
Paucartambo	-71.596668	-13.30334

*Nota.* Elaboración propia

La extracción de datos PISCO se realiza utilizando el programa R en la plataforma RStudio, a través de un código R que utiliza paquetes “raster” y “netcdf” para la extracción de datos. Con ello, se obtiene la serie de datos de precipitación diaria en formato Excel de cuatro estaciones virtuales para el periodo 1981-2016.





**Figura 141**

*Código R para la extracción de datos PISCO*

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
CODIGO R - DIARIO PRECLIR
1 library(raster)
2 library(ncdf4)
3
4 long_lat <- read.csv("D:/3. TESIS/5.INFORMACION TESIS/1. CODIGO PISCO R/B. PRECIPITACION/1.Entrada/longitud_latitud/long_lat.csv", header = T)
5
6 raster_prec <- raster::brick("D:/3. TESIS/5.INFORMACION TESIS/1. CODIGO PISCO R/B. PRECIPITACION/1.Entrada/PP/prec.nc")
7
8 crs(raster_prec) <- "+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs"
9
10 sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
11
12 raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_prec)
13
14 points_long_lat <- raster::extract(raster_prec[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]
15
16 prec_long_lat <- t(raster_prec[points_long_lat])
17 colnames(prec_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)
18
19 write.csv(prec_long_lat, "D:/3. TESIS/5.INFORMACION TESIS/1. CODIGO PISCO R/B. PRECIPITACION/2. Salida/Diario_prec.csv", quote = F)
20
21
22
```

*Nota.* Código Script elaborado en base a los Script de: Adrian Huerta & Waldo Lavado/Walter Bardales ([ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO\\_v2.0/Software/](ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_v2.0/Software/)).

## Anexo D2. Código R para extraer información desde PISCO

```
library(raster)
```

```
library(ncdf4)
```

```
long_lat <- read.csv("D:/3. TESIS/5.INFORMACION TESIS/1. CODIGO PISCO R/A.  
TEMPERATURA/1. Entrada/Longitud_latitud/long_lat.csv", header = T)
```

```
raster_tmax <- raster::brick("D:/3. TESIS/5.INFORMACION TESIS/1. CODIGO PISCO R/A.  
TEMPERATURA/1. Entrada/Tem/tmax.nc")
```

```
raster_tmin <- raster::brick("D:/3. TESIS/5.INFORMACION TESIS/1. CODIGO PISCO R/A.  
TEMPERATURA/1. Entrada/Tem/tmin.nc")
```

```
#raster_prec <- raster::brick("D:/MODEL_SWAT/DATOS/PrecipDiar.nc")
```

```
#nc <- nc_open("D:/MODEL_SWAT/DATOS/TemMaxDiar.nc")
```

```
crs(raster_tmax) <- "+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs"
```

```
crs(raster_tmin) <- "+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs"
```

```
#crs(raster_prec) <- "+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs"
```

```
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
```

```
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_tmax)
```



```
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_tmin)

points_long_lat <- raster::extract(raster_tmax[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]

points_long_lat <- raster::extract(raster_tmin[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]

tmax_long_lat <- t(raster_tmax[points_long_lat])

colnames(tmax_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)

tmin_long_lat <- t(raster_tmin[points_long_lat])

colnames(tmin_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)

#prec_long_lat <- t(raster_prec[points_long_lat])

#colnames(prec_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)

write.csv(tmax_long_lat, "A. TEMPERATURA/2. Salida/Diario_tmax.csv", quote = F)

write.csv(tmin_long_lat, "A. TEMPERATURA/2. Salida/Diario_tmin.csv", quote = F)
```

### Anexo D3. Evaluación del registro pisco para temperaturas

**Tabla 80**

*Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura máxima en las estaciones (2016)*

	Temperatura máxima mensual (°C)- Año 2016							
	Est. Challabamba		Est. Colquepata		Est. Ccatca		Est. Paucartambo	
Mes	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO
Ene	21.857	23.298	18.439	22.775	17.358	21.410	22.381	22.490
Feb	20.921	22.107	17.603	21.593	16.246	20.159	21.155	21.166
Mar	21.857	22.354	19.250	21.921	17.361	21.577	22.926	21.770
Abr	21.887	22.053	19.917	21.649	17.803	21.240	23.523	21.518
May	21.410	22.513	19.565	21.991	18.097	21.094	23.000	21.739
Jun	20.690	21.752	18.883	21.070	17.115	20.243	21.787	21.006
Jul	20.961	22.440	18.806	21.814	16.900	20.657	22.635	21.687
Ago	20.284	22.785	18.306	22.288	17.090	21.259	21.800	22.026
Set	20.790	23.109	18.450	22.912	17.048	21.852	22.703	22.770
Oct	20.271	22.622	15.871	22.215	16.316	20.534	22.355	21.779
Nov	21.577	23.325	17.600	22.882	18.037	21.786	23.253	22.719
Dic	20.294	21.916	16.677	21.384	16.094	20.609	21.671	21.227
<b>Tmp máxima anual promedio</b>	<b>21.057</b>	<b>22.525</b>	<b>18.277</b>	<b>22.043</b>	<b>17.130</b>	<b>21.037</b>	<b>22.435</b>	<b>21.826</b>

*Fuente: Elaboración propia (2024)*



**Tabla 81**

*Sobreestimación y subestimación de datos de temperatura mínima en las estaciones (2016)*

Mes	Temperatura mínima mensual (°C)- Año 2016							
	Est. Challabamba		Est. Colquepata		Est. Ccatca		Est. Paucartambo	
	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO	SENAMHI	PISCO
Ene	10.629	9.188	5.516	8.434	5.148	7.134	9.616	8.338
Feb	11.390	10.426	6.190	9.573	6.221	8.145	10.226	9.176
Mar	9.907	8.653	5.548	7.976	4.558	6.787	8.990	7.744
Abr	7.987	7.031	5.300	6.311	2.690	5.533	7.517	6.388
May	5.067	2.837	3.726	2.095	-0.974	1.109	5.242	2.316
Jun	3.526	1.644	2.200	0.266	-2.667	-1.247	4.080	1.564
Jul	2.073	1.800	1.355	-0.889	-3.561	-1.421	3.548	2.600
Ago	4.467	2.789	2.065	2.000	-1.906	1.000	5.006	0.469
Set	5.723	2.137	2.967	1.957	0.400	2.569	5.437	2.355
Oct	8.652	5.099	4.484	4.862	4.216	5.056	8.084	5.107
Nov	9.050	6.149	5.033	5.441	3.233	5.261	7.657	5.572
Dic	9.277	8.266	5.306	7.664	4.694	6.888	8.777	7.787
<b>Tmp mínima anual promedio</b>	<b>7.312</b>	<b>5.169</b>	<b>4.133</b>	<b>4.474</b>	<b>1.824</b>	<b>3.826</b>	<b>6.989</b>	<b>4.595</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 142**

*Corrección de datos diarios de la Estación Colquepata para el mes de Enero (1981)*

Fecha	PISCO Colquepata (mm)	Coficiente de escalamiento	PP escalada Colquepata (mm)
01/01/1981	12.26	0.88	10.798043
02/01/1981	1.67		1.470859
03/01/1981	7.19		6.332621
04/01/1981	30.7		27.039145
05/01/1981	1.97		1.735085
06/01/1981	1.39		1.224248
07/01/1981	2.9		2.554186
08/01/1981	1.12		0.986444
09/01/1981	6.05		5.328561
10/01/1981	18.4		16.205872
11/01/1981	1.85		1.629395
12/01/1981	12.99		11.440993
13/01/1981	6.11		5.381406
14/01/1981	4.27		3.760819
15/01/1981	5.37		4.729648
16/01/1981	0.97		0.854331
17/01/1981	17.72		15.606959
18/01/1981	2.23		1.964081
19/01/1981	3.8		3.346865
20/01/1981	7.44		6.552809
21/01/1981	11.12		9.793983
22/01/1981	13.12		11.555491
23/01/1981	0.96		0.845524
24/01/1981	0.05		0.044038
25/01/1981	3.23		2.844835
26/01/1981	7.01		6.174085
27/01/1981	32.15		28.316238
28/01/1981	0.24		0.211381
29/01/1981	0.33		0.290649
30/01/1981	6.06		5.337369
31/01/1981	0.05		0.044038

Nota. Elaboración propia

## Anexo E. Completación de temperatura con Easyfit

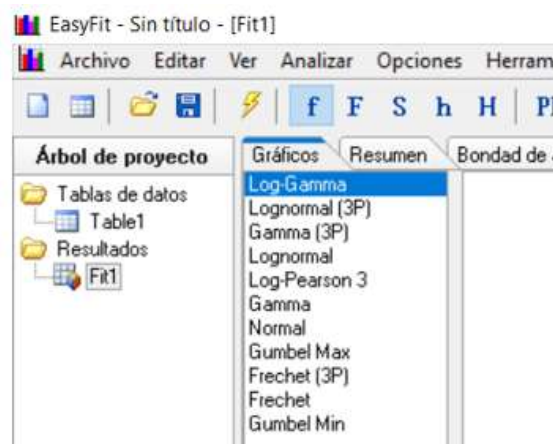
Por ejemplo, a continuación, se muestra el procedimiento de completación de información de temperatura para la estación de Colquepata.

Luego de cargar y preparar los datos de temperatura dentro del programa Easyfit, se realiza un ajuste de distribuciones y se calcula cuál es la mejor según el valor de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

La siguiente figura muestra las distribuciones escogidas para realizar la completación de datos. La distribución que se encuentra primero en la parte superior es la distribución que mejor se ajusta y la que se considera para realizar la completación de datos,

**Figura 143**

*Elección de la función de distribución*

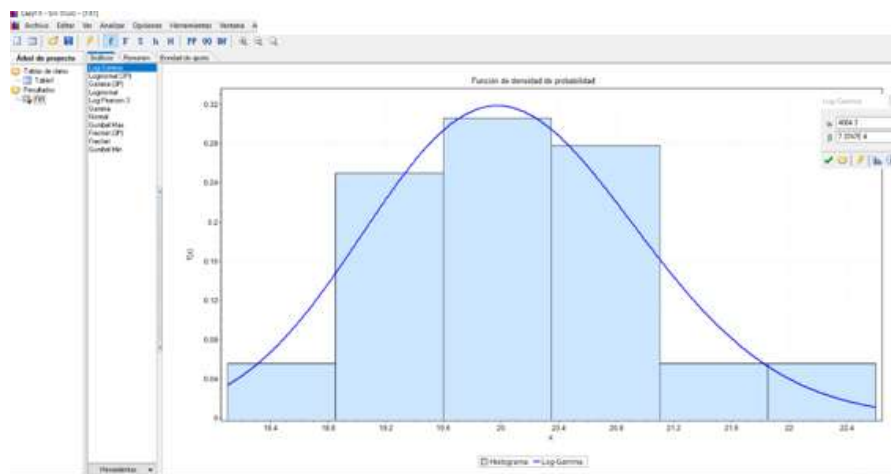


*Nota.* La figura muestra la elección de la mejor función de distribución en base a Easyfit (2023).

Se muestra la gráfica de la distribución de bondad de ajuste Log Gamma, la función elegida:

**Figura 144**

*Distribución Log Gamma para la función*



*Nota.* La figura muestra la distribución Log Gamma en el software Easyfit (2023).

Se escogen los parámetros de ajuste de la función:

**Figura 145**

*Ejemplo de parámetros para estimar la bondad de ajuste*

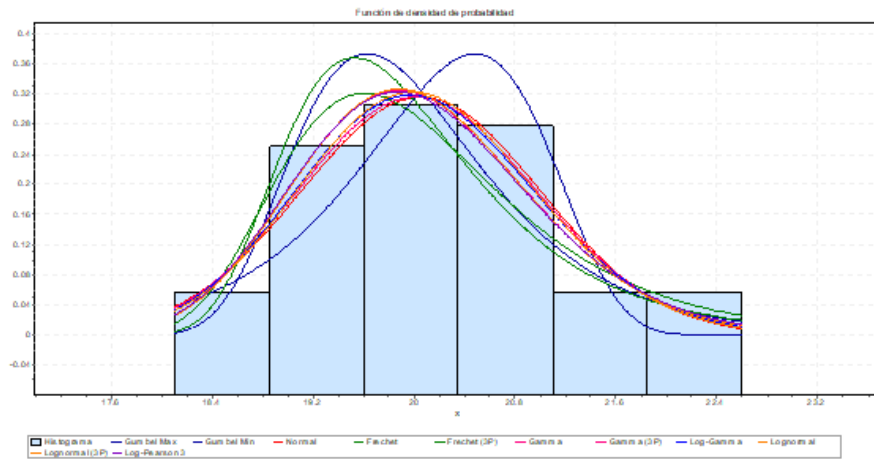


*Nota.* La figura muestra los parámetros de la distribución Log Gamma en el Easyfit (2023).

A continuación, se muestra las diferentes funciones que pueden ajustarse a la función de distribución:

**Figura 146**

*Gráficos de las funciones de distribución de ajuste*

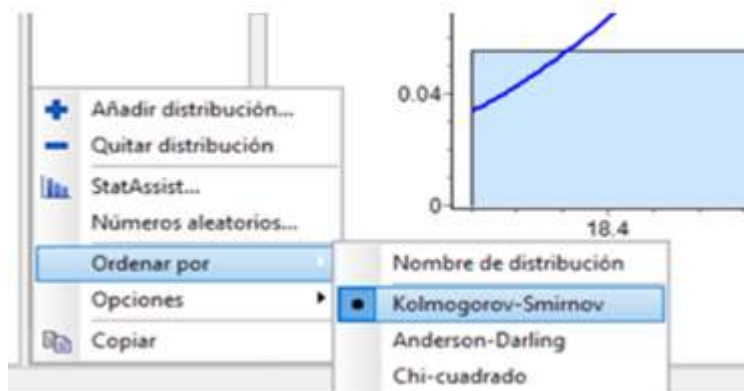


*Nota.* Elaboración en base a Easyfit (2023).

Luego, se procede a realizar la completación de datos por el método de los números aleatorios, previamente se escoge el método de Kolmogorov-Smirnov para realizar la completación de datos:

**Figura 147**

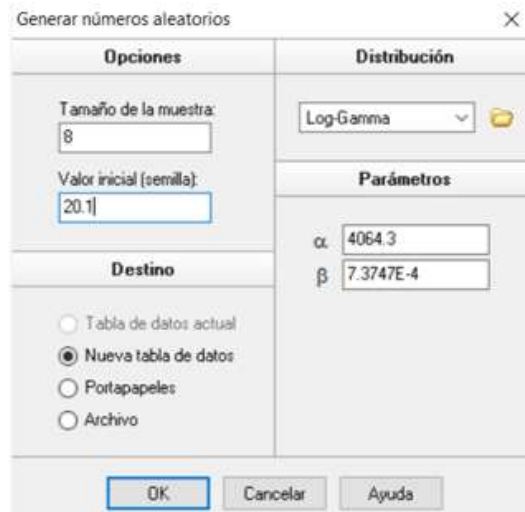
*Elección del método de Kolmogorov-Smirnov*



*Nota.* Elección del método Kolmogorov Smirnov en el software Easyfit (2023)

**Figura 148**

*Generación de números aleatorios*

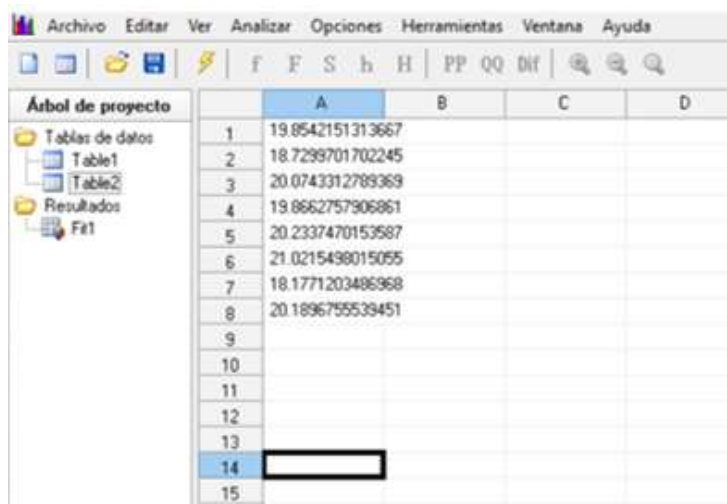


*Nota.* Cálculo de los números aleatorios en el software Easyfit (2023)

Se observan los resultados faltantes que se completarán en los espacios vacíos de una columna de datos de temperatura:

**Figura 149**

*Números aleatorios generados para la completación de datos de temperatura*



*Nota.* Números aleatorios en el software Easyfit (2023).



## Anexo F: Procesamiento de información hidrométrica

Figura 150

Cartilla de Control de Descargas – SENAMHI

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología														
DIRECCION DE HIDROLOGIA														
CONTROL DE DESCARGAS														
ESTACION <i>Chacllabamba</i>		HORA INICIAL <i>07 26</i>		LECTURA DE ESCALA				CORRENTOMETRO No. <i>33753</i> HELICE No. <i>01</i>						
RIO <i>Mapacho</i>		HORA FINAL <i>09 42</i>		INICIAL <i>0 32</i>		FINAL <i>0 32</i>		LASTRE <i>10 kilos</i>						
CUENCA <i>Mapacho</i>		FECHA <i>14 06 22</i>		PROMEDIO <i>0.72</i>				REVOLUCIONES POR SERIAL <i>01</i>						
CENTRO REGIONAL <i>Cusco</i>								AFORADOR <i>José Ramos Huamani</i>						
AREA TOTAL <i>13.65</i>		VELOCIDAD MEDIA <i>0.7125</i>		DESCARGA TOTAL <i>14.454</i>										
TRABAJO DE CAMPO							TRABAJO DE GABINETE							
SONDEOS			CORRENTOMETRO				VELOCIDAD			SECCION			DESCARGAS	OBSERVACIONES
PUNTOS	DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACION	REVOLUCIONES	TIEMPO	EN EL PONTO	EN LA VERTICAL	EN EL TRANS	PROFUNDIDAD MEDIA	ANCHO	AREA			
#	m	m	METODO	MÉTRIC	SEGUNDO	m/seg	m/seg	m/seg	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /seg		
5	15													ESTACION
6	18													v = 0.2560 x 0.132
7	21	0.19	0.6	0.05	42	30	0.278	0.186	0.07	3.0	0.210	0.029		
8	24	0.29	0.6	0.17	67	30	0.551	0.462	0.21	3.0	0.630	0.291		
9	27	0.31	0.6	0.19	95	30	0.824	0.658	0.30	3.0	0.900	0.619		
10	30	0.45	0.6	0.27	101	30	0.835	0.850	0.32	3.0	1.140	0.965		
11	33	0.64	0.6	0.38	122	30	1.240	1.008	0.55	3.0	1.650	1.663		
12	36	0.63	0.6	0.41	143	30	1.274	1.203	0.66	3.0	1.980	2.392		
13	39	0.65	0.6	0.39	156	30	1.344	1.310	0.67	3.0	2.010	2.623		
14	42	0.56	0.6	0.34	141	30	1.26	1.280	0.61	3.0	1.830	2.242		
15	45	0.54	0.6	0.32	122	30	1.148	1.182	0.55	3.0	1.650	1.950		
16	48	0.56	0.6	0.34	89	30	0.712	0.761	0.55	3.0	1.650	1.586		
								0.7125			13.65	14.454		

Nota: Tomados de información de Senamhi (2023)

El procesamiento de la información realizado se muestra a continuación:



Figura 151

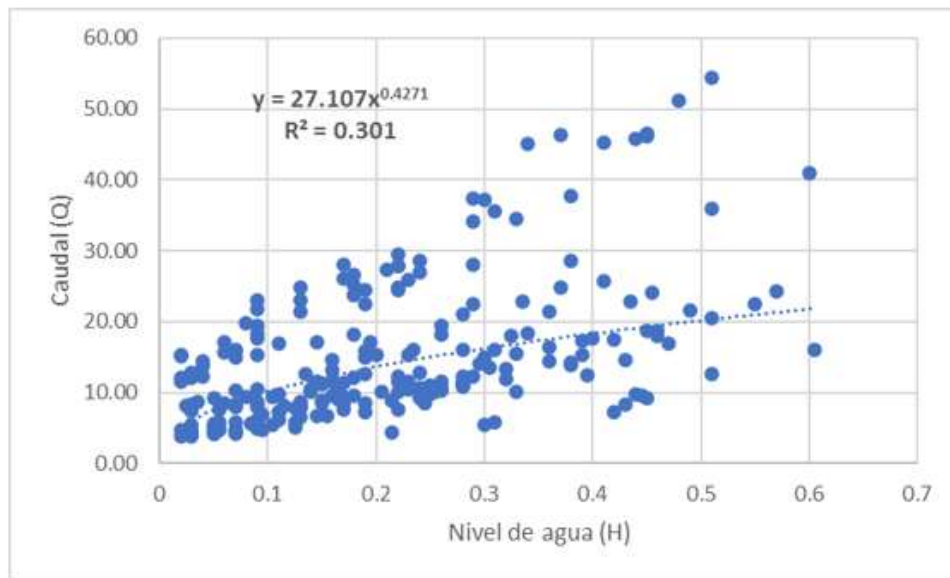
Aforo de caudales según SENAMHI

AFORO ESTACION PUENTE CHACLLABAMBA														
MEDICIÓN DE CAUDALES - DIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA OPERATIVA														
ESTACION	CHACLLABAMBA	HORA INICIAL	: 07:42 Hrs	LECTURA DE ESCALA	:	CORRENTOMETRO	: 857584	HEL Nº	1-866671					
RÍO	MAPACHO	HORA FINAL	: 09:35 Hrs	INICIAL	: 0.460	AFORO	: LASTRE 10 Kg							
CUENCA	MAPACHO	FECHA	: 20082023	FINAL	: 0.460	REV. POR SEÑAL	: 1							
DIRECCIÓN REGIONAL	CUSCO	PROVINCIA	: PAUCARTAMBO	PROMEDIO	: 0.460	AFORADOR	: Jose Ramon Huaman							
AREA TOTAL	18.58 m <sup>2</sup>	VELOCIDAD MEDIA	: 0.89 m/s	DESCARGA TOTAL	: 10.41 m <sup>3</sup> /s									
TRABAJO DE CAMPO							TRABAJO DE GABINETE							
PUNTO	SONDEOS		CORRENTOMETRO TRD				VELOCIDAD			SECCION			DESCARGA	OBSERVACIONES
	SEÑAL	ALTO	PROF. DE SECCION	SEN	TIEMPO	N	DIR. DEL TRD	SECCION	PROF. DEL TRD	PROF. SECC	ANCHO	AREA		
	m	m	m	m	s		m/s	m/s	m/s	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	
MARGEN IZQUIERDA														
1	15.00													
2	16.00	0.00						0.000						
3	21.00	0.00						0.000						
4	24.00	0.20	0.6	0.32	67	30	2.2	0.526	0.566	0.292	0.33	3.0	0.306	0.038
5	27.00	0.24	0.6	0.34	86	30	2.9	0.747	0.747	0.686	0.22	3.0	0.668	0.440
6	30.00	0.30	0.6	0.36	103	30	3.4	0.882	0.882	0.820	0.27	3.0	0.810	0.664
7	33.00	0.36	0.6	0.34	123	30	4.1	1.063	1.063	0.977	0.41	3.0	1.290	1.261
8	36.00	0.40	0.6	0.29	130	30	4.3	1.105	1.105	1.084	0.53	3.0	1.576	1.708
9	39.00	0.51	0.6	0.26	125	30	4.2	1.080	1.080	1.083	0.58	3.0	1.930	1.639
10	42.00	0.52	0.6	0.28	128	30	4.3	1.105	1.105	1.093	0.52	3.0	1.945	1.688
11	45.00	0.50	0.6	0.30	132	30	4.4	1.140	1.140	1.125	0.61	3.0	1.930	1.717
12	48.00	0.41	0.6	0.25	72	30	2.4	0.620	0.620	0.884	0.46	3.0	1.950	1.206
13														
14														
MARGEN DERECHA														
MAX TRD	0.56													
PROM.	0.24													
								PROM.	0.992		SUMA	89.575	18.418	

Nota: Senamhi (2023)

Figura 152

Curva de ajuste del caudal – primera regresión



Nota: Elaboración propia

, en la que se puede observar que existen datos faltantes.



**Tabla 82**

*Caudales incompletos - Estación Chacllabamba (m<sup>3</sup>/s)*

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2007	86.58	84.79	92.73	67.59	32.48	21.08	16.16	13.17	13.57	20.69	24.02	45.89
2008	85.20	94.96	84.37	47.43	27.23	18.48	14.00	12.99	14.53	21.46	31.81	73.64
2009	106.76	88.34	90.66	62.48	26.17	16.34	13.47	46.17	46.76	21.45	50.30	69.45
2010	142.49	197.74	139.81	90.92	31.87	18.85	17.32	13.30	13.37	14.75	19.61	67.81
2011	107.28	141.92	110.65	83.74	27.94	17.21	11.71	10.91	16.35	20.63	26.64	57.25
2012	81.90	111.70	82.64	50.21	22.71	17.15	13.66	13.31	12.69	14.47	32.22	71.74
2013	164.62	149.35	89.79	44.09	24.16	13.09	8.98	8.50	11.37	36.97	62.54	123.80
2014	106.30	126.55	111.82	90.24	35.18	15.18	7.14	5.70	8.95	10.80	15.08	47.57
2015	75.02	130.02	83.14	70.50	40.37	20.68	13.01	8.50	10.06	12.02	26.15	47.89
2016	55.84	79.12	57.02	53.71	27.95	19.55	10.29	9.60	17.68	20.63	21.18	26.43
2017	73.39	90.92	103.96	58.41	25.61	21.21	18.00	16.68	22.14	25.63	29.40	40.01
2018	74.23	110.66	95.41	49.18	32.88	23.98	21.23	19.18	17.14	41.23	55.48	45.71
2019	96.38	136.77	107.73	63.94	39.31	24.81	19.03	13.82	15.03	26.46	57.48	137.35
2020	101.99	117.46	99.12	77.44	38.63	19.85	14.70	14.63	14.54	18.28	24.48	56.07
2021	98.47	123.12	114.36	58.19	26.23	18.49	15.36	13.86	19.51	25.56	42.32	88.28
2022	60.15	80.06		38.67			24.62	25.44	23.77	24.81	33.85	31.19

*Nota.* Elaboración propia.



## Anexo G. Precipitación mensual en las estaciones

### Anexo G1. Precipitación mensual de Estación Kayra (mm/mes)- Información incompleta

NOMBRE:		ESTACION GRANJA KAYRA					TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA					
LATITUD:		13°33'24.29"					REGIÓN:		CUSCO					
LONGITUD:		71°52'30.61"					PROVINCIA:		CUSCO					
ALTITUD:		3214 msnm					DISTRITO:		SAN JERONIMO					
PARAMETRO:		PRECIPITACION					PERIODO:		1980 - 2022					
CODIGO:		100044												
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	1980	106.2	126.4	135.0	23.2	3.7	0.0	5.3	1.0	12.6	62.9	60.2	83.1	
2	1981	225.4	80.8	124.4	56.9	1.8	3.9	0.0	9.8	45.9	108.9	120.8	144.3	
3	1982	178.9	115.5	143.1	58.8	0.0	9.2	3.4	4.9	14.0	37.9	122.5	98.6	
4	1983	128.4	84.0	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26.0	44.3	100.2	
5	1984	198.6	142.4	71.0	82.8	0.0	2.0	1.3	11.4	4.2	114.6	68.5	102.8	
6	1985	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0.0	43.3	62.1	116.5	122.4	
7	1986	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0.0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7	
8	1987	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0.0	8.2	26.5	101.8	107.6	
9	1988	163.8	84.3	166.5	108.9	4.6	0.0	0.0	0.0	9.9	36.2	47.6	103.7	
10	1989	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0.0	6.1	30.7	15.7	60.7	88.5	
11	1990	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0.0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5	
12	1991	97.6	163.6	105.2	45.1	11.0	5.1	1.5	0.0	21.4	49.3	83.6	99.0	
13	1992	114.1	102.4	104.0	14.9	0.0	19.4	0.0		8.0	50.7	117.4	57.0	
14	1993	206.7	110.5	75.8	18.8	0.9	0.0	2.7	6.9	18.0	46.2	111.9	201.5	
15	1994	177.0	163.9	173.9	45.5	11.8	0.0	0.0	0.0	25.7	40.2	40.5	119.9	
16	1995	122.0	94.8	95.3	17.8	0.0	0.0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6	
17	1996	131.9	98.0	70.5	32.3	11.0	0.0	0.0	6.3	19.6				
18	1997	123.3	127.7	104.8	31.0	4.8	0.0	0.0	7.1	12.3	44.4	201.5	148.4	
19	1998	116.3	156.2	22.6	31.0	1.6	1.9		1.6	4.3	49.8	49.7	58.9	
20	1999	89.3	92.2	92.0	42.8	1.3	3.4	1.0	0.0	43.1	18.8	39.7	119.5	
21	2000	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	49.3	29.3	82.0	
22	2001	233.0	173.1	137.4	36.4	11.5	0.0	17.4	10.2	20.6	38.3	96.8	89.4	
23	2002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.7	10.3	78.7	97.8	132.4	
24	2003	163.9	135.5	142.9	56.5	2.0	6.4	0.0		3.7	34.6	23.1	123.8	
25	2004	173.7	125.8	66.5	21.0	2.4	20.5	17.0	9.0	21.7	25.6	60.9	87.9	
26	2005	140.8		120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4.0	4.5	39.1	59.3	102.5	
27	2006	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0.0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2	
28	2007	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0.0	4.0	0.0	1.0	49.4	74.0	88.4	
29	2008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0.0	3.9	13.9	51.7	90.2	120.5	
30	2009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0.0	3.3	0.7	15.1	8.3	88.7	82.9	
31	2010	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0.0	1.4	4.7	8.2	70.0	40.0	174.1	
32	2011	103.4	187.0	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0.0	38.9	38.2	60.2	110.2	
33	2012	70.5	157.9	41.7	48.1	4.5	1.2	0.0	0.0	18.4	19.5	138.2	179.5	
34	2013	189.6	137.2	75.5	15.1	25.3	6.1	2.0	12.4	6.3	105.0	86.0	159.4	
35	2014	161.9	116.5	40.0	35.0	10.1	0.0	3.2	5.8	5.6		29.6	156.0	
36	2015	169.8	146.5	66.7	69.8	18.6	3.9	10.3	4.6	16.1	19.1	48.6	113.0	
37	2016	104.0	153.1	54.3	24.4	3.0	0.0	4.5	0.5	7.0	79.5	28.0	89.8	
38	2017	111.2	86.9	122.8	47.5	11.2	5.9	0.0	8.4	19.0	33.7	61.4	101.7	
39	2018	154.8	162.5	146.3	20.3	0.2	16.0	11.6	7.1	9.1	84.8	80.8	95.0	
40	2019	127.8	117.2	171.4	30.0	28.2	1.5	3.7	0.0	9.8	82.4	111.7	154.4	
41	2020	126.7	156.4	80.2			0.0	8.2	1.0	5.6	7.5	46.6	138.2	
42	2021	154.4	127.0	75.7	90.5	8.7	10.7	0.0	4.3	1.5	46.1	101.6	106.1	
43	2022	214.4	107.2	142.2	12.9	1.0	0.5	0.0	2.5	21.9	1.2	29.3		



**Anexo G2. Precipitación mensual de la Estación Challabamba (mm/mes)- Información incompleta**

NOMBRE:		ESTACION CHALLABAMBA						TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA					
LATITUD:		13°33'3.15"						REGIÓN:		CUSCO					
LONGITUD:		71°38'57.77"						PROVINCIA:		PAUCARTAMBO					
ALTITUD:		2803 msnm						DISTRITO:		CHALLABAMBA					
PARAMETRO:		PRECIPITACION						PERIODO:		1980 - 2022					
CODIGO:		100024													
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
1	1980														
2	1981														
3	1982														
4	1983														
5	1984														
6	1985														
7	1986														
8	1987														
9	1988														
10	1989														
11	1990														
12	1991														
13	1992														
14	1993														
15	1994														
16	1995														
17	1996														
18	1997														
19	1998														
20	1999														
21	2000	291.4	228.9	192.1	72.6	14.1	16.0	1.3	19.9	11.9	110.2	16.4	92.9		
22	2001	220.8	226.5	211.9	103.5	32.0	11.9	23.9	27.8	8.5	76.0	86.4	99.1		
23	2002	116.1	195.1	213.0	107.2	6.4	18.4	73.6	17.8	33.1	69.3	81.6	141.1		
24	2003	145.5	163.8	191.0	61.5	30.4	2.5	9.5	24.1	17.8	66.5	42.4	137.0		
25	2004	185.7	95.4	99.2		2.5	30.7	32.4	43.7	11.6	61.5	54.7	39.0		
26	2005	19.2	197.9	96.1	37.1	9.6	0.2	3.0	9.7	24.9	18.8	33.1	87.1		
27	2006	222.0	123.8	126.2	70.0	4.6	6.0	0.0	17.0	52.0	150.2	146.4	199.5		
28	2007	149.6	128.2	216.1	121.1	31.1	2.4	18.4	15.1	21.2	49.1	48.4	117.9		
29	2008	199.5	163.0	144.1	29.6	10.2	12.8	14.1	0.0	8.3	72.9	51.6	157.8		
30	2009	157.8	219.1	151.6	73.8	8.2	0.0	9.3	7.5	9.1	11.0	302.8	102.7		
31	2010	208.9	160.9	119.7	63.6	13.5	21.0	7.6	5.0	19.7	73.4	24.7	60.6		
32	2011	214.9	202.4	132.4	180.8	9.3	17.8	32.6	11.6	32.9	52.1	57.2	161.9		
33	2012	107.6	281.8	169.9	52.7	6.2	8.6	1.8	0.0	27.9	38.2	56.5	345.2		
34	2013	180.1	115.1	113.5	25.2	25.6	21.0	5.4	37.6	4.4	140.7	50.3	226.9		
35	2014	253.1	118.8	109.6	93.5	21.1	0.1	1.3	52.3	33.1	48.3	26.0	94.9		
36	2015	152.1	201.6	167.0	152.8	17.1	8.9	4.0	24.9	7.8	52.8	133.1	125.9		
37	2016	158.4	143.8	46.1	61.3	28.1	7.1	12.2	0.1	12.1	42.7	30.2	116.4		
38	2017	195.2	197.2	95.9	54.9	63.6	7.6	2.4	22.2	27.6	24.9	60.5	101.4		
39	2018	206.5	160.6	129.4	44.1	11.0	33.5	40.1	20.8	13.0	153.7	90.9	95.6		
40	2019	245.1	205.0	150.7	42.9	36.1	39.6	32.0	7.4	24.1	134.0	128.4	94.2		
41	2020	78.8	258.8	73.0			24.3	2.4	1.4	4.0	57.9	37.1	181.2		
42	2021	141.3	267.3	117.6	46.2	16.1	15.8	7.6	2.9	46.2	20.3	173.1	62.7		
43	2022	202.3	181.4	123.2	14.7	14.8	0.6	18.1	27.1	25.5	8.9	21.1	93.4		



**Anexo G3. Precipitación mensual total de la Estación Colquepata (mm/mes)- Información incompleta**

NOMBRE:		ESTACION COLQUEPATA					TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA					
LATITUD:		13°21'47.27"					REGIÓN:		CUSCO					
LONGITUD:		71°40'24.1"					PROVINCIA:		PAUCARTAMBO					
ALTITUD:		3696 msnm					DISTRITO:		COLQUEPATA					
PARAMETRO:		PRECIPITACION					PERIODO:		1980 - 2022					
CODIGO:		113116												
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	1980	128.3	168.8	80.0	7.1	7.3	1.8	4.1	7.7	1.2	83.6	69.2	67.7	
2	1981	194.4	120.9	76.4	71.6	14.1	1.2	0.0	14.3	71.2	59.2	111.7	67.1	
3	1982	280.1	110.8	103.7	41.8	7.3	3.0	42.3	10.6	40.0		85.5	25.4	
4	1983	24.4	25.4	30.1	13.5	3.5	8.2	9.0	6.7	14.3	12.5	19.3	24.4	
5	1984	481.4	161.7	144.2	44.2	12.7	8.8	47.5	6.8	18.6	8.1	28.3	45.9	
6	1985													
7	1986													
8	1987													
9	1988													
10	1989													
11	1990													
12	1991													
13	1992													
14	1993													
15	1994													
16	1995													
17	1996													
18	1997													
19	1998													
20	1999	37.2	94.5	106.9	10.8	2.2	1.2	3.3	2.3	22.2	13.3	5.4	91.7	
21	2000	175.1	121.3	111.6	27.2	2.4	1.3	1.3	1.1	4.7	23.3	1.2	42.6	
22	2001	269.0	165.4	155.3	80.3	32.4	1.9	19.2	29.3	20.1	82.1	118.2	91.6	
23	2002	120.3	162.1	144.2	75.5	6.6	14.3	50.3	23.4	32.6	73.1	51.6	135.0	
24	2003	152.0	164.6	136.9	39.4	13.7	5.8	2.0	24.7	6.3	19.2	23.2	142.9	
25	2004	174.9	122.9	80.2	13.5	11.7	9.3	26.7	26.9	33.2	40.4	50.9	109.0	
26	2005	63.4	158.7	73.0	35.6	8.4	0.0	4.7	4.8	8.6	32.7	47.4	68.4	
27	2006	176.2	56.5	89.6	36.7	2.2	1.2	0.0	24.8	7.1	70.6	67.0	116.5	
28	2007	145.9	75.4	163.5	38.9	15.8	0.4	8.7	12.0	7.7	37.1	39.1	135.4	
29	2008	165.2	138.9	76.7	36.6	16.8	19.6	4.4	18.2	18.6	62.9	57.0	153.5	
30	2009	138.4	122.8	109.5	23.0	1.6	0.0	20.0	3.4	7.7	7.8	135.5	114.0	
31	2010	225.5	113.5	160.4	15.1	4.4	10.1	12.5	1.3	10.5	87.4	27.1	145.8	
32	2011	149.1	169.9	148.6	55.9	6.1	12.0	21.0	11.3	42.5	39.2	34.1	121.3	
33	2012	137.2	166.5	60.0	32.2	9.3	5.0	2.7	4.8	28.8	15.7	82.9	175.3	
34	2013	182.3	160.6	116.6	41.6	17.2	18.5	5.3	27.7	11.7	103.7	33.2	169.2	
35	2014	199.6	86.7	93.0	40.8	25.4	6.1	8.8	28.5	12.8	37.9	40.0	124.8	
36	2015	87.9	93.4	79.9	120.9	52.1	3.8	10.1	20.6	10.7	18.6	111.5	133.2	
37	2016	125.7	124.7	18.0	49.0	11.4	10.2	12.2	2.4	12.7	58.9	22.9	98.3	
38	2017	104.9	111.3	157.7	43.9	48.3	3.8	1.0	16.5	12.3	37.4	56.6	72.6	
39	2018	184.5	143.6	159.8	27.1	1.3	37.2	31.3	25.2	8.8	160.0	49.0	78.1	
40	2019	165.0	172.5	134.4	46.0	39.9	31.4	10.6	0.4	17.3	83.6	91.2	136.5	
41	2020	106.5	216.7	125.3	20.4	26.0	11.7	0.5	0.0	0.0	23.3	51.8	132.0	
42	2021	107.7	163.0	104.2	47.8	8.4	7.9	4.0	0.8	24.0	22.7	101.5	113.7	
43	2022	105.6	126.7	108.8	15.9	21.9	0.2	0.2	10.5	16.5	1.8	34.7	80.9	



**Anexo G4. Precipitación mensual total de la Estación Ccatca (mm/mes)- Información incompleta**

NOMBRE:		ESTACION CCATCCA						TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA					
LATITUD:		13°36'35.6"						REGIÓN:		CUSCO					
LONGITUD:		71°33'36.4"						PROVINCIA:		QUISPICANCHI					
ALTITUD:		3681 msnm						DISTRITO:		CCATCCA					
PARAMETRO:		PRECIPITACION						PERIODO:		1980 - 2022					
CODIGO:		113041													
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
1	1980	92.0	128.8	91.0	39.2	0.0	0.0	0.0	3.2	21.2	55.6	51.2	75.8		
2	1981	159.0	102.8	141.6	74.0	9.6	0.0	0.0	10.2	2.6	66.4	111.4	94.8		
3	1982	146.2	58.4	136.6	24.2	0.0	1.0	2.8	3.4	21.8	56.0	65.0	73.2		
4	1983	81.4	48.2	39.4	6.0	10.4	0.0								
5	1984														
6	1985														
7	1986		74.9	137.8	28.4	4.7	0.0	6.9	1.2	12.9	23.1	29.7	54.4		
8	1987	205.7	82.8	57.7	17.7	5.8	5.0	24.1	0.0	0.0	43.0	95.0	94.8		
9	1988	89.8	66.5	141.8	90.9	14.0	0.0	0.0	0.0	8.1	61.5	42.8	94.7		
10	1989	112.1	114.3	154.3	54.6	10.3	6.7	0.0	7.0	26.7	20.9	56.9	37.6		
11	1990	115.7	68.7	55.2	24.2	1.3	37.9	0.0	8.0	1.3	36.9		117.5		
12	1991	70.7	146.1	54.4	31.0	3.9	23.4	0.0	0.0	16.3	26.3	69.9	109.9		
13	1992	144.2	92.7	49.1	14.9	3.7	33.6	0.0	25.9	0.0	43.0	87.9	43.3		
14	1993	158.2	102.8	77.8	16.4	2.3	2.1	0.0	49.1	11.2	31.2	57.9	177.2		
15	1994	104.9	143.7	110.7	41.6	8.2	0.0	0.0	2.5	29.0	47.4	35.6	161.7		
16	1995	100.7	66.5	156.6	31.9	9.6	0.0	0.0	0.0	9.9	10.1	75.6	77.0		
17	1996	118.9	125.6	64.8	25.8	1.2	0.0	0.0	22.4	16.5	29.6	40.4	112.1		
18	1997	115.3	132.6	121.9	11.3	5.1	0.0	0.0	4.0	8.8	22.4	84.6	63.5		
19	1998	73.8	129.4	62.7	10.7	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	31.9	58.8	61.1		
20	1999	124.3	120.4	102.2	40.0	0.0	0.0	3.2	0.0	33.8	14.0	26.2	127.4		
21	2000	169.3	110.5	107.7	20.1	2.0	1.8	6.4	6.6	23.7	56.3	14.9	57.2		
22	2001	265.3	153.9	126.9	62.1	22.6	0.0	18.0	24.9	17.0	98.4	67.8	74.3		
23	2002	102.5	176.9	144.8	62.0	8.3	13.0	34.8	9.1	25.4	67.3	92.8	149.4		
24	2003	120.4	142.6	133.4	15.7	10.3	9.2	2.5	25.5	4.8	15.7	17.8	123.5		
25	2004	169.7	106.5	91.6	28.5	17.2	28.2	27.9	14.7	48.0	55.4	69.9	91.3		
26	2005	60.2	147.4	109.8	30.0	2.8	0.0	1.5	5.6	9.9	27.5	77.7	98.7		
27	2006	104.3	108.0	161.5	70.3	0.4	3.3	0.0	14.1	6.6	84.6	85.4	118.6		
28	2007	129.5	83.6	107.6	31.9	9.9	0.0	5.1	1.9	2.5	53.7	50.7	75.3		
29	2008	151.6	114.7	62.6	24.0	8.4	6.2	0.0	13.7	6.4	54.8	87.1	185.2		
30	2009	112.6	106.6	80.3	31.3	2.4	0.0	14.9	4.0	17.3	14.6	141.6	104.7		
31	2010	206.3	91.0	148.5	9.8	0.0	1.7	6.1	4.7	3.6	57.9	30.6	143.4		
32	2011	133.3	223.4	147.4	62.1	6.9	4.5	12.7	1.2	36.3	40.1	31.5	130.8		
33	2012	116.2	168.1	60.9	38.6	10.2	6.9	3.8	3.0	17.8	18.0	86.2	183.6		
34	2013	160.7	173.5	124.0	29.4	8.6	0.9	12.3	18.1	6.7	94.5	80.1	173.6		
35	2014	160.2	120.3	69.6	38.2	16.8		0.0	5.9	4.5	33.2	42.5	133.6		
36	2015	166.8	159.8	83.8	111.6	13.9	0.0	14.0	12.3	9.3	23.7	52.1	118.1		
37	2016	110.4	113.1	41.8	30.3	12.7	3.5	13.3	0.5	12.6	39.9	19.0	51.5		
38	2017	126.1	109.5	133.7	88.4	25.2	8.4	0.0	3.2	16.4	27.9	75.3	89.0		
39	2018	115.8	185.8	208.7	26.9	0.0	34.2	20.4	11.2	4.5	131.5	69.9	70.1		
40	2019	137.2	227.6	112.9	24.6	18.4	0.0	0.0	0.0	6.5	59.8	114.3	213.6		
41	2020	144.0	161.7	121.1	10.6	7.4	3.5				32.5	45.4			
42	2021		92.2				1.6	0.0	0.0		16.4	103.8	122.6		
43	2022	195.3	136.7	143.4	2.0			0.0	13.2	26.2	6.1	20.8	106.3		



**Anexo G5. Precipitación mensual total de la Estación Pisac (mm/mes)- Información incompleta**

NOMBRE:		ESTACION PISAC						TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
LATITUD:		13°25'10.2"						REGIÓN:		CUSCO				
LONGITUD:		71°51'3.1"						PROVINCIA:		CALCA				
ALTITUD:		2990 msnm						DISTRITO:		PISAC				
PARAMETRO:		PRECIPITACION						PERIODO:		1980 - 2022				
CODIGO:		100101												
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	1980	92.8	182.2	226.8	89.7	2.0	0.0	0.0	11.3	36.7	39.8	5.0	48.5	
2	1981	97.9	178.3	89.7	31.4	9.3	4.2	15.3	3.0	15.4	55.3	118.1	117.9	
3	1982	276.4	68.4	236.2	195.4	25.5	8.0	1.0	15.1	19.9	30.1	104.5	18.7	
4	1983	5.1	28.8		29.8	0.0	2.0	11.1	6.1	13.3	18.5	30.5	34.0	
5	1984	103.5							16.5	8.1	46.6	71.4	13.6	
6	1985	140.6	205.5	194.5	64.3	8.3	0.0	0.0	5.1	27.9	108.1	131.2	25.0	
7	1986	27.8	118.9	134.0	38.5	12.5	0.0	2.1	3.3	4.0	2.1	8.3	11.8	
8	1987	276.3	45.9	24.6	13.3	0.0	14.6	9.1	0.0	0.0	8.2		38.8	
9	1988	96.1	99.6	193.4	52.4	2.0	0.0	0.0	0.0	2.3	12.0	13.7	85.9	
10	1989	116.3	94.8	111.5	25.9	8.0	0.0	3.0	9.2	7.2	20.5	20.2	27.1	
11	1990	76.7	45.6	20.3	82.6	6.2	38.4	0.0	3.0	8.4	44.1	99.4	115.0	
12	1991	76.2	101.7	64.5	31.4	11.5	8.0	0.0	2.0	2.0	50.7	61.4	65.4	
13	1992	81.0	45.4	31.7	22.6	0.0	26.0		13.3	4.0	32.0	91.8	73.0	
14	1993	178.9	82.9	12.4	36.0	8.2	4.2	8.2	14.2	3.0	18.2	75.0	109.8	
15	1994	167.2	118.0	151.6	59.8	5.3	0.0	0.0	0.0	12.4	52.6	13.2	158.6	
16	1995	98.9	79.5	80.0	7.2	4.2	0.0	0.0	0.0	12.2	24.2	18.2	51.6	
17	1996	117.6	69.3	44.4	69.3	12.1	0.0	0.0	21.6		52.5	47.5		
18	1997			99.5	4.1	2.9	0.0	0.0	20.1	18.1	13.5	108.9	97.8	
19	1998	129.8	98.7	38.2	21.6	4.2	3.0	0.0	0.8	13.5	64.0	50.9	51.3	
20	1999	93.2	122.3	51.5	28.3	4.9		2.6	0.0	30.0	17.7	40.2	105.9	
21	2000	159.8	105.4	58.7	2.2	9.1	3.7	0.0	2.0	4.4	41.6	11.0	70.6	
22	2001	211.2	136.4	152.2	19.9	12.1	0.0	19.4	5.6	8.0	50.0	77.4	102.0	
23	2002	90.6	161.4	106.1	35.8	6.6	4.3	46.6	3.3	10.9	39.4	91.6	127.9	
24	2003	114.4	108.7	110.7	15.8	4.4	6.8	0.0	23.6	4.0	31.7	18.3	120.9	
25	2004	149.9	109.2	95.6	15.8	2.0	16.4	10.3	6.9	32.5	25.9	43.0	94.3	
26	2005	127.0	76.9	69.1	29.6	0.0	0.0	1.5	3.7	4.1	18.0	50.5	58.6	
27	2006	170.7	82.2	125.0	34.5	0.0	30.0	0.0	14.3	5.2	42.7	69.7	117.1	
28	2007	102.7	52.6	135.8	42.1	7.6	0.0	1.7	0.0	4.9	32.7	66.9	83.3	
29	2008	154.3	151.5	61.5	8.5	5.9	3.6	0.7	3.2	9.8	46.8	64.1	133.9	
30	2009	89.9	89.4	66.2	14.1	0.2	0.0	3.1	0.8	20.4	8.2	118.1	115.3	
31	2010		145.1	155.8	6.0	6.5	1.1	1.4	11.4	1.8	72.7	26.3	204.2	
32	2011	100.7	170.6	109.2	32.9	6.8	7.0	8.6	0.6	27.9	26.2	48.0	139.5	
33	2012	67.0	157.0	54.2	30.1	5.5	0.0	0.8	0.5	24.1	8.6	127.0	146.8	
34	2013	104.8	153.5	68.1	23.3	10.7	5.4	4.1	15.8	5.6	132.0	52.9	170.1	
35	2014	143.8	82.6	68.7	50.0	12.8	0.0	1.3	1.5	22.9	28.2	12.5	105.8	
36	2015	78.0	49.8	28.3	35.5	12.5	0.0	26.8	3.6	13.1	7.4	20.6	51.8	
37	2016	51.8	84.5	19.7	10.0	22.5	1.2	7.3	0.0	14.1	72.9	27.1	98.2	
38	2017	66.4	52.5	116.2	54.8	12.9	3.2	0.8	5.5	9.0	24.6	40.8	61.9	
39	2018	124.3	121.1	107.0	32.6	3.9	14.2	13.6	15.0	11.8	85.7	92.6	69.4	
40	2019	115.3	77.7	126.0	19.3	17.6	0.5	9.1	0.0	4.8	53.1	97.2	106.9	
41	2020	136.1	107.6	87.9			0.4	0.9	0.0	0.1	17.1	27.6	88.3	
42	2021	90.5	92.8	40.4	24.3	6.9	2.7	0.0	2.3	2.6	30.1	87.8	66.3	
43	2022	108.3	43.4	106.4	1.3	1.1	0.2	0.0	1.5	14.6	0.6	19.6	72.4	



**Anexo G6. Precipitación mensual total de la Estación Sicuani (mm/mes)- Información - incompleta**

NOMBRE:		ESTACION SICUANI							TIPO:		AUTOMATICA - METEOROLOGICA				
LATITUD:		14°14'14.5"							REGIÓN:		CUSCO				
LONGITUD:		71°14'12.1"							PROVINCIA:		CANCHIS				
ALTITUD:		3534 msnm							DISTRITO:		SICUANI				
PARAMETRO:		PRECIPITACION							PERIODO:		1980 - 2022				
CODIGO:		4726158C													
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
1	1980														
2	1981														
3	1982														
4	1983														
5	1984														
6	1985														
7	1986														
8	1987							11.2	0.5	2.5	24.9	130.8			
9	1988		94.9	125.6	87.4	4.0	0.0								
10	1989							0.0	12.0		51.7	46.9	130.8		
11	1990	127.1	104.8	71.2	33.8										
12	1991	93.3	76.3	83.3	59.3	18.1	14.4	0.0	0.0	12.7	44.9	43.7	41.3		
13	1992	99.2	61.4						19.5	19.1	62.8	96.8	53.6		
14	1993	163.0	87.1	116.2	57.4	0.0	1.2	2.0	9.8	26.7	66.0	136.4	114.1		
15	1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0.0	1.2	9.3	50.5	81.0	127.4		
16	1995	107.4	105.2	131.3	64.4	3.1	1.2	2.8	0.0	16.6	36.0	92.3	117.0		
17	1996	121.3	112.0	155.5	42.7	16.3	0.0	0.0	12.0	24.5	54.2	61.6	115.7		
18	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0.0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	64.6		
19	1998	102.3	131.0	97.8	15.1	0.0	0.0	0.0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7		
20	1999	133.3	145.4	83.4	85.7	17.6	3.2	0.3	0.0	44.1	24.4	38.5	127.2		
21	2000	110.4	180.0	121.9	15.6	7.2	6.0	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6		
22	2001	213.0	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4		
23	2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0.0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5		
24	2003	129.2	131.8	160.0	59.6	18.7	6.6	0.0	8.0	1.6	37.5	27.2	125.5		
25	2004	162.6	191.0	80.4	47.0	7.6	8.2	4.2	12.0	51.6	28.9	92.4	98.4		
26	2005	66.3	178.8	120.3	44.9	4.5	0.0	2.7	0.0	7.6	48.3	75.0	85.4		
27	2006	151.2	120.8	92.8	99.0	3.3	5.7	0.0	10.3	23.3	45.4	111.3	106.4		
28	2007	115.8	86.9	174.4	45.1	5.3	0.0	9.0	0.0	15.2	60.7	77.0	72.4		
29	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7.0	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149.0		
30	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0.0	6.2	0.0	11.1	32.2	129.0	121.1		
31	2010	161.0	95.8	118.0	48.4	2.6	0.0	0.0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1		
32	2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	2.6	52.2	25.3	29.0	131.1		
33	2012	148.0	184.8	103.0	51.6	0.5	3.2	0.8	0.0	14.2	36.4	38.7	149.8		
34	2013	191.8	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0.0	11.2	1.8	38.1	66.7	162.7		
35	2014	154.1	134.3	55.4	36.7	9.4	0.0	0.2	6.3	24.5	49.2	33.8	156.4		
36	2015	142.0	97.2	104.4	55.2	8.4	2.5	12.6	7.0	10.1	52.5	74.6	136.5		
37	2016	131.4	259.5	53.8	82.8	3.2	0.0	0.3	6.9	19.9	79.0	57.9	77.0		
38	2017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0.0	2.2	13.8	22.7	72.9	121.9	73.4		
39	2018	112.6	165.9	116.6	30.8	5.2	20.4	20.1	28.6	4.4	76.2	104.6	48.6		
40	2019	131.6	135.7	86.1	43.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.5	47.3	137.5	212.3		
41	2020	114.5	175.7	121.7	13.0	19.8	0.1	0.0	0.0	10.8	36.4	23.2	106.8		
42	2021	168.7	69.1	127.3	97.8	2.9	0.0	0.4	0.3	11.0	28.4	71.7	175.8		
43	2022	176.1	148.8	152.1	27.9	0.0	0.0	2.0	2.0	10.7	5.9	0.0	95.5		



**Anexo G7. Precipitación mensual total de la Estación Caicay (mm/mes)- Información incompleta**

NOMBRE:		ESTACION CAICAY						TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
LATITUD:		13°35'59.56"						REGIÓN:		CUSCO				
LONGITUD:		71°42'1"						PROVINCIA:		PAUCARTAMBO				
ALTITUD:		3117 msnm						DISTRITO:		CAICAY				
PARAMETRO:		PRECIPITACION						PERIODO:		1980 - 2022				
CODIGO:		113122												
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	1980	35.0	47.1	36.8	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	19.3	26.4	
2	1981	92.2	46.6	85.8	25.3	0.0	0.0	0.0	7.7	11.1	30.5	68.9	43.0	
3	1982	66.2	8.7	40.9	6.0	0.0	4.2	0.0	0.0	2.0	31.6	55.1	15.3	
4	1983	48.2	24.6	6.0		5.3	3.0		0.0		2.3	9.0	15.6	
5	1984	58.4	55.7	30.9	13.7	0.0	7.0	0.0	6.3	0.0		25.1	45.7	
6	1985	27.6	24.9	13.0	3.4	3.3	5.7	0.0	0.0	4.2	5.1	39.5	57.8	
7	1986	64.9	38.3	93.9	21.6	4.9	0.0	0.0	0.0		5.8	5.4	19.8	
8	1987	116.8	30.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	81.8	33.5	
9	1988	70.3	59.9	64.2	27.8	5.5	0.0	0.0		0.0	5.5	3.6	90.9	
10	1989		44.4	76.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	32.6	42.1	
11	1990	78.8	30.6	14.3	21.7	8.0	22.6	2.2	2.2	0.0	33.0	128.6	103.7	
12	1991	25.8		24.2	10.0	5.8	10.9	0.0	0.0	0.0	6.7	68.6	70.7	
13	1992	49.1	54.9	65.2	13.4	0.0	14.5	0.0	10.0	2.3	24.6	72.7	62.2	
14	1993	69.4	40.5		18.6	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	2.2	57.9	90.7	
15	1994	70.6	82.3	84.7	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	31.2	13.6	61.7	
16	1995	66.8	12.7	87.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	21.6	61.2	
17	1996	83.0	57.9	67.3	38.4	6.2	0.0	0.0	17.9	0.0	25.6	33.8	75.0	
18	1997	63.3	74.9	98.6	7.5	3.0	0.0	0.0	3.5	6.8	15.0	54.4	31.4	
19	1998	14.6	72.6	35.4	7.1	0.0	2.2	0.0	4.5	0.0	6.5	26.9	59.5	
20	1999	72.3	102.3	82.7	52.3	0.8	0.0	4.9	0.0	17.6	16.2	24.6	106.6	
21	2000	149.4	77.0	81.9	2.9	1.8	11.6	9.0	3.1	3.7	32.6	17.7	77.0	
22	2001	250.8	155.0	140.4	29.6	17.7	0.0	20.6	24.4	19.0	93.5	71.2	80.0	
23	2002	91.1	186.0	98.4	22.7	6.0	0.0	29.0	0.0	16.3	29.8	48.7	95.8	
24	2003	159.0	157.2	225.0	28.6	2.5	6.2	0.0	17.3	10.4	7.0	19.5	155.7	
25	2004	120.9	106.9	72.2	18.7	2.8	34.8	19.6	11.4	10.4	26.0	62.0	63.2	
26	2005	72.6	139.6	85.2	30.8	3.8	0.0		5.9	10.6	28.9	46.6	90.0	
27	2006	186.9	86.0	107.8	52.7	0.0	8.5	4.3	8.2	7.2	76.9	80.8	71.9	
28	2007	156.2	114.5	167.1	37.0	4.5	0.0	10.8	1.4	0.0	40.7	74.2	54.7	
29	2008	141.6	128.8	41.5	10.7	14.7	16.2	0.0	9.2	7.2	52.3	75.6	159.6	
30	2009	109.5	89.3	62.6	35.5	6.5	0.0	4.5	2.0	6.7	5.7	80.5	78.1	
31	2010	197.7	92.6	73.1	1.3	14.9	0.0	2.0	7.8	8.7	56.7	24.0	140.5	
32	2011	121.3	229.8	95.5	68.0	0.3	4.5	5.5	0.0	19.7	53.1	63.0	99.6	
33	2012	83.3	160.9	21.0	8.0	1.9	0.8	3.0	1.7	9.7	6.0	93.8	138.0	
34	2013	168.7	116.9	102.7	22.2	3.9	3.6	6.0	5.7	4.5	105.0	81.5	136.2	
35	2014	143.1	105.2	54.2	45.9	7.8	0.0	3.8	0.8	12.5	52.5	15.3	95.4	
36	2015	144.8	105.8	62.4	74.6	13.1	0.0	10.0	6.9	6.4	19.0	39.3	107.1	
37	2016	86.6	97.8	50.8	28.0	7.8	0.7	8.1	2.1	14.8	61.7	16.8	45.4	
38	2017	66.0	79.5	154.1	49.1	22.8	5.2	0.0	6.2	15.8	26.6	82.2	61.7	
39	2018	88.3	162.9	145.0	27.5	1.0	18.3	22.6	11.2	6.8	98.9	80.1	104.9	
40	2019	99.1	152.6	128.9	7.7	18.1	0.0	2.3	0.0	8.9	46.8	103.4	173.0	
41	2020	113.3	164.3	63.7			6.5	0.0	0.5	0.6	15.0	30.4	114.2	
42	2021	103.8	114.1	81.9	26.2	9.4	2.6	0.0	0.2	11.4	31.0	88.8	89.7	
43	2022	129.0	87.2	124.9	10.3	10.3	0.0	0.0	4.7	29.8	2.9	24.5	46.5	



**Anexo G8. Precipitación mensual total de la Estación Paucartambo (mm/mes)- Información incompleta**

NOMBRE:		ESTACION PAUCARTAMBO					TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA					
LATITUD:		13°18'12"					REGIÓN:		CUSCO					
LONGITUD:		71°35'48"					PROVINCIA:		PAUCARTAMBO					
ALTITUD:		3042 msnm					DISTRITO:		PAUCARTAMBO					
PARAMETRO:		PRECIPITACION					PERIODO:		1980 - 2022					
CODIGO:														
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	1980	40.4	35.9	62.5	19.2	6.8	2.2	14.3	4.9	6.7	36.4	9.2	25.1	
2	1981	33.5							6.2	0.0				
3	1982	12.8	13.4	10.9	1.6	2.9	0.0	1.3	6.9					
4	1983													
5	1984													
6	1985													
7	1986													
8	1987			66.5	42.8									
9	1988													
10	1989													
11	1990			81.8	20.3	14.4	20.0	0.0	0.0	5.2	37.4		58.6	
12	1991	35.1			3.1	0.0	26.2	1.0		6.1	17.7	41.0	22.6	
13	1992	45.7	60.0	24.4	20.4	21.8	6.6	15.1	25.3	2.3	37.5	33.2	25.1	
14	1993	195.1	115.1	57.1	27.7	25.5	0.0	8.9	59.6	38.8	27.0	65.5	139.7	
15	1994	117.0	108.7	63.1	62.0	6.7	4.2	0.0	4.4	17.2	51.6	35.6	114.5	
16	1995	36.9	115.3	180.0	19.5	23.2	0.0		5.1	29.0	38.7	40.6	45.6	
17	1996	181.1	97.3	69.3	48.8	12.1	0.5	1.7	23.3	15.4	42.0	37.5	84.3	
18	1997	79.7	157.2	69.0	9.6	6.0	0.0	0.5	29.5	28.6	15.0	84.6	88.7	
19	1998	111.0	91.8	72.6	11.4	0.0	26.8	0.1	0.3	2.9	30.2	51.7	63.7	
20	1999	96.9	165.2	82.4	75.0	2.8	1.0	2.0	0.7	41.5	40.5	6.1	74.3	
21	2000	205.4	166.0	119.0	36.0	20.1	13.4	0.0	9.2	7.1	54.9	3.6	49.2	
22	2001	180.2	136.2	142.0	85.4	13.5	1.5	15.7	34.6	6.7	65.3	68.3	50.2	
23	2002	89.8	144.8	118.1	76.3	1.5	11.0	55.0	9.6	20.1	33.0	49.6	109.5	
24	2003	105.6	128.5	102.6	47.4	15.9	3.6	3.4	19.3	14.5	29.3	31.3	118.1	
25	2004	141.5	70.3	88.2	25.0	13.1	8.3	39.3	42.8	16.4	27.0	34.6	98.7	
26	2005	63.3	125.1	79.2	28.0	0.0	0.0	1.2	5.7	15.6	16.8	32.8	61.5	
27	2006	153.0	69.3	86.0	33.2	0.0	5.8	0.0	16.5	6.5	64.7	67.0	124.1	
28	2007	131.4	66.9	134.2	49.9	14.3	1.1	2.5	6.8	3.5	43.7	31.8	99.0	
29	2008	126.9	125.6	75.4	24.2	6.2	22.0	2.4	2.8	6.9	36.2	38.8	119.6	
30	2009	114.7	138.4	97.2	22.8	0.0	0.0	10.1	10.4	12.2	7.2	89.0	79.4	
31	2010	170.4	142.8	151.7	26.1	9.5	14.0	14.6	0.8	15.3	61.3	24.1	119.9	
32	2011	145.4	139.0	147.1	77.6	5.6	1.8	21.9	5.4	24.4	38.3	28.5	309.7	
33	2012	113.6	184.2	92.5	54.4	3.1	3.2	13.1	10.8	29.9	18.4	43.8	244.1	
34	2013	146.9	168.0	114.5	28.3	19.7	11.7	2.2	35.0	9.3	114.3	49.8	123.0	
35	2014	193.9	96.6	95.7	49.9	17.2	1.6	6.9	56.8	12.5	34.1	23.6	122.9	
36	2015	100.9	155.5	111.2	124.4	12.6	7.6	7.3	24.1	0.0	34.7	88.3	107.8	
37	2016	105.3	144.6	31.1	46.4	23.5	6.2	10.7	2.4	7.9	31.4	11.1	83.1	
38	2017	143.2	140.4	102.8	25.2	43.4	1.0	2.1	19.1	12.6	27.8	51.9	73.8	
39	2018	146.4	121.3	135.7	28.0	3.2	31.8	37.8	24.2	5.1	135.2	75.6	65.2	
40	2019	201.5	163.2	151.2	29.1	27.1	21.8	17.8	2.6	18.6	93.5	118.5	94.8	
41	2020	97.9	199.4	143.5	19.9	4.8	6.5	0.0	2.1	2.4	29.4	70.1	128.7	
42	2021	128.1	205.1	60.9	39.7	6.4	4.5	3.0	1.6	18.9	13.9	117.6	84.1	
43	2022	98.8	138.9	61.0					0.0	10.7	1.8	23.5	71.2	



## Anexo H. Precipitaciones mensuales completadas

### Anexo H1. Precipitación mensual total de la Estación Kayra (mm/mes)- Información Completa

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	106.2	126.4	135	23.2	3.7	0	5.3	1	12.6	62.9	60.2	83.1
1981	225.4	80.8	124.4	56.9	1.8	3.9	0	9.8	45.9	108.9	120.8	144.3
1982	178.9	115.5	143.1	58.8	0	9.2	3.4	4.9	14	37.9	122.5	98.6
1983	128.4	84	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26	44.3	100.2
1984	198.6	142.4	71	82.8	0	2	1.3	11.4	4.2	114.6	68.5	102.8
1985	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0	43.3	62.1	116.5	122.4
1986	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7
1987	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0	8.2	26.5	101.8	107.6
1988	163.8	84.3	166.5	108.9	4.6	0	0	0	9.9	36.2	47.6	103.7
1989	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0	6.1	30.7	15.7	60.7	88.5
1990	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5
1991	97.6	163.6	105.2	45.1	11	5.1	1.5	0	21.4	49.3	83.6	99
1992	114.1	102.4	104	14.9	0	19.4	0	21.4	8	50.7	117.4	57
1993	206.7	110.5	75.8	18.8	0.9	0	2.7	6.9	18	46.2	111.9	201.5
1994	177	163.9	173.9	45.5	11.8	0	0	0	25.7	40.2	40.5	119.9
1995	122	94.8	95.3	17.8	0	0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6
1996	131.9	98	70.5	32.3	11	0	0	6.3	19.6	52.77	61.7	149
1997	123.3	127.7	104.8	31	4.8	0	0	7.1	12.3	44.4	201.5	148.4
1998	116.3	156.2	22.6	31	1.6	1.9	0	1.6	4.3	49.8	49.7	58.9
1999	89.3	92.2	92	42.8	1.3	3.4	1	0	43.1	18.8	39.7	119.5
2000	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	49.3	29.3	82
2001	233	173.1	137.4	36.4	11.5	0	17.4	10.2	20.6	38.3	96.8	89.4
2002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.7	10.3	78.7	97.8	132.4
2003	163.9	135.5	142.9	56.5	2	6.4	0	21.3	3.7	34.6	23.1	123.8
2004	173.7	125.8	66.5	21	2.4	20.5	17	9	21.7	25.6	60.9	87.9
2005	140.8	126.2	120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4	4.5	39.1	59.3	102.5
2006	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2
2007	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0	4	0	1	49.4	74	88.4
2008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0	3.9	13.9	51.7	90.2	120.5
2009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0	3.3	0.7	15.1	8.3	88.7	82.9
2010	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0	1.4	4.7	8.2	70	40	174.1
2011	103.4	187	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0	38.9	38.2	60.2	110.2
2012	70.5	157.9	41.7	48.1	4.5	1.2	0	0	18.4	19.5	138.2	179.5
2013	189.6	137.2	75.5	15.1	25.3	6.1	2	12.4	6.3	105	86	159.4
2014	161.9	116.5	40	35	10.1	0	3.2	5.8	5.6	49.06	29.6	156
2015	169.8	146.5	66.7	69.8	18.6	3.9	10.3	4.6	16.1	19.1	48.6	113
2016	104	153.1	54.3	24.4	3	0	4.5	0.5	7	79.5	28	89.8
2017	111.2	86.9	122.8	47.5	11.2	5.9	0	8.4	19	33.7	61.4	101.7
2018	154.8	162.5	146.3	20.3	0.2	16	11.6	7.1	9.1	84.82	80.75	95
2019	127.8	117.2	171.4	30	28.2	1.5	3.7	0	9.8	82.4	111.7	154.4
2020	126.7	156.4	80.2	11.2	16.28	0	8.2	1	5.6	7.5	46.6	138.2
2021	154.4	127	75.7	90.5	8.7	10.7	0	4.3	1.5	46.1	101.6	106.1
2022	214.4	107.2	142.2	12.9	1	0.5	0	2.5	21.9	1.2	29.3	87.34



**Anexo H2. Precipitación mensual total de la Estación Colquepata (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	128.3	168.8	80	7.1	7.3	1.8	4.1	7.7	1.2	83.6	69.2	67.7
1981	194.4	120.9	76.4	71.6	14.1	1.2	0	14.3	71.2	59.2	111.7	67.1
1982	280.1	110.8	103.7	41.8	7.3	3	42.3	10.6	40	48.5	85.5	25.4
1983	24.4	25.4	30.1	13.5	3.5	8.2	9	6.7	14.3	12.5	19.3	24.4
1984	481.4	161.7	144.2	44.2	12.7	8.8	47.5	6.8	18.6	8.1	28.3	45.9
1985	34.7	26.35	13.93	3.52	5.12	6.35	0	0	5.83	5.61	38.8	60.32
1986	81.77	59.76	125.2	25.93	7.43	0	5.49	0.73	17.99	15.84	17.1	38.48
1987	204.7	59.81	66.59	20.81	4.48	2.76	19.48	0	0	28.45	87.72	66.8
1988	100.7	66.78	111.1	62.39	15.22	0	0	0	5.59	36.96	22.64	97.05
1989	141.6	84	124.4	34.12	7.98	3.71	0	4.29	18.63	21.25	43.92	41.35
1990	122.6	52.38	53.79	22.79	12.28	31.8	1.15	4.14	2.97	39.45	127.8	97.5
1991	54.68	155.7	42	15.12	4.97	23.4	0.52	0	10.32	18.46	58.96	70.41
1992	99.92	72.93	49.27	16.71	13.23	21.03	8.01	25.8	2.1	38.63	63.77	45.01
1993	178.6	91.05	72.38	21.57	14.45	0.77	4.69	49.48	23.39	22.03	59.57	143.4
1994	122.7	118.5	92.62	42.32	7.67	1.53	0	2.8	27.36	48.06	27.52	118.3
1995	85.28	68.28	154	17.64	17.11	0	0	2.07	18.08	20.04	45.02	63.59
1996	161.5	99.08	71.86	39.26	10.07	0.18	0.89	26.86	14.77	35.67	36.37	94.51
1997	108.1	129.3	104	9.71	7.25	0	0.26	15.33	20.61	19.08	73.86	63.52
1998	83.17	103.7	60.77	9.98	0	16.81	0.05	1.94	1.32	25.05	44.89	63.77
1999	37.2	94.5	106.9	10.8	2.2	1.2	3.3	2.3	22.2	13.3	5.4	91.7
2000	175.1	121.3	111.6	27.2	2.4	1.3	1.3	1.1	4.7	23.3	1.2	42.6
2001	269	165.4	155.3	80.3	32.4	1.9	19.2	29.3	20.1	82.1	118.2	91.6
2002	120.3	162.1	144.2	75.5	6.6	14.3	50.3	23.4	32.6	73.1	51.6	135
2003	152	164.6	136.9	39.4	13.7	5.8	2	24.7	6.3	19.2	23.2	142.9
2004	174.9	122.9	80.2	13.5	11.7	9.3	26.7	26.9	33.2	40.4	50.9	109
2005	63.4	158.7	73	35.6	8.4	0	4.7	4.8	8.6	32.7	47.4	68.4
2006	176.2	56.5	89.6	36.7	2.2	1.2	0	24.8	7.1	70.6	67	116.5
2007	145.9	75.4	163.5	38.9	15.8	0.4	8.7	12	7.7	37.1	39.1	135.4
2008	165.2	138.9	76.7	36.6	16.8	19.6	4.4	18.2	18.6	62.9	57	153.5
2009	138.4	122.8	109.5	23	1.6	0	20	3.4	7.7	7.8	135.5	114
2010	225.5	113.5	160.4	15.1	4.4	10.1	12.5	1.3	10.5	87.4	27.1	145.8
2011	149.1	169.9	148.6	55.9	6.1	12	21	11.3	42.5	39.2	34.1	121.3
2012	137.2	166.5	60	32.2	9.3	5	2.7	4.8	28.8	15.7	82.9	175.3
2013	182.3	160.6	116.6	41.6	17.2	18.5	5.3	27.7	11.7	103.7	33.2	169.2
2014	199.6	86.7	93	40.8	25.4	6.1	8.8	28.5	12.8	37.9	40	124.8
2015	87.9	93.4	79.9	120.9	52.1	3.8	10.1	20.6	10.7	18.6	111.5	133.2
2016	125.7	124.7	18	49	11.4	10.2	12.2	2.4	12.7	58.9	22.9	98.3
2017	104.9	111.3	157.7	43.9	48.3	3.8	1	16.5	12.3	37.4	56.6	72.6
2018	184.5	143.6	159.8	27.1	1.3	37.2	31.3	25.2	8.8	160	49	78.1
2019	165	172.5	134.4	46	39.9	31.4	10.6	0.4	17.3	83.6	91.2	136.5
2020	106.5	216.7	125.3	20.4	26	11.7	0.5	0	0	23.3	51.8	132
2021	107.7	163	104.2	47.8	8.4	7.9	4	0.8	24	22.7	101.5	113.7
2022	105.6	126.7	108.8	15.9	21.9	0.2	0.2	10.5	16.5	1.8	34.7	80.9



**Anexo H3. Precipitación mensual total de la Estación Ccatca (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	92	128.8	91	39.2	0	0	0	3.2	21.2	55.6	51.2	75.8
1981	159	102.8	141.6	74	9.6	0	0	10.2	2.6	66.4	111.4	94.8
1982	146.2	58.4	136.6	24.2	0	1	2.8	3.4	21.8	56	65	73.2
1983	81.4	48.2	39.4	6	10.4	0	5.6	2.48	14.34	7.3	15.85	21.7
1984	277.7	105.3	92.95	26.3	4.2	6.59	15.16	4.87	9.28	8.05	30.01	49.89
1985	27.75	24.03	13.74	3.08	2.19	4.75	0	0	4.19	5.06	44.67	63.29
1986	65.4	74.9	137.8	28.4	4.7	0	6.9	1.2	12.9	23.1	29.7	54.4
1987	205.7	82.8	57.7	17.7	5.8	5	24.1	0	0	43	95	94.8
1988	89.8	66.5	141.8	90.9	14	0	0	0	8.1	61.5	42.8	94.7
1989	112.1	114.3	154.3	54.6	10.3	6.7	0	7	26.7	20.9	56.9	37.6
1990	115.7	68.7	55.2	24.2	1.3	37.9	0	8	1.3	36.9	147.3	117.5
1991	70.7	146.1	54.4	31	3.9	23.4	0	0	16.3	26.3	69.9	109.9
1992	144.2	92.7	49.1	14.9	3.7	33.6	0	25.9	0	43	87.9	43.3
1993	158.2	102.8	77.8	16.4	2.3	2.1	0	49.1	11.2	31.2	57.9	177.2
1994	104.9	143.7	110.7	41.6	8.2	0	0	2.5	29	47.4	35.6	161.7
1995	100.7	66.5	156.6	31.9	9.6	0	0	0	9.9	10.1	75.6	77
1996	118.9	125.6	64.8	25.8	1.2	0	0	22.4	16.5	29.6	40.4	112.1
1997	115.3	132.6	121.9	11.3	5.1	0	0	4	8.8	22.4	84.6	63.5
1998	73.8	129.4	62.7	10.7	0	15.2	0	0	0	31.9	58.8	61.1
1999	124.3	120.4	102.2	40	0	0	3.2	0	33.8	14	26.2	127.4
2000	169.3	110.5	107.7	20.1	2	1.8	6.4	6.6	23.7	56.3	14.9	57.2
2001	265.3	153.9	126.9	62.1	22.6	0	18	24.9	17	98.4	67.8	74.3
2002	102.5	176.9	144.8	62	8.3	13	34.8	9.1	25.4	67.3	92.8	149.4
2003	120.4	142.6	133.4	15.7	10.3	9.2	2.5	25.5	4.8	15.7	17.8	123.5
2004	169.7	106.5	91.6	28.5	17.2	28.2	27.9	14.7	48	55.4	69.9	91.3
2005	60.2	147.4	109.8	30	2.8	0	1.5	5.6	9.9	27.5	77.7	98.7
2006	104.3	108	161.5	70.3	0.4	3.3	0	14.1	6.6	84.6	85.4	118.6
2007	129.5	83.6	107.6	31.9	9.9	0	5.1	1.9	2.5	53.7	50.7	75.3
2008	151.6	114.7	62.6	24	8.4	6.2	0	13.7	6.4	54.8	87.1	185.2
2009	112.6	106.6	80.3	31.3	2.4	0	14.9	4	17.3	14.6	141.6	104.7
2010	206.3	91	148.5	9.8	0	1.7	6.1	4.7	3.6	57.9	30.6	143.4
2011	133.3	223.4	147.4	62.1	6.9	4.5	12.7	1.2	36.3	40.1	31.5	130.8
2012	116.2	168.1	60.9	38.6	10.2	6.9	3.8	3	17.8	18	86.2	183.6
2013	160.7	173.5	124	29.4	8.6	0.9	12.3	18.1	6.7	94.5	80.1	173.6
2014	160.2	120.3	69.6	38.2	16.8	1.59	0	5.9	4.5	33.2	42.5	133.6
2015	166.8	159.8	83.8	111.6	13.9	0	14	12.3	9.3	23.7	52.1	118.1
2016	110.4	113.1	41.8	30.3	12.7	3.5	13.3	0.5	12.6	39.9	19	51.5
2017	126.1	109.5	133.7	88.4	25.2	8.4	0	3.2	16.4	27.9	75.3	89
2018	115.8	185.8	208.7	26.9	0	34.2	20.4	11.2	4.5	131.5	69.9	70.1
2019	137.2	227.6	112.9	24.6	18.4	0	0	0	6.5	59.8	114.3	213.6
2020	144	161.7	121.1	10.6	7.4	3.5	0.44	0.73	1.71	32.5	45.4	154.8
2021	121.3	92.2	96.68	36.49	6.69	1.6	0	0	25.88	16.4	103.8	122.6
2022	195.3	136.7	143.4	2	10.54	0.22	0	13.2	26.2	6.1	20.8	106.3



**Anexo H4. Precipitación mensual total de la Estación Challabamba (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	103.6	150.6	96.55	39.29	7.06	2	9.23	6.96	11.72	79.31	51.55	64.11
1981	169.6	142.7	146.1	123.9	16.05	0.8	0	17.2	35.31	88.46	138.3	90.52
1982	179.1	74.84	104.5	38.91	5.09	4.12	23.9	9.24	35.2	74.07	96.29	49.99
1983	71.86	51.3	35.7	20.68	12.96	7.59	18.28	5.95	23.35	12.35	19.57	26.38
1984	388.9	172.8	126	61.89	12.88	16.25	49.69	11.68	15.11	13.6	37.04	60.63
1985	38.91	39.4	18.62	7.24	6.69	11.68	0	0	6.82	8.56	55.09	76.86
1986	91.68	89.41	167.4	53.36	9.72	0	6.94	1.06	21.05	24.18	24.29	49.05
1987	229.5	89.49	89.03	42.84	5.85	5.08	24.65	0	0	43.44	124.6	85.14
1988	112.9	99.91	148.6	128.5	19.88	0	0	0	6.54	56.44	32.16	123.7
1989	158.8	125.7	166.4	70.23	10.43	6.82	0	6.22	21.8	32.44	62.37	52.71
1990	137.4	78.36	71.94	46.93	16.05	58.92	1.46	6.01	3.47	60.27	181.4	124.3
1991	61.33	232.9	56.16	31.12	6.5	43.28	0.66	0	12.07	28.19	83.78	89.76
1992	112.1	109.2	65.89	34.4	17.29	38.87	10.14	37.44	2.46	59.01	90.62	57.39
1993	200.3	136.3	96.78	44.41	18.89	1.41	5.94	71.85	27.37	33.64	84.64	182.8
1994	137.6	177.4	123.9	87.2	10.02	2.82	0	4.06	32.01	73.44	39.1	150.8
1995	95.65	102.2	205.9	36.32	22.37	0	0	2.99	21.16	30.61	63.97	81.08
1996	181	148.3	96.11	80.89	13.16	0.33	1.13	38.98	17.29	54.5	51.68	120.5
1997	121.2	193.6	139.1	19.97	9.48	0	0.33	22.23	24.12	29.15	105	80.99
1998	93.28	155.3	81.28	20.54	0	31.04	0.07	2.82	1.55	38.27	63.78	81.3
1999	116.1	192.1	134.7	96.26	2.89	1.1	6.69	1.31	48.72	34.99	21.33	133.5
2000	291.4	228.9	192.1	72.6	14.1	16	1.3	19.9	11.9	110.2	16.4	92.9
2001	220.8	226.5	211.9	103.5	32	11.9	23.9	27.8	8.5	76	86.4	99.1
2002	116.1	195.1	213	107.2	6.4	18.4	73.6	17.8	33.1	69.3	81.6	141.1
2003	145.5	163.8	191	61.5	30.4	2.5	9.5	24.1	17.8	66.5	42.4	137
2004	185.7	95.4	99.2	45.43	2.5	30.7	32.4	43.7	11.6	61.5	54.7	39
2005	19.2	197.9	96.1	37.1	9.6	0.2	3	9.7	24.9	18.8	33.1	87.1
2006	222	123.8	126.2	70	4.6	6	0	17	52	150.2	146.4	199.5
2007	149.6	128.2	216.1	121.1	31.1	2.4	18.4	15.1	21.2	49.1	48.4	117.9
2008	199.5	163	144.1	29.6	10.2	12.8	14.1	0	8.3	72.9	51.6	157.8
2009	157.8	219.1	151.6	73.8	8.2	0	9.3	7.5	9.1	11	302.8	102.7
2010	208.9	160.9	119.7	63.6	13.5	21	7.6	5	19.7	73.4	24.7	60.6
2011	214.9	202.4	132.4	180.8	9.3	17.8	32.6	11.6	32.9	52.1	57.2	161.9
2012	107.6	281.8	169.9	52.7	6.2	8.6	1.8	0	27.9	38.2	56.5	345.2
2013	180.1	115.1	113.5	25.2	25.6	21	5.4	37.6	4.4	140.7	50.3	226.9
2014	253.1	118.8	109.6	93.5	21.1	0.1	1.3	52.3	33.1	48.3	26	94.9
2015	152.1	201.6	167	152.8	17.1	8.9	4	24.9	7.8	52.8	133.1	125.9
2016	158.4	143.8	46.1	61.3	28.1	7.1	12.2	0.1	12.1	42.7	30.2	116.4
2017	195.2	197.2	95.9	54.9	63.6	7.6	2.4	22.2	27.6	24.9	60.5	101.4
2018	206.5	160.6	129.4	44.1	11	33.5	40.1	20.8	13	153.7	90.9	95.6
2019	245.1	205	150.7	42.9	36.1	39.6	32	7.4	24.1	134	128.4	94.2
2020	78.8	258.8	73	35.97	26.16	24.3	2.4	1.4	4	57.9	37.1	181.2
2021	141.3	267.3	117.6	46.2	16.1	15.8	7.6	2.9	46.2	20.3	173.1	62.7
2022	202.3	181.4	123.2	14.7	14.8	0.6	18.1	27.1	25.5	8.9	21.1	93.4



**Anexo H5. Precipitación mensual total de la Estación Paucartambo (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	40.4	35.9	62.5	19.2	6.8	2.2	14.3	4.9	6.7	36.4	9.2	25.1
1981	33.5	89.54	91	57.33	8.65	0.42	0	6.2	0	48.58	78.82	64.78
1982	12.8	13.4	10.9	1.6	2.9	0	1.3	6.9	20.82	40.72	54.88	35.77
1983	43.72	32.2	22.24	9.59	6.98	3.93	10.07	5.01	13.83	6.79	11.16	18.88
1984	236.8	108.5	78.53	28.7	6.95	8.42	27.32	9.84	8.95	7.48	21.13	43.4
1985	23.7	24.75	11.61	3.36	3.61	6.06	0	0	4.04	4.71	31.45	55.05
1986	55.85	56.14	104.4	24.74	5.24	0	3.82	0.89	12.47	13.3	13.86	35.11
1987	139.7	56.19	66.5	42.8	3.16	2.64	13.56	0	0	23.88	71.07	60.96
1988	68.73	62.74	92.6	59.56	10.72	0	0	0	3.87	31.03	18.35	88.56
1989	96.72	78.92	103.7	32.56	5.62	3.54	0	5.24	12.9	17.84	35.58	37.73
1990	83.66	49.21	81.8	20.3	14.4	20	0	0	5.2	37.4	103.5	58.6
1991	35.1	146.3	35	3.1	0	26.2	1	0	6.1	17.7	41	22.6
1992	45.7	60	24.4	20.4	21.8	6.6	15.1	25.3	2.3	37.5	33.2	25.1
1993	195.1	115.1	57.1	27.7	25.5	0	8.9	59.6	38.8	27	65.5	139.7
1994	117	108.7	63.1	62	6.7	4.2	0	4.4	17.2	51.6	35.6	114.5
1995	36.9	115.3	180	19.5	23.2	0	0	5.1	29	38.7	40.6	45.6
1996	181.1	97.3	69.3	48.8	12.1	0.5	1.7	23.3	15.4	42	37.5	84.3
1997	79.7	157.2	69	9.6	6	0	0.5	29.5	28.6	15	84.6	88.7
1998	111	91.8	72.6	11.4	0	26.8	0.1	0.3	2.9	30.2	51.7	63.7
1999	96.9	165.2	82.4	75	2.8	1	2	0.7	41.5	40.5	6.1	74.3
2000	205.4	166	119	36	20.1	13.4	0	9.2	7.1	54.9	3.6	49.2
2001	180.2	136.2	142	85.4	13.5	1.5	15.7	34.6	6.7	65.3	68.3	50.2
2002	89.8	144.8	118.1	76.3	1.5	11	55	9.6	20.1	33	49.6	109.5
2003	105.6	128.5	102.6	47.4	15.9	3.6	3.4	19.3	14.5	29.3	31.3	118.1
2004	141.5	70.3	88.2	25	13.1	8.3	39.3	42.8	16.4	27	34.6	98.7
2005	63.3	125.1	79.2	28	0	0	1.2	5.7	15.6	16.8	32.8	61.5
2006	153	69.3	86	33.2	0	5.8	0	16.5	6.5	64.7	67	124.1
2007	131.4	66.9	134.2	49.9	14.3	1.1	2.5	6.8	3.5	43.7	31.8	99
2008	126.9	125.6	75.4	24.2	6.2	22	2.4	2.8	6.9	36.2	38.8	119.6
2009	114.7	138.4	97.2	22.8	0	0	10.1	10.4	12.2	7.2	89	79.4
2010	170.4	142.8	151.7	26.1	9.5	14	14.6	0.8	15.3	61.3	24.1	119.9
2011	145.4	139	147.1	77.6	5.6	1.8	21.9	5.4	24.4	38.3	28.5	309.7
2012	113.6	184.2	92.5	54.4	3.1	3.2	13.1	10.8	29.9	18.4	43.8	244.1
2013	146.9	168	114.5	28.3	19.7	11.7	2.2	35	9.3	114.3	49.8	123
2014	193.9	96.6	95.7	49.9	17.2	1.6	6.9	56.8	12.5	34.1	23.6	122.9
2015	100.9	155.5	111.2	124.4	12.6	7.6	7.3	24.1	0	34.7	88.3	107.8
2016	105.3	144.6	31.1	46.4	23.5	6.2	10.7	2.4	7.9	31.4	11.1	83.1
2017	143.2	140.4	102.8	25.2	43.4	1	2.1	19.1	12.6	27.8	51.9	73.8
2018	146.4	121.3	135.7	28	3.2	31.8	37.8	24.2	5.1	135.2	75.6	65.2
2019	201.5	163.2	151.2	29.1	27.1	21.8	17.8	2.6	18.6	93.5	118.5	94.8
2020	97.9	199.4	143.5	19.9	4.8	6.5	0	2.1	2.4	29.4	70.1	128.7
2021	128.1	205.1	60.9	39.7	6.4	4.5	3	1.6	18.9	13.9	117.6	84.1
2022	98.8	138.9	61	10.43	17.46	0.28	5.04	0	10.7	1.8	23.5	71.2



### Anexo H6. Precipitación mensual total de la Estación Pisac (mm/mes)- Información Completa

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	92.8	182.2	226.8	89.7	2	0	0	11.3	36.7	39.8	5	48.5
1981	97.9	178.3	89.7	31.4	9.3	4.2	15.3	3	15.4	55.3	118.1	117.9
1982	276.4	68.4	236.2	195.4	25.5	8	1	15.1	19.9	30.1	104.5	18.7
1983	5.1	28.8	48.34	29.8	0	2	11.1	6.1	13.3	18.5	30.5	34
1984	103.5	121.1	67.15	62.47	0.09	4.87	0.85	16.5	8.1	46.6	71.4	13.6
1985	140.6	205.5	194.5	64.3	8.3	0	0	5.1	27.9	108.1	131.2	25
1986	27.8	118.9	134	38.5	12.5	0	2.1	3.3	4	2.1	8.3	11.8
1987	276.3	45.9	24.6	13.3	0	14.6	9.1	0	0	8.2	88.01	38.8
1988	96.1	99.6	193.4	52.4	2	0	0	0	2.3	12	13.7	85.9
1989	116.3	94.8	111.5	25.9	8	0	3	9.2	7.2	20.5	20.2	27.1
1990	76.7	45.6	20.3	82.6	6.2	38.4	0	3	8.4	44.1	99.4	115
1991	76.2	101.7	64.5	31.4	11.5	8	0	2	2	50.7	61.4	65.4
1992	81	45.4	31.7	22.6	0	26	12.75	13.3	4	32	91.8	73
1993	178.9	82.9	12.4	36	8.2	4.2	8.2	14.2	3	18.2	75	109.8
1994	167.2	118	151.6	59.8	5.3	0	0	0	12.4	52.6	13.2	158.6
1995	98.9	79.5	80	7.2	4.2	0	0	0	12.2	24.2	18.2	51.6
1996	117.6	69.3	44.4	69.3	12.1	0	0	21.6	13.57	52.5	47.5	104.3
1997	122.3	103.8	99.5	4.1	2.9	0	0	20.1	18.1	13.5	108.9	97.8
1998	129.8	98.7	38.2	21.6	4.2	3	0	0.8	13.5	64	50.9	51.3
1999	93.2	122.3	51.5	28.3	4.9	4.64	2.6	0	30	17.7	40.2	105.9
2000	159.8	105.4	58.7	2.2	9.1	3.7	0	2	4.4	41.6	11	70.6
2001	211.2	136.4	152.2	19.9	12.1	0	19.4	5.6	8	50	77.4	102
2002	90.6	161.4	106.1	35.8	6.6	4.3	46.6	3.3	10.9	39.4	91.6	127.9
2003	114.4	108.7	110.7	15.8	4.4	6.8	0	23.6	4	31.7	18.3	120.9
2004	149.9	109.2	95.6	15.8	2	16.4	10.3	6.9	32.5	25.9	43	94.3
2005	127	76.9	69.1	29.6	0	0	1.5	3.7	4.1	18	50.5	58.6
2006	170.7	82.2	125	34.5	0	30	0	14.3	5.2	42.7	69.7	117.1
2007	102.7	52.6	135.8	42.1	7.6	0	1.7	0	4.9	32.7	66.9	83.3
2008	154.3	151.5	61.5	8.5	5.9	3.6	0.7	3.2	9.8	46.8	64.1	133.9
2009	89.9	89.4	66.2	14.1	0.2	0	3.1	0.8	20.4	8.2	118.1	115.3
2010	196.1	145.1	155.8	6	6.5	1.1	1.4	11.4	1.8	72.7	26.3	204.2
2011	100.7	170.6	109.2	32.9	6.8	7	8.6	0.6	27.9	26.2	48	139.5
2012	67	157	54.2	30.1	5.5	0	0.8	0.5	24.1	8.6	127	146.8
2013	104.8	153.5	68.1	23.3	10.7	5.4	4.1	15.8	5.6	132	52.9	170.1
2014	143.8	82.6	68.7	50	12.8	0	1.3	1.5	22.9	28.2	12.5	105.8
2015	78	49.8	28.3	35.5	12.5	0	26.8	3.6	13.1	7.4	20.6	51.8
2016	51.8	84.5	19.7	10	22.5	1.2	7.3	0	14.1	72.9	27.1	98.2
2017	66.4	52.5	116.2	54.8	12.9	3.2	0.8	5.5	9	24.6	40.8	61.9
2018	124.3	121.1	107	32.6	3.9	14.2	13.6	15	11.8	85.7	92.6	69.4
2019	115.3	77.7	126	19.3	17.6	0.5	9.1	0	4.8	53.1	97.2	106.9
2020	136.1	107.6	87.9	9.65	19.14	0.4	0.9	0	0.1	17.1	27.6	88.3
2021	90.5	92.8	40.4	24.3	6.9	2.7	0	2.3	2.6	30.1	87.8	66.3
2022	108.3	43.4	106.4	1.3	1.1	0.2	0	1.5	14.6	0.6	19.6	72.4



**Anexo H7. Precipitación mensual total de la Estación Caicay (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	35	47.1	36.8	8.8	0	0	0	0	0	11.3	19.3	26.4
1981	92.2	46.6	85.8	25.3	0	0	0	7.7	11.1	30.5	68.9	43
1982	66.2	8.7	40.9	6	0	4.2	0	0	2	31.6	55.1	15.3
1983	48.2	24.6	6	5.09	5.3	3	3.63	0	6.48	2.3	9	15.6
1984	58.4	55.7	30.9	13.7	0	7	0	6.3	0	5.04	25.1	45.7
1985	27.6	24.9	13	3.4	3.3	5.7	0	0	4.2	5.1	39.5	57.8
1986	64.9	38.3	93.9	21.6	4.9	0	0	0	5.84	5.8	5.4	19.8
1987	116.8	30.5	44.65	0	0	0	0	0	0	8.7	81.8	33.5
1988	70.3	59.9	64.2	27.8	5.5	0	0	0	0	5.5	3.6	90.9
1989	77.87	44.4	76	11	0	0	0	0	0	17.8	32.6	42.1
1990	78.8	30.6	14.3	21.7	8	22.6	2.2	2.2	0	33	128.6	103.7
1991	25.8	97.35	24.2	10	5.8	10.9	0	0	0	6.7	68.6	70.7
1992	49.1	54.9	65.2	13.4	0	14.5	0	10	2.3	24.6	72.7	62.2
1993	69.4	40.5	48.54	18.6	0	0	0	4.2	0	2.2	57.9	90.7
1994	70.6	82.3	84.7	18	0	0	0	0	12	31.2	13.6	61.7
1995	66.8	12.7	87.9	0	0	0	0	0	0	6.2	21.6	61.2
1996	83	57.9	67.3	38.4	6.2	0	0	17.9	0	25.6	33.8	75
1997	63.3	74.9	98.6	7.5	3	0	0	3.5	6.8	15	54.4	31.4
1998	14.6	72.6	35.4	7.1	0	2.2	0	4.5	0	6.5	26.9	59.5
1999	72.3	102.3	82.7	52.3	0.8	0	4.9	0	17.6	16.2	24.6	106.6
2000	149.4	77	81.9	2.9	1.8	11.6	9	3.1	3.7	32.6	17.7	77
2001	250.8	155	140.4	29.6	17.7	0	20.6	24.4	19	93.5	71.2	80
2002	91.1	186	98.4	22.7	6	0	29	0	16.3	29.8	48.7	95.8
2003	159	157.2	225	28.6	2.5	6.2	0	17.3	10.4	7	19.5	155.7
2004	120.9	106.9	72.2	18.7	2.8	34.8	19.6	11.4	10.4	26	62	63.2
2005	72.6	139.6	85.2	30.8	3.8	0	1.02	5.9	10.6	28.9	46.6	90
2006	186.9	86	107.8	52.7	0	8.5	4.3	8.2	7.2	76.9	80.8	71.9
2007	156.2	114.5	167.1	37	4.5	0	10.8	1.4	0	40.7	74.2	54.7
2008	141.6	128.8	41.5	10.7	14.7	16.2	0	9.2	7.2	52.3	75.6	159.6
2009	109.5	89.3	62.6	35.5	6.5	0	4.5	2	6.7	5.7	80.5	78.1
2010	197.7	92.6	73.1	1.3	14.9	0	2	7.8	8.7	56.7	24	140.5
2011	121.3	229.8	95.5	68	0.3	4.5	5.5	0	19.7	53.1	63	99.6
2012	83.3	160.9	21	8	1.9	0.8	3	1.7	9.7	6	93.8	138
2013	168.7	116.9	102.7	22.2	3.9	3.6	6	5.7	4.5	105	81.5	136.2
2014	143.1	105.2	54.2	45.9	7.8	0	3.8	0.8	12.5	52.5	15.3	95.4
2015	144.8	105.8	62.4	74.6	13.1	0	10	6.9	6.4	19	39.3	107.1
2016	86.6	97.8	50.8	28	7.8	0.7	8.1	2.1	14.8	61.7	16.8	45.4
2017	66	79.5	154.1	49.1	22.8	5.2	0	6.2	15.8	26.6	82.2	61.7
2018	88.3	162.9	145	27.5	1	18.3	22.6	11.2	6.8	98.9	80.1	104.9
2019	99.1	152.6	128.9	7.7	18.1	0	2.3	0	8.9	46.8	103.4	173
2020	113.3	164.3	63.7	8.84	5.31	6.5	0	0.5	0.6	15	30.4	114.2
2021	103.8	114.1	81.9	26.2	9.4	2.6	0	0.2	11.4	31	88.8	89.7
2022	129	87.2	124.9	10.3	10.3	0	0	4.7	29.8	2.9	24.5	46.5



**Anexo H8. Precipitación mensual total de la Estación Sicuani (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	91.09	167.7	172.4	66.89	6.46	0.34	2.11	4.16	20.46	67.62	44.73	68.68
1981	168.4	122.7	124	71.82	5.76	2.04	4.25	8.4	39.86	92.64	122.3	138.7
1982	207.1	111.6	203.8	152.1	12.76	3.12	2.25	10	33.62	45.75	139.8	92.83
1983	88.26	76.64	63.76	37.45	5.91	7.75	3.4	2.28	7.43	27.33	45.89	106.6
1984	162.2	176	88.57	113.9	0.15	2.2	0.61	16.22	12.09	99.16	76.33	78.33
1985	120.8	174.5	146.6	73.8	22.01	5.04	1.09	3.66	40.76	82.35	131.3	102.1
1986	63.32	120.1	155.2	91.73	12.76	0	1.97	5.98	7.86	18.25	65.98	69.69
1987	256.7	88.03	56.62	27.49	3.92	5.04	11.2	0.5	2.5	24.9	130.8	108.3
1988	151.6	94.9	125.6	87.4	4	0	0	0	11.19	36.05	40.33	120
1989	149.2	136.7	160.9	53.92	9.18	4.06	0	12	19.13	51.7	46.9	130.8
1990	127.1	104.8	71.2	33.8	12.76	20.21	0	5.13	14.23	76.38	102.2	99.74
1991	93.3	76.3	83.3	59.3	18.1	14.4	0	0	12.7	44.9	43.7	41.3
1992	99.2	61.4	85.34	25.01	4.91	9.2	9.13	19.5	19.1	62.8	96.8	53.6
1993	163	87.1	116.2	57.4	0	1.2	2	9.8	26.7	66	136.4	114.1
1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0	1.2	9.3	50.5	81	127.4
1995	107.4	105.2	131.3	64.4	3.1	1.2	2.8	0	16.6	36	92.3	117
1996	121.3	112	155.5	42.7	16.3	0	0	12	24.5	54.2	61.6	115.7
1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	64.6
1998	102.3	131	97.8	15.1	0	0	0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7
1999	133.3	145.4	83.4	85.7	17.6	3.2	0.3	0	44.1	24.4	38.5	127.2
2000	110.4	180	121.9	15.6	7.2	6	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6
2001	213	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4
2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5
2003	129.2	131.8	160	59.6	18.7	6.6	0	8	1.6	37.5	27.2	125.5
2004	162.6	191	80.4	47	7.6	8.2	4.2	12	51.6	28.9	92.4	98.4
2005	66.3	178.8	120.3	44.9	4.5	0	2.7	0	7.6	48.3	75	85.4
2006	151.2	120.8	92.8	99	3.3	5.7	0	10.3	23.3	45.4	111.3	106.4
2007	115.8	86.9	174.4	45.1	5.3	0	9	0	15.2	60.7	77	72.4
2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149
2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0	6.2	0	11.1	32.2	129	121.1
2010	161	95.8	118	48.4	2.6	0	0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1
2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	2.6	52.2	25.3	29	131.1
2012	148	184.8	103	51.6	0.5	3.2	0.8	0	14.2	36.4	38.7	149.8
2013	191.8	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0	11.2	1.8	38.1	66.7	162.7
2014	154.1	134.3	55.4	36.7	9.4	0	0.2	6.3	24.5	49.2	33.8	156.4
2015	142	97.2	104.4	55.2	8.4	2.5	12.6	7	10.1	52.5	74.6	136.5
2016	131.4	259.5	53.8	82.8	3.2	0	0.3	6.9	19.9	79	57.9	77
2017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0	2.2	13.8	22.7	72.9	121.9	73.4
2018	112.6	165.9	116.6	30.8	5.2	20.4	20.1	28.6	4.4	76.2	104.6	48.6
2019	131.6	135.7	86.1	43	8.5	0	0	0	0.5	47.3	137.5	212.3
2020	114.5	175.7	121.7	13	19.8	0.1	0	0	10.8	36.4	23.2	106.8
2021	168.7	69.1	127.3	97.8	2.9	0	0.4	0.3	11	28.4	71.7	175.8
2022	176.1	148.8	152.1	27.9	0	0	2	2	10.7	5.9	0	95.5



**Anexo H9. Precipitación mensual total de la Estación Perayoc (mm/mes)- Información Completa**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1980	97.9	141.7	96.9	34.1	7.4	2.1	2.4	0.4	7.7	96.2	66.6	67.5
1981	218.1	73	119.2	69.2	0.6	4.2	0	12.4	46.7	105	112.1	133.9
1982	205.9	118.7	159.5	67.9	0	1.4	3.8	9.8	58	68	171.9	150.4
1983	154.3	96.4	60.8	23.8	8.6	36.05	0.7	0	2.3	37.5	60.35	172.4
1984	219.9	172.8	88.6	82.1	0.2	6.8	0.2	19.3	21.8	126.1	82.6	110.2
1985	121.9	143	123.5	64.2	19.1	17.9	3.1	6.1	39.1	70.3	128.1	146.4
1986	103.2	114.1	154.8	95.4	6.8	0	3.3	10.6	10.8	35.6	115.1	87.5
1987	311.6	106	81.2	35.1	5.9	13.6	14.2	0	13	60.5	121.2	164.9
1988	228.8	144.5	250.5	40.9	4	0	0	0	19.4	59.5	57.7	154.5
1989	213.4	147.4	198.5	54.7	4.1	14.9	0	6.3	15.5	92.8	72.4	72.5
1990	309.4	89.4	62.5	105.9	11.8	33.7	0	6.8	18.3	105.9	109.1	105.7
1991	117.1	236.4	152	44.8	14	7.9	1	0	31.6	116.6	104.8	116.2
1992	154.8	142.1	95.6	18.5	10	6.5	21.5	33.5	9.1	68.7	124.9	66.6
1993	251.9	123.2	93.2	34.5	3.4	0	1.8	22.7	6.9	97.4	100.9	220
1994	196.4	220.9	232.6	60.5	15.2	0	0	0	21	44.5	64.2	165
1995	127	90.6	137.8	26.1	1.7	0.3	3.1	0	52	20.1	27.5	124
1996	169	87.4	48.6	28.9	9.7	0.6	0	9.8	16	61.2	66	168
1997	137.2	105.1	145.4	75.3	3.2	0	0	11.1	13.4	35.5	126	178.7
1998	155.3	163.2	54.3	34.8	3.8	3.4	0	6.2	2.2	84.9	70.6	69.4
1999	165	96.7	104	50.7	10.2	6	0	0	57.9	24.8	52.7	119.2
2000	234.9	117.1	113.1	9.4	1.8	3.5	2.4	6.7	24.6	53	53.8	90.7
2001	295	155.4	160.9	34.2	5.9	0	22.4	11.9	19.2	69.7	73.2	102.9
2002	184.9	179.8	203.7	25.4	6.9	2.2	32.5	6	14.4	73.8	114.7	129.3
2003	216.6	156.9	153.2	95.3	2.8	7.1	0	13.1	9.8	23.5	38.8	127.8
2004	203	149	89.5	30.4	3.4	20.6	9.6	10	32.7	34.9	51.7	94.2
2005	118.8	122.4	108.5	35.7	1.1	0	1	3.1	6.5	36.9	66.6	57.8
2006	196.3	122.3	126.5	73.9	0	6.8	0	5.5	18.6	77.8	67.4	162.9
2007	139.5	86.9	113.5	68.6	13	0	4.3	0.8	6.1	74.3	103.8	77.7
2008	120.1	137.9	80.7	5.3	6.5	2.5	3.1	6.7	14.6	106.5	55.7	128.8
2009	122.3	117.3	55.3	20.5	0.8	0	0	3	11	24.7	200.8	129.9
2010	339.1	213.3	166.3	25.4	6.6	0	45.3	10.6	7.2	84.1	49.5	244.1
2011	98.7	245.2	180.7	66.7	0.5	6.56	4.5	0	34.5	25.8	55.69	62.8
2012	59.4	118.8	70.2	51.4	3.8	3.6	0.2	1.4	14.4	16.8	107.4	178.4
2013	160.2	181.4	112.5	29.2	8.1	12.2	2.5	17.3	19.7	120	94.22	199.8
2014	177.4	125.1	47	64.1	19.3	0	2.6	12.8	17.6	79	17.6	170.9
2015	165.7	145	86.8	70.18	20.6	4.4	9.1	12.1	28.8	20.4	70.1	157.4
2016	100.1	182.7	59.2	45.7	11.2	0.2	9.7	1.3	22.6	77.4	33.6	93.1
2017	148.4	99.84	142.3	62.19	19.83	4.52	1.34	12.69	24.25	64.3	91.98	96.85
2018	172.2	174.4	160.5	33.7	3	16.3	16.3	14.6	18.2	77.6	74.2	80.3
2019	164	128.4	149.4	34.68	16.38	0.98	5.85	0	7.07	90.51	144.4	197.5
2020	165.1	172.1	112	14.67	17.51	0.24	4.12	0.44	7.73	29.49	39.34	137.3
2021	181.5	111.8	93.67	81.91	5.35	6.71	0.18	3.06	7.07	51	107.7	143.6
2022	220.1	116	156.3	15.65	0.6	0.34	0.89	2.66	22.53	3.69	19.63	103.2



## Anexo I. Temperaturas máximas mensuales completadas

### Anexo II. Temperatura máxima mensual de la Estación Challabamba (°C)- Datos completos

NOMBRE:		ESTACION CHALLABAMBA					TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
LATITUD:		13°33'3.15"					DEPARTAMENTO		CUSCO				
LONGITUD:		71°38'57.77"					PROVINCIA:		PAUCARTAMBO				
ALTITUD:		2803 msnm					DISTRITO		CHALLABAMBA				
PARAMETRO:		TEMPERATURA MAXIMA					PERIODO:		1980 - 2022				
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1980	18.2	19.1	20.3	20.4	19.5	20.8	20.7	20.6	19.9	18.7	19.3	20.7
2	1981	18.5	19.8	18.4	20.0	20.9	20.7	21.0	20.2	20.0	18.8	20.1	19.9
3	1982	18.7	20.9	19.9	20.2	20.1	20.5	19.2	19.3	20.6	19.9	20.7	19.2
4	1983	20.3	20.7	21.1	19.0	20.5	19.9	20.2	20.3	20.4	21.1	21.0	20.1
5	1984	20.7	17.7	19.7	21.0	20.1	20.5	20.5	20.9	20.2	20.4	20.8	20.1
6	1985	19.9	19.3	19.6	21.2	20.4	21.2	20.1	20.5	19.7	20.3	21.1	20.0
7	1986	18.0	20.0	20.3	19.8	19.9	19.0	17.8	20.3	19.1	19.7	20.1	19.1
8	1987	20.0	19.4	20.4	19.4	20.2	20.4	21.2	19.8	21.3	19.4	20.2	19.0
9	1988	18.4	19.4	20.7	19.5	20.5	20.7	19.9	20.7	20.5	20.3	19.7	19.7
10	1989	18.0	20.1	20.4	19.1	21.0	19.2	20.9	19.2	17.6	21.3	20.9	20.5
11	1990	19.2	19.7	19.7	19.8	20.2	19.2	21.1	20.9	18.6	19.4	19.9	19.3
12	1991	19.7	18.1	20.6	19.0	20.1	20.7	20.3	20.7	20.9	19.5	20.7	20.9
13	1992	19.2	18.4	18.1	21.0	20.8	20.8	20.8	19.1	18.6	18.9	19.6	19.2
14	1993	18.4	18.0	19.3	19.1	19.3	20.2	21.5	18.0	19.4	20.4	20.1	19.1
15	1994	18.9	19.0	18.8	20.2	20.8	18.2	20.5	20.5	20.4	21.4	20.6	18.7
16	1995	18.0	20.1	20.1	20.6	19.8	20.2	19.6	19.4	20.1	20.4	20.7	20.0
17	1996	19.1	20.1	19.4	18.7	20.0	20.6	21.3	20.7	20.2	19.7	20.3	21.4
18	1997	19.0	18.8	20.4	20.2	19.3	20.1	19.7	18.2	19.3	19.7	20.6	20.7
19	1998	19.5	19.1	20.0	20.3	20.2	20.7	19.9	19.0	20.3	20.7	21.0	19.9
20	1999	19.6	17.9	18.7	19.3	21.1	21.0	21.7	18.5	20.8	20.1	21.7	19.7
21	2000	17.5	17.7	18.2	18.9	19.6	19.0	18.2	18.1	18.9	18.7	19.4	19.7
22	2001	17.2	17.8	18.3	19.1	19.5	18.7	18.3	18.3	19.1	19.3	19.8	19.1
23	2002	19.2	18.5	19.1	18.9	19.7	19.3	17.8	18.3	18.1	19.4	19.8	18.7
24	2003	18.6	19.6	19.1	19.8	19.1	19.9	19.5	19.5	18.8	19.3	19.2	18.9
25	2004	18.7	18.6	19.3	19.7	20.1	19.1	18.7	18.5	18.5	18.7	18.8	19.5
26	2005	19.6	18.8	20.1	20.0	21.1	19.5	20.6	19.3	19.8	19.7	20.4	19.7
27	2006	18.6	19.5	20.2	19.6	19.7	19.3	20.8	20.2	19.5	20.0	19.6	20.1
28	2007	20.9	20.3	20.0	20.1	20.5	20.7	20.2	19.6	19.3	19.5	20.2	19.2
29	2008	19.1	19.2	19.4	20.1	19.7	20.5	19.7	19.8	19.6	19.5	20.5	19.5
30	2009	19.3	19.5	19.4	19.4	20.5	20.8	19.7	20.4	20.7	20.9	20.8	20.2
31	2010	19.8	20.8	20.6	20.1	20.6	20.7	20.7	20.3	20.2	19.5	19.9	19.3
32	2011	18.0	17.8	18.7	19.7	20.8	21.3	20.4	20.4	20.3	20.2	20.6	19.6
33	2012	19.6	18.4	19.3	19.6	20.4	20.7	21.4	20.0	19.8	20.7	20.4	18.4
34	2013	19.4	18.8	20.3	20.8	20.4	19.9	21.3	20.1	20.4	19.0	20.2	19.0
35	2014	18.9	18.7	20.0	20.2	20.3	21.2	21.3	20.7	20.8	20.0	20.8	21.4
36	2015	20.0	19.8	20.3	19.9	20.1	20.6	21.2	20.4	21.4	20.7	21.6	21.0
37	2016	21.9	20.9	21.9	21.9	21.4	20.7	21.0	20.3	20.8	20.3	21.6	20.3
38	2017	19.2	19.7	19.4	20.3	19.8	20.6	19.6	20.5	19.7	20.8	21.1	20.6
39	2018	19.5	19.7	20.2	19.7	20.4	20.1	20.0	19.0	20.3	19.9	20.9	20.9
40	2019	20.2	19.6	20.5	21.2	20.9	21.2	20.5	20.6	20.6	20.4	20.7	20.6
41	2020	20.4	20.1	20.2	21.0	20.5	20.6	20.8	21.8	20.0	20.6	21.1	20.6
42	2021	20.0	20.0	19.2	20.2	20.8	21.2	21.2	21.1	20.7	21.8	20.9	20.8
43	2022	19.7	19.1	19.9	20.9	20.6	20.9	21.5	20.0	20.3	20.9	20.4	19.7
	Prom Tmáx	19.2	19.3	19.7	20.0	20.3	20.3	20.3	19.9	19.9	20.0	20.4	19.9

## I.2. Temperatura máxima mensual de la Estación Kayra (°C)- Información Completa

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION GRANJA KAYRA					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°33'24.29"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°52'30.61"					<b>PROVINCIA:</b>		CUSCO				
<b>ALTITUD:</b>		3214 msnm					<b>DISTRITO</b>		SAN JERONIMO				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MAXIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		100044											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	20.7	20.3	19.5	20.7	21.3	21.8	19.7	21.6	21.2	20.4	22.5	21.6
2	1981	19.0	19.1	20.1	19.2	21.3	20.4	20.8	19.1	18.9	20.4	20.3	19.3
3	1982	19.0	20.1	19.3	19.9	20.6	19.8	21.0	20.6	20.7	20.9	19.7	21.1
4	1983	21.9	21.5	22.2	22.5	21.8	20.8	21.6	21.8	20.8	22.0	22.4	20.9
5	1984	17.9	18.0	19.6	19.9	21.3	19.7	20.9	20.2	21.6	19.5	19.7	20.5
6	1985	19.9	18.9	20.2	20.0	20.3	18.8	19.7	21.3	19.8	21.7	20.0	20.1
7	1986	20.6	19.8	19.3	20.7	20.4	21.6	20.0	21.2	21.4	22.5	22.6	21.4
8	1987	20.5	21.6	22.3	22.5	21.9	21.1	21.4	23.7	22.9	22.7	22.2	22.3
9	1988	20.5	22.0	19.9	20.4	21.5	21.3	21.7	23.7	21.8	23.0	22.2	20.5
10	1989	19.1	19.4	19.6	20.4	20.7	20.3	20.3	20.7	21.6	22.4	21.5	21.7
11	1990	20.1	20.8	20.8	21.0	20.6	18.1	19.7	20.3	21.6	20.3	20.1	20.0
12	1991	21.1	20.3	20.0	20.3	20.8	20.3	20.2	20.9	20.4	20.9	19.8	20.7
13	1992	20.1	20.4	20.8	21.5	22.7	19.6	19.1	19.1	21.5	20.7	21.5	21.2
14	1993	19.1	19.9	19.2	19.7	20.7	21.1	20.1	19.7	20.1	21.2	20.5	20.0
15	1994	19.5	20.0	20.1	19.6	20.8	20.3	20.6	21.4	21.1	21.3	21.3	21.0
16	1995	20.7	20.4	19.5	21.4	21.9	20.7	21.1	22.4	21.2	22.5	21.6	20.9
17	1996	19.4	19.7	20.4	20.2	20.9	20.5	20.5	20.0	21.4	20.6	22.5	20.7
18	1997	19.4	19.0	19.6	20.2	20.1	20.7	20.8	19.3	21.2	22.5	21.9	21.8
19	1998	21.9	22.0	22.1	22.7	22.5	20.7	20.7	22.0	22.9	21.9	21.7	21.0
20	1999	20.4	19.2	19.4	20.0	20.8	20.9	19.9	22.1	21.2	21.4	22.8	20.7
21	2000	19.3	19.3	19.4	21.2	21.8	20.4	20.0	20.9	22.3	20.8	23.9	21.1
22	2001	18.4	18.5	19.5	20.0	20.3	20.3	20.1	20.5	21.7	21.7	22.0	21.4
23	2002	20.8	18.8	19.8	19.8	20.8	20.7	18.2	20.6	21.7	21.8	21.7	20.7
24	2003	20.6	20.8	19.9	21.0	21.1	21.2	21.1	20.9	21.8	23.2	23.2	21.1
25	2004	20.2	20.8	21.2	21.6	21.8	20.0	19.8	19.7	21.4	22.3	22.1	21.8
26	2005	21.0	19.8	20.7	21.1	21.9	21.3	21.5	22.3	21.7	21.2	22.0	20.9
27	2006	19.1	20.7	19.9	20.4	21.1	20.3	21.3	21.8	22.3	21.2	20.8	20.4
28	2007	21.0	20.5	19.8	20.1	20.6	21.7	20.3	22.5	21.4	21.9	22.5	21.3
29	2008	19.0	20.5	19.7	21.1	21.0	21.2	21.4	22.4	22.4	21.5	22.4	20.5
30	2009	20.0	20.2	20.8	21.3	21.5	21.8	20.8	22.8	23.2	24.1	22.2	20.9
31	2010	20.4	21.1	21.4	22.2	21.8	22.3	22.4	23.4	23.6	22.6	23.1	21.2
32	2011	20.7	18.9	20.0	21.0	21.3	21.6	20.5	22.4	21.9	22.4	23.5	20.4
33	2012	20.7	19.3	20.8	20.9	21.5	21.1	22.1	23.4	23.8	24.1	23.1	20.6
34	2013	20.8	20.9	21.7	23.2	22.4	20.1	21.0	22.5	23.6	22.6	22.9	21.0
35	2014	21.3	21.4	21.6	21.2	21.0	22.6	21.1	21.0	21.1	21.8	22.8	21.3
36	2015	19.8	20.8	20.8	19.6	20.5	21.6	21.5	22.0	22.4	22.0	22.5	20.9
37	2016	22.3	21.1	22.9	22.0	22.5	21.6	21.7	22.3	22.7	21.1	23.1	20.9
38	2017	20.1	21.2	20.5	20.7	19.9	21.1	21.7	22.3	21.4	21.9	22.2	21.4
39	2018	19.8	21.0	20.2	20.9	21.3	19.4	19.7	20.4	22.2	20.0	22.4	21.5
40	2019	20.5	20.2	20.4	20.8	21.2	21.3	21.4	22.5	21.4	21.7	20.9	20.5
41	2020	20.2	19.9	21.1	20.9	20.4	22.9	22.6	23.3	21.8	21.6	23.5	20.3
42	2021	19.8	20.0	19.6	19.7	20.7	21.0	22.6	22.8	22.6	22.9	21.7	21.0
43	2022	20.1	21.0	20.7	22.2	21.8	20.9	22.5	22.8	23.4	23.6	24.0	20.9
	<b>Tmáx prom</b>	<b>20.2</b>	<b>20.2</b>	<b>20.4</b>	<b>20.8</b>	<b>21.2</b>	<b>20.8</b>	<b>20.8</b>	<b>21.6</b>	<b>21.8</b>	<b>21.8</b>	<b>22.0</b>	<b>20.9</b>

### I.3. Temperatura máxima mensual total de la Estación Colquepata (°C)- Datos completos

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION COLQUEPATA						<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA			
<b>LATITUD:</b>		13°21'47.27"						<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO			
<b>LONGITUD:</b>		71°40'24.1"						<b>PROVINCIA:</b>		PAUCARTAMBO			
<b>ALTITUD:</b>		3696 msnm						<b>DISTRITO:</b>		COLQUEPATA			
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MAXIMA						<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022			
<b>CODIGO:</b>		113116											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	15.1	15.2	16.1	16.0	16.7	15.0	16.8	17.1	18.6	16.7	18.2	16.1
2	1981	15.2	15.5	16.1	16.1	15.4	17.6	18.1	18.0	17.1	18.5	19.3	15.8
3	1982	16.2	16.3	15.9	16.8	15.9	18.3	14.1	17.8	18.0	18.1	17.0	16.6
4	1983	14.3	15.9	16.1	16.7	16.3	16.0	20.9	17.9	17.6	17.3	17.9	17.1
5	1984	17.5	15.0	16.2	15.3	17.9	18.2	17.4	18.0	16.4	16.1	18.3	16.3
6	1985	15.6	15.7	15.8	16.0	16.0	18.1	16.6	16.2	18.2	17.4	16.8	16.9
7	1986	16.0	18.6	15.6	16.2	17.9	17.8	19.3	17.4	17.5	16.7	16.3	16.4
8	1987	16.6	16.0	16.8	18.0	19.1	18.2	15.5	18.5	19.0	17.1	17.2	16.8
9	1988	14.8	16.9	15.6	16.3	16.9	18.2	16.8	16.5	16.5	18.4	16.8	17.0
10	1989	15.7	16.3	17.8	16.3	17.9	18.6	17.0	18.4	18.4	16.8	16.7	17.1
11	1990	15.9	15.8	16.1	16.5	17.9	17.9	18.2	16.5	16.8	16.5	16.7	17.0
12	1991	15.7	14.3	17.5	16.5	16.1	17.0	16.3	18.9	17.8	17.2	17.2	17.4
13	1992	15.1	14.5	14.8	16.8	17.4	15.8	17.3	19.4	18.0	17.7	18.0	17.5
14	1993	15.0	15.5	15.8	17.3	17.2	16.5	18.3	17.5	16.5	20.3	18.6	16.7
15	1994	15.9	15.6	16.0	17.1	18.6	15.0	19.0	17.2	18.8	17.3	16.9	17.5
16	1995	14.8	17.4	14.9	16.7	17.8	18.1	17.0	16.2	16.0	18.9	19.0	16.4
17	1996	15.8	14.8	17.7	17.3	17.7	17.3	17.1	17.2	17.0	15.9	16.2	16.8
18	1997	15.4	15.8	14.0	16.0	18.1	17.0	18.5	17.3	17.5	17.0	18.5	16.8
19	1998	14.6	15.7	17.7	15.3	19.0	17.2	17.0	18.2	17.0	16.4	18.5	17.0
20	1999	16.5	15.9	15.5	17.1	17.9	16.7	17.2	18.5	16.7	17.6	19.1	17.5
21	2000	17.3	15.9	15.1	18.2	16.6	18.0	15.4	18.5	17.6	16.5	17.0	16.4
22	2001	13.6	13.8	14.7	15.8	15.5	15.9	16.0	15.8	16.4	16.2	16.4	16.3
23	2002	15.6	15.1	15.7	16.0	17.1	17.1	13.5	15.6	16.0	16.2	16.8	16.0
24	2003	16.5	16.2	15.4	16.4	17.1	17.6	17.1	16.5	17.1	18.6	18.8	17.4
25	2004	14.9	15.8	16.8	17.6	17.7	15.6	15.4	15.0	16.1	17.0	17.2	16.8
26	2005	16.9	15.5	16.8	17.0	18.3	17.4	17.4	17.8	17.0	16.0	17.1	16.8
27	2006	15.0	16.6	16.3	17.4	18.0	17.1	17.6	17.1	18.0	17.2	16.5	16.9
28	2007	16.8	16.3	15.6	16.3	17.1	17.4	15.7	17.1	15.9	17.1	18.4	16.9
29	2008	14.8	15.4	14.9	16.4	16.8	17.6	17.2	17.9	17.2	16.9	18.1	16.0
30	2009	15.3	15.7	15.8	16.5	18.2	18.4	16.8	18.2	19.0	20.3	18.1	16.4
31	2010	15.9	16.8	17.0	18.5	18.3	18.6	18.6	19.0	18.3	17.4	17.9	16.7
32	2011	16.2	14.4	15.6	17.0	17.8	18.1	16.7	17.8	16.8	17.3	18.3	15.7
33	2012	15.4	14.9	16.1	16.4	17.3	17.3	17.8	17.8	17.7	18.3	18.1	16.2
34	2013	15.4	15.5	16.8	17.2	17.0	16.0	16.5	17.4	17.8	17.0	17.0	15.8
35	2014	15.5	16.3	16.7	16.6	16.9	18.4	16.9	17.3	17.6	17.6	18.0	16.8
36	2015	15.6	16.6	17.1	15.6	16.3	17.7	17.7	17.9	18.5	19.0	18.3	17.7
37	2016	18.4	17.6	19.3	19.9	19.6	18.9	18.8	18.3	18.5	15.9	17.6	16.7
38	2017	16.4	15.8	15.7	16.3	16.1	17.4	18.0	17.8	16.4	17.7	17.2	16.2
39	2018	15.8	15.8	15.9	16.7	17.6	16.4	16.4	15.9	17.5	16.1	17.4	17.6
40	2019	16.6	16.4	16.8	17.3	18.2	17.8	17.6	18.4	17.0	16.7	16.3	16.3
41	2020	16.5	16.1	16.6	17.5	17.9	18.0	18.7	19.2	17.2	17.5	18.4	16.8
42	2021	15.8	15.3	15.4	15.8	17.7	17.7	18.6	18.6	17.5	19.0	17.0	16.0
43	2022	16.0	15.2	16.7	18.4	17.9	18.1	19.6	19.4	19.2	18.2	19.4	16.9
	<b>Prom Tmáx</b>	<b>15.8</b>	<b>15.8</b>	<b>16.2</b>	<b>16.8</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>	<b>17.3</b>	<b>17.6</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>	<b>17.6</b>	<b>16.7</b>

**Anexo I.4. Temperatura máxima mensual total de la Estación Ccatca (°C)- Datos completos**

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION CCATCCA						<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°36'35.6"			<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO							
<b>LONGITUD:</b>		71°33'36.4"			<b>PROVINCIA:</b>		QUISPICANCHI							
<b>ALTITUD:</b>		3681 msnm						<b>DISTRITO:</b>		CCATCCA				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MAXIMA						<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		113041												
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	
1	1980	15.0	15.5	14.1	15.4	15.8	16.5	14.6	15.9	15.4	14.7	16.5	15.7	
2	1981	14.2	13.4	15.1	14.7	15.8	15.7	15.8	14.1	13.9	15.4	15.4	14.7	
3	1982	14.1	14.6	14.5	14.9	16.4	15.5	15.9	14.9	14.9	15.4	14.9	15.5	
4	1983	16.2	16.2	16.9	17.4	17.6	16.4	15.4	14.6	15.2	16.1	16.3	15.3	
5	1984	14.5	14.6	14.1	15.6	16.0	16.5	15.0	16.1	15.5	15.6	16.3	15.3	
6	1985	14.4	14.2	14.0	14.6	16.4	14.6	14.9	15.5	14.9	15.7	16.2	15.8	
7	1986	14.7	13.7	13.3	14.6	15.0	15.4	14.1	15.1	14.5	15.6	16.5	15.4	
8	1987	14.6	15.3	15.6	15.8	16.2	14.9	15.0	16.8	17.1	16.7	15.3	16.1	
9	1988	14.4	15.4	14.4	15.0	15.8	15.8	15.3	16.2	15.7	16.5	15.3	14.9	
10	1989	13.1	13.2	13.5	13.8	14.0	14.5	14.4	15.0	15.2	14.9	16.1	16.3	
11	1990	14.4	15.3	15.0	15.3	15.4	12.9	14.4	15.1	16.1	15.0	15.2	14.5	
12	1991	15.6	14.5	14.0	14.7	15.8	15.0	15.1	15.3	15.1	15.7	15.4	16.0	
13	1992	15.0	14.8	15.6	16.2	16.8	13.9	13.8	13.9	15.4	15.5	16.0	15.7	
14	1993	14.3	14.2	13.6	14.8	16.2	15.8	15.6	14.9	14.8	15.6	15.5	15.1	
15	1994	14.3	14.0	13.8	13.8	15.4	14.7	15.4	16.0	14.9	15.8	15.5	15.5	
16	1995	15.5	15.1	14.6	16.1	16.2	15.3	16.1	17.0	15.5	16.9	16.4	15.6	
17	1996	14.4	13.9	14.8	14.6	15.4	15.5	14.7	14.4	15.2	16.1	15.9	15.2	
18	1997	14.1	13.7	14.7	15.2	15.2	16.0	15.5	13.7	15.7	17.0	16.5	16.2	
19	1998	16.6	16.6	15.9	17.6	17.7	15.6	16.4	16.9	17.3	16.5	16.4	15.8	
20	1999	14.3	13.3	13.6	14.1	15.0	15.7	14.3	15.5	15.2	15.4	17.0	15.5	
21	2000	13.7	13.6	13.4	14.9	16.1	15.2	14.3	15.2	16.5	15.2	17.2	15.9	
22	2001	13.0	13.1	13.5	14.2	14.7	14.8	14.6	14.2	15.0	15.8	15.7	15.5	
23	2002	14.7	13.8	14.3	14.2	15.6	15.2	12.7	14.9	14.9	15.3	15.7	14.9	
24	2003	14.7	15.0	14.3	15.4	15.7	16.0	15.5	15.2	15.7	17.1	17.6	15.7	
25	2004	13.9	14.3	15.0	16.3	17.2	15.2	14.4	13.6	14.6	15.7	16.3	15.3	
26	2005	15.9	14.8	15.5	14.4	18.2	17.0	16.5	16.9	15.6	15.8	16.3	15.0	
27	2006	13.9	14.9	14.4	14.8	16.2	15.5	16.1	15.8	16.5	15.7	14.8	15.0	
28	2007	15.3	14.5	14.0	14.9	16.2	16.5	15.1	16.3	14.6	15.8	16.4	15.7	
29	2008	13.9	14.0	13.7	15.0	15.5	16.3	15.9	16.3	15.9	15.7	16.4	14.5	
30	2009	13.9	14.2	14.4	14.7	15.9	16.7	15.3	16.7	17.1	17.7	16.5	15.1	
31	2010	14.9	15.6	15.5	16.5	16.7	16.8	17.3	17.1	16.5	16.9	16.2	15.1	
32	2011	14.1	13.2	13.5	14.8	15.9	16.0	14.7	16.2	15.0	15.5	16.9	14.5	
33	2012	13.9	13.3	13.7	14.4	15.4	15.4	15.8	16.2	15.7	16.8	16.8	14.5	
34	2013	14.3	14.1	15.1	16.4	16.4	15.0	14.9	16.1	16.9	15.9	16.0	15.2	
35	2014	14.7	15.1	15.5	15.8	16.1	17.5	15.9	15.8	15.6	15.9	17.3	15.9	
36	2015	14.2	14.9	14.8	14.4	15.8	16.9	16.6	16.4	17.0	16.6	17.2	16.6	
37	2016	17.4	16.2	17.4	17.8	18.1	17.1	16.9	17.1	17.0	16.3	18.0	16.1	
38	2017	14.7	15.1	14.4	15.4	15.8	17.4	17.6	17.4	16.0	17.5	16.6	15.6	
39	2018	14.4	14.7	15.3	15.9	16.9	14.8	15.6	15.1	16.8	15.3	16.6	16.3	
40	2019	15.2	15.1	15.0	16.0	17.2	16.9	16.8	16.6	16.6	16.0	15.7	15.6	
41	2020	15.7	15.3	15.4	16.4	17.1	17.5	16.8	16.6	15.9	16.3	17.7	15.9	
42	2021	15.8	15.4	16.0	17.3	16.7	18.0	17.8	17.6	16.0	18.4	17.3	16.8	
43	2022	15.0	15.2	15.4	17.2	16.9	17.3	18.2	17.7	18.9	18.6	18.8	16.5	
	<b>Prom Tmáx</b>	<b>14.7</b>	<b>14.6</b>	<b>14.7</b>	<b>15.4</b>	<b>16.1</b>	<b>15.8</b>	<b>15.5</b>	<b>15.8</b>	<b>15.8</b>	<b>16.1</b>	<b>16.3</b>	<b>15.5</b>	

### Anexo I.5. Temperatura máxima mensual total de la Estación Pisac (°C)- Datos completos

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION PISAC					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°25'10.2"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°51'3.1"					<b>PROVINCIA:</b>		CALCA				
<b>ALTITUD:</b>		2990 msnm					<b>DISTRITO</b>		PISAC				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MAXIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		100101											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	21.5	21.9	24.0	21.9	25.2	21.5	23.5	24.8	22.9	24.0	25.2	21.9
2	1981	21.3	22.2	22.3	24.5	24.8	22.9	22.1	23.4	22.7	23.3	23.8	21.2
3	1982	20.8	22.8	21.6	23.1	22.6	23.4	24.0	22.6	22.6	22.7	24.6	22.8
4	1983	21.3	21.7	20.3	22.3	23.9	23.0	23.2	24.5	24.0	22.4	25.7	21.9
5	1984	19.8	21.2	23.5	22.6	21.9	24.9	23.2	23.9	22.9	23.7	25.2	22.1
6	1985	19.6	21.2	20.4	22.9	23.7	24.0	24.8	23.2	23.8	24.3	24.3	24.1
7	1986	22.7	20.8	23.1	23.8	22.8	22.0	22.6	25.2	22.6	22.2	25.1	23.0
8	1987	21.1	22.1	23.2	22.9	22.7	20.8	20.7	25.4	23.0	23.5	23.0	23.6
9	1988	22.0	20.8	20.8	20.9	23.6	24.6	22.6	22.7	24.0	22.9	24.9	20.8
10	1989	22.4	21.0	23.9	25.0	22.9	23.2	23.1	23.1	25.3	23.4	23.5	20.8
11	1990	21.4	22.7	22.2	25.2	22.8	24.0	22.9	25.3	25.0	25.2	22.8	23.5
12	1991	20.8	20.2	21.4	21.7	25.3	24.3	23.1	22.2	22.4	24.2	22.2	23.2
13	1992	22.2	20.4	21.2	25.3	22.4	24.4	21.0	21.4	22.2	24.8	23.3	23.5
14	1993	23.0	23.6	21.3	22.2	23.8	24.0	24.9	25.2	22.5	23.6	23.7	22.9
15	1994	22.3	22.4	21.9	23.6	25.6	22.4	22.6	23.9	22.8	24.8	24.6	24.0
16	1995	21.5	21.7	20.8	21.6	22.7	22.1	22.3	22.0	24.3	25.0	23.8	23.3
17	1996	23.2	21.8	22.4	22.1	22.2	24.2	23.2	22.2	25.4	23.6	23.7	23.2
18	1997	20.0	20.2	21.6	22.9	23.0	24.1	23.8	21.7	23.4	24.8	24.5	24.2
19	1998	23.3	23.7	24.4	25.8	25.7	23.2	24.3	24.2	25.7	23.9	23.6	22.8
20	1999	22.7	20.7	20.3	21.3	22.9	23.1	21.7	23.4	22.4	22.4	24.2	21.8
21	2000	20.3	20.1	20.0	22.4	22.5	22.2	21.9	22.4	24.1	22.2	24.8	22.7
22	2001	19.3	19.6	20.2	21.3	21.6	21.7	21.3	22.2	22.8	23.1	23.0	22.8
23	2002	22.3	19.8	21.5	21.9	22.4	22.9	20.6	21.7	22.8	22.8	22.6	21.2
24	2003	21.8	22.1	21.0	22.4	23.5	22.9	23.3	22.2	22.8	24.1	24.3	23.1
25	2004	20.7	21.3	22.1	22.9	24.5	21.4	21.0	20.5	22.0	23.7	23.9	23.3
26	2005	22.3	21.4	22.4	24.0	24.9	23.5	24.0	24.3	23.4	23.0	24.3	23.4
27	2006	20.9	22.2	21.3	22.7	23.9	22.5	22.9	23.4	24.0	23.2	22.1	21.3
28	2007	22.2	21.6	21.2	21.6	22.8	23.2	22.4	23.9	21.3	23.2	24.2	22.3
29	2008	20.0	21.7	20.9	22.2	22.4	22.6	23.0	24.0	23.8	22.9	24.3	21.9
30	2009	21.1	21.5	21.7	23.0	23.4	24.1	22.9	24.6	24.4	25.8	24.4	22.4
31	2010	21.2	21.9	22.5	23.6	24.2	24.1	24.9	24.5	24.5	24.2	24.3	22.8
32	2011	22.3	20.2	21.0	22.6	23.2	24.2	22.2	23.8	22.6	24.0	25.0	21.1
33	2012	21.8	20.8	21.5	22.1	23.8	23.6	24.2	24.2	23.2	24.8	25.0	21.0
34	2013	21.3	21.3	22.8	23.7	22.9	21.9	21.7	23.4	24.9	23.8	23.7	22.0
35	2014	21.7	22.3	23.2	22.8	23.2	24.5	23.6	23.2	22.6	23.9	25.2	24.7
36	2015	23.2	22.9	23.7	23.1	23.9	24.3	24.3	25.9	25.7	25.4	26.2	23.4
37	2016	24.2	23.2	25.0	25.2	25.8	25.7	26.0	25.3	25.9	24.2	27.3	22.7
38	2017	21.5	22.5	21.4	21.6	21.7	24.0	24.9	25.0	23.3	25.3	26.1	24.5
39	2018	23.0	22.5	22.0	22.6	23.4	21.5	20.8	20.9	23.0	21.3	22.8	22.7
40	2019	21.8	20.7	22.0	21.4	22.3	22.5	22.9	23.9	23.1	22.8	22.9	23.3
41	2020	22.9	21.1	23.8	23.2	22.2	24.0	24.5	25.2	24.2	23.8	25.5	23.4
42	2021	22.2	22.6	22.3	22.8	24.0	23.1	23.9	24.2	22.4	23.5	22.5	21.9
43	2022	22.0	21.8	22.2	24.2	24.2	24.3	24.9	24.0	23.0	24.1	23.8	21.8
	<b>Prom Tmáx</b>	<b>21.7</b>	<b>21.6</b>	<b>22.0</b>	<b>22.9</b>	<b>23.4</b>	<b>23.3</b>	<b>23.1</b>	<b>23.6</b>	<b>23.5</b>	<b>23.7</b>	<b>24.2</b>	<b>22.7</b>

**Anexo I.6. Temperatura máxima mensual total de la Estación Sicuani (°C)- Datos completos**

NOMBRE:		ESTACION SICUANI						TIPO: AUTOMATICA - METEOROLOGICA					
LATITUD:		14°14'14.5"			DEPARTAMENTO:			CUSCO					
LONGITUD:		71°14'12.1"			PROVINCIA:			CANCHIS					
ALTITUD:		3534 msnm						DISTRITO					
PARAMETRO:		TEMPERATURA MAXIMA						PERIODO:					
CODIGO:		4726158C						1980 - 2022					
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1980	17.2	18.1	18.9	19.5	18.8	18.7	20.7	18.5	20.8	20.6	22.2	19.9
2	1981	18.7	19.3	18.4	18.8	19.3	19.3	17.2	17.0	21.1	20.3	21.2	19.5
3	1982	19.3	18.4	18.3	18.3	18.9	18.9	19.2	19.4	20.8	20.4	21.8	19.5
4	1983	17.3	19.8	19.4	18.8	19.5	19.1	19.4	20.4	21.8	21.0	22.1	19.6
5	1984	18.5	20.5	18.9	19.4	19.4	19.4	17.5	18.9	21.3	20.7	20.4	20.0
6	1985	20.3	18.6	20.7	19.5	20.2	19.5	17.8	20.7	21.4	22.7	20.6	19.9
7	1986	19.3	17.7	18.9	20.0	19.8	18.1	18.9	20.5	19.8	20.5	21.8	19.9
8	1987	18.0	18.6	19.0	19.5	18.9	19.3	18.6	18.5	20.6	20.5	20.1	20.0
9	1988	18.9	19.8	19.6	20.0	19.2	19.5	20.2	20.5	21.2	22.3	20.6	19.3
10	1989	18.0	18.8	18.4	19.7	19.8	18.4	18.8	20.6	21.5	21.4	21.6	18.9
11	1990	18.5	18.6	18.5	19.3	19.8	18.7	17.1	19.7	21.6	19.2	21.6	19.9
12	1991	19.2	18.1	18.4	18.6	19.1	19.2	19.7	19.8	19.0	21.4	20.6	19.2
13	1992	20.6	21.6	19.1	20.1	20.0	20.1	18.3	18.5	20.6	20.6	20.4	19.8
14	1993	18.3	19.1	18.0	19.3	19.8	19.8	18.9	19.6	20.0	20.7	20.1	19.3
15	1994	18.1	18.3	19.1	18.7	19.2	18.7	19.1	20.2	21.1	21.2	20.6	19.8
16	1995	19.3	19.5	18.0	20.1	20.7	19.4	20.1	22.0	21.4	22.9	21.4	20.1
17	1996	18.2	18.6	19.9	19.4	19.6	18.9	19.3	19.6	21.4	22.1	20.8	18.8
18	1997	18.1	18.0	18.9	19.5	19.2	19.7	19.9	19.0	21.5	22.4	20.5	21.1
19	1998	20.8	20.9	21.0	21.4	20.6	19.0	19.6	20.6	21.9	20.6	20.3	19.6
20	1999	19.0	16.7	17.5	18.6	18.7	18.8	17.7	19.9	20.0	19.7	21.5	19.7
21	2000	17.3	17.2	17.9	19.7	19.8	18.1	17.7	19.3	20.8	19.1	21.7	18.9
22	2001	16.9	17.1	18.2	18.4	18.4	18.5	17.8	19.1	20.5	20.4	21.0	19.9
23	2002	19.1	17.7	18.6	18.2	18.2	18.1	16.1	19.0	19.7	19.8	20.1	19.5
24	2003	18.4	19.1	18.6	19.2	19.2	19.4	18.8	19.4	20.6	22.1	21.9	20.2
25	2004	18.6	18.8	19.1	19.5	19.1	17.6	17.5	18.2	19.3	20.8	21.0	19.7
26	2005	19.7	19.2	20.3	20.5	20.5	19.6	19.4	20.7	20.3	20.1	20.5	19.8
27	2006	18.4	19.4	19.1	19.2	19.2	18.5	19.0	19.8	21.2	20.8	19.6	19.6
28	2007	19.5	19.0	18.5	19.6	19.5	19.8	18.0	20.1	20.2	20.7	20.9	19.8
29	2008	17.6	18.6	18.7	19.6	19.2	19.1	19.5	20.6	21.3	20.5	21.4	19.0
30	2009	18.9	18.4	19.2	20.0	19.9	19.7	18.5	20.4	21.4	22.5	20.7	19.9
31	2010	18.8	19.3	20.2	20.5	19.8	20.1	20.1	21.3	22.2	21.3	21.4	18.7
32	2011	18.6	17.0	18.1	19.0	19.3	19.1	18.0	20.1	19.7	20.8	22.1	18.6
33	2012	18.6	17.4	18.6	18.5	19.4	18.6	19.3	20.5	21.3	21.1	21.5	18.5
34	2013	18.7	18.9	19.5	20.3	19.8	18.2	18.5	19.5	21.7	20.9	21.7	19.3
35	2014	18.9	19.3	19.6	19.9	19.4	20.2	18.9	19.8	19.9	20.9	22.0	20.7
36	2015	18.5	19.1	19.7	18.6	18.8	20.1	19.1	20.3	21.4	21.4	21.5	19.9
37	2016	21.1	20.1	21.6	20.6	20.5	19.6	19.8	20.4	21.6	20.0	21.5	20.7
38	2017	19.4	19.3	18.5	19.1	18.3	20.0	20.5	21.0	20.7	20.6	21.0	20.3
39	2018	18.4	18.8	18.5	19.7	19.6	17.4	17.9	18.5	21.0	19.0	21.1	20.5
40	2019	19.1	18.8	19.4	19.7	19.5	20.0	19.7	21.5	21.2	21.4	20.1	20.3
41	2020	19.5	18.8	19.7	20.1	19.7	19.9	20.4	21.3	21.0	20.6	22.8	19.3
42	2021	18.8	18.9	18.5	19.0	18.7	18.7	19.4	20.5	21.4	22.3	20.4	19.2
43	2022	18.4	18.6	19.2	20.0	19.6	18.7	20.1	20.3	21.4	22.1	23.2	19.5
<b>Prom Tmáx</b>		<b>18.8</b>	<b>18.8</b>	<b>19.0</b>	<b>19.5</b>	<b>19.4</b>	<b>19.1</b>	<b>18.9</b>	<b>19.9</b>	<b>20.9</b>	<b>20.9</b>	<b>21.1</b>	<b>19.7</b>

### Anexo I.7. Temperatura máxima mensual de la Estación Caicay (°C)- Datos completos

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION CAICAY					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°35'59.56"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°42'1"					<b>PROVINCIA:</b>		PAUCARTAMBO				
<b>ALTITUD:</b>		3117 msnm					<b>DISTRITO</b>		CAICAY				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MAXIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		113122											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	21.9	21.2	20.7	21.2	23.5	22.4	23.5	21.6	21.5	23.3	23.4	21.5
2	1981	21.0	20.5	20.7	23.2	22.0	22.5	22.0	23.0	23.2	22.4	22.6	21.9
3	1982	20.7	21.1	21.3	22.8	20.7	22.9	18.2	23.2	23.2	22.1	22.4	21.8
4	1983	20.6	22.5	20.4	21.5	21.9	22.8	22.2	23.0	24.6	21.7	22.9	20.8
5	1984	20.8	20.9	20.4	21.9	22.3	22.6	21.6	21.6	21.8	22.0	23.0	21.9
6	1985	21.4	20.8	20.5	22.2	22.9	21.7	24.3	23.3	21.5	22.0	22.2	21.9
7	1986	20.6	20.7	22.5	21.9	23.0	21.6	20.8	23.5	23.2	23.0	22.7	21.7
8	1987	22.7	20.7	20.8	22.1	23.9	23.7	23.8	20.9	23.0	23.1	24.1	21.9
9	1988	20.9	19.9	21.8	23.1	24.2	22.2	20.3	21.8	22.3	22.5	23.0	21.7
10	1989	20.9	20.8	21.9	22.2	21.9	22.7	23.0	23.3	23.9	21.6	22.2	22.0
11	1990	22.2	21.1	20.6	21.4	22.7	22.2	22.2	24.1	22.9	21.8	24.9	22.3
12	1991	20.9	21.5	22.0	22.0	24.1	22.8	20.8	22.9	21.9	22.1	22.2	22.5
13	1992	21.2	21.8	21.5	22.1	22.8	22.5	22.0	22.2	23.3	23.1	23.2	20.7
14	1993	20.2	21.0	20.1	22.8	22.4	20.6	21.5	22.5	21.5	24.8	23.1	21.9
15	1994	21.4	21.3	20.0	22.6	22.3	22.3	22.9	21.9	22.4	22.2	23.6	21.7
16	1995	22.0	21.2	22.4	22.5	22.7	23.1	23.5	21.9	22.0	23.3	22.6	21.6
17	1996	22.0	20.9	21.1	22.4	22.3	22.7	22.0	22.0	23.8	22.3	24.1	21.5
18	1997	22.2	21.5	21.9	21.8	23.0	23.2	23.0	22.5	23.0	22.7	23.0	21.8
19	1998	22.4	19.4	20.9	21.7	23.0	21.9	21.1	23.6	23.1	21.9	23.5	21.7
20	1999	21.2	20.2	19.9	20.9	22.0	22.1	20.7	22.4	21.9	21.6	23.2	21.2
21	2000	20.0	20.0	20.2	21.5	23.2	22.2	21.2	21.1	21.6	21.8	22.7	21.4
22	2001	20.6	20.4	21.0	21.8	21.1	21.7	20.6	21.7	21.9	21.7	22.1	22.0
23	2002	21.9	20.6	21.1	21.3	21.8	20.7	19.4	21.8	22.0	22.2	22.5	21.7
24	2003	22.1	20.5	20.5	22.0	22.3	22.4	22.3	21.4	22.9	21.9	22.7	20.7
25	2004	20.8	21.5	22.5	22.3	21.6	21.2	21.2	22.1	21.7	21.9	22.8	21.7
26	2005	21.7	21.6	21.8	22.7	23.7	23.3	21.5	24.0	22.6	22.3	23.2	21.7
27	2006	20.3	21.1	21.3	22.2	23.5	22.1	22.5	22.7	23.4	21.6	22.1	22.1
28	2007	22.2	21.9	21.2	21.7	22.6	23.1	22.7	23.6	22.8	23.1	22.7	21.9
29	2008	19.7	20.7	21.9	22.8	22.1	23.6	23.5	22.5	23.0	22.9	22.7	21.0
30	2009	20.9	20.0	21.2	22.8	22.9	23.5	22.7	23.5	23.4	23.2	22.9	22.4
31	2010	21.5	22.3	22.4	23.6	23.4	23.5	23.8	24.1	23.2	22.1	23.9	21.8
32	2011	21.9	20.9	21.1	22.4	23.6	22.4	22.4	23.2	23.0	22.7	22.9	21.3
33	2012	20.7	19.9	20.6	22.7	22.9	22.7	22.9	23.3	22.7	23.3	23.5	20.6
34	2013	21.6	21.5	22.2	23.3	23.0	22.3	21.3	23.0	23.4	22.0	22.1	21.2
35	2014	21.3	20.8	21.6	22.3	22.0	23.9	21.8	22.1	21.7	22.2	23.7	21.7
36	2015	20.5	21.3	21.2	20.4	22.1	22.8	22.4	22.6	23.4	23.1	23.4	21.3
37	2016	22.8	21.9	23.5	23.3	24.0	22.9	22.8	22.9	22.7	21.9	24.2	21.5
38	2017	20.6	21.5	20.3	21.2	21.4	22.4	22.6	23.1	22.1	23.2	22.4	21.7
39	2018	20.7	21.0	21.1	21.7	23.2	20.6	21.5	21.4	23.1	21.3	22.7	22.2
40	2019	21.4	20.9	21.2	22.6	23.4	22.9	22.3	22.7	22.1	22.1	21.7	21.6
41	2020	21.8	21.0	22.0	21.3	23.0	22.9	23.6	24.2	22.8	22.8	24.0	21.6
42	2021	21.1	21.1	20.6	21.9	22.3	22.7	23.2	23.4	22.4	23.9	22.4	21.9
43	2022	20.8	20.6	21.1	23.5	23.2	22.4	23.5	23.3	24.5	24.2	24.6	22.2
	<b>Prom Tmáx</b>	<b>21.2</b>	<b>21.0</b>	<b>21.2</b>	<b>22.2</b>	<b>22.7</b>	<b>22.5</b>	<b>22.1</b>	<b>22.7</b>	<b>22.7</b>	<b>22.5</b>	<b>23.0</b>	<b>21.7</b>

**Anexo I.8. Temperatura máxima mensual de la Estación Paucartambo (°C)- Datos completos**

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION PAUCARTAMBO					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°18'12"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°35'48"					<b>PROVINCIA:</b>		PAUCARTAMBO				
<b>ALTITUD:</b>		3042msnm					<b>DISTRITO</b>		PAUCARTAMBO				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MAXIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>													
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	19.4	18.9	18.5	19.0	19.9	20.9	20.1	20.3	23.5	18.8	20.4	19.5
2	1981	18.5	18.0	19.1	18.5	19.7	19.9	18.5	19.7	19.4	18.0	19.8	19.7
3	1982	16.9	18.3	18.2	18.7	18.5	18.0	18.7	18.1	18.3	18.7	18.2	18.8
4	1983	18.8	19.3	18.9	19.5	20.1	20.7	18.2	20.2	19.2	20.8	20.1	21.1
5	1984	19.0	20.3	19.5	19.5	20.2	19.3	20.5	19.2	21.1	20.1	20.6	19.9
6	1985	21.1	17.7	19.2	20.8	22.0	21.3	20.6	20.3	18.5	21.8	19.6	19.9
7	1986	20.0	20.7	18.2	19.8	20.6	21.8	21.1	22.1	19.7	21.5	18.0	20.5
8	1987	19.4	19.9	16.7	18.2	20.6	19.3	18.0	19.9	20.4	22.6	19.9	20.2
9	1988	19.3	20.1	19.0	19.3	20.3	22.8	20.3	19.4	21.1	20.3	22.6	21.4
10	1989	19.1	18.9	19.8	19.8	21.5	18.4	21.5	19.6	20.7	20.1	21.6	20.6
11	1990	19.6	20.2	18.7	19.5	18.9	18.5	18.6	19.1	19.3	20.1	21.4	19.4
12	1991	19.4	18.6	19.2	19.8	20.2	20.5	20.7	19.3	18.4	18.5	19.6	19.9
13	1992	19.6	19.5	19.8	20.0	20.8	19.5	19.5	18.9	19.2	19.0	20.3	20.2
14	1993	18.6	19.0	18.5	19.5	20.6	20.6	20.0	18.7	18.6	19.9	19.8	19.7
15	1994	18.7	18.8	18.6	19.2	19.8	19.6	19.5	19.8	19.1	20.3	19.6	19.7
16	1995	19.4	19.4	18.7	20.0	20.5	20.8	18.8	19.9	19.2	20.4	20.4	20.4
17	1996	19.1	18.5	18.5	18.4	18.9	19.5	18.6	18.1	19.6	20.0	20.6	19.5
18	1997	18.3	17.8	18.2	19.1	19.1	20.3	19.5	19.2	19.5	20.8	21.2	21.0
19	1998	20.5	20.6	20.4	21.2	21.1	19.8	19.2	19.4	20.0	20.9	21.2	20.0
20	1999	18.7	17.9	17.5	18.3	18.9	19.8	19.2	19.3	19.5	20.0	21.4	20.2
21	2000	18.4	18.3	18.1	19.1	20.0	19.8	20.0	19.7	21.0	19.2	20.0	19.8
22	2001	17.3	17.5	17.8	18.9	19.6	18.9	18.9	19.0	19.3	19.5	19.8	19.6
23	2002	19.6	18.5	19.1	18.6	20.0	19.3	18.3	18.7	19.0	19.6	20.0	19.2
24	2003	18.9	19.2	18.7	19.3	19.2	19.9	19.4	18.7	19.1	19.4	20.1	19.1
25	2004	18.6	18.1	18.9	20.1	20.5	18.8	19.0	19.2	18.9	21.2	21.2	20.1
26	2005	20.2	19.0	20.0	20.7	21.1	21.2	22.2	20.0	20.9	21.0	22.5	21.0
27	2006	19.1	19.7	20.2	20.3	21.1	20.7	21.4	20.2	20.8	20.7	20.5	19.8
28	2007	21.2	20.5	19.9	20.5	21.1	21.4	20.9	20.2	20.1	20.2	20.1	20.8
29	2008	19.6	19.9	19.5	21.3	20.6	21.0	19.7	20.6	20.4	20.1	20.4	19.2
30	2009	19.1	19.8	19.6	19.8	20.7	21.0	20.5	21.2	20.8	21.3	21.2	21.0
31	2010	20.1	21.0	20.6	21.5	21.4	21.4	21.9	21.7	21.4	20.6	20.8	20.5
32	2011	19.8	18.7	19.3	19.9	21.4	21.6	20.3	20.7	20.1	20.6	21.9	20.4
33	2012	20.0	19.5	20.0	20.8	21.1	21.4	21.4	21.4	20.8	21.7	22.0	19.9
34	2013	20.4	20.3	21.3	22.4	22.6	21.2	21.5	21.9	21.8	21.0	21.5	20.8
35	2014	20.2	21.4	21.9	21.8	22.4	22.7	22.0	21.1	21.9	21.4	22.9	22.1
36	2015	20.7	21.8	20.9	20.8	21.2	21.9	22.3	22.0	22.6	22.5	22.6	21.6
37	2016	22.4	21.2	22.9	23.5	23.0	21.8	22.6	21.8	22.7	22.4	23.3	21.7
38	2017	21.5	21.3	21.3	22.0	22.3	23.3	22.4	22.7	21.3	22.8	22.4	22.1
39	2018	21.0	20.8	21.5	22.0	22.8	22.1	21.8	21.2	22.3	21.4	21.7	22.1
40	2019	21.5	20.9	21.9	22.1	22.9	22.9	22.4	22.2	21.9	21.7	21.1	20.8
41	2020	20.2	20.7	21.1	21.9	22.5	22.5	22.2	22.8	21.0	20.8	22.1	20.6
42	2021	20.0	20.9	20.8	21.6	22.3	22.8	23.0	22.8	21.1	21.4	21.3	20.9
43	2022	20.7	21.1	20.6	19.8	21.1	21.2	21.9	22.6	20.9	21.0	21.2	20.1
	<b>Prom Tmáx</b>	<b>19.6</b>	<b>19.6</b>	<b>19.6</b>	<b>20.2</b>	<b>20.8</b>	<b>20.7</b>	<b>20.4</b>	<b>20.3</b>	<b>20.3</b>	<b>20.6</b>	<b>20.9</b>	<b>20.3</b>

## Anexo J. Temperaturas mínimas mensuales completadas

### Anexo J1. Temperatura mínima mensual de la Estación Paucartambo (°C)

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION PAUCARTAMBO							<b>TIPO:</b> CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°18'12"							<b>REGIÓN:</b> CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°35'48"							<b>PROVINCIA:</b> PAUCARTAMBO				
<b>ALTITUD:</b>		3042msnm							<b>DISTRITO:</b> PAUCARTAMBO				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MINIMA							<b>PERIODO:</b> 1980 - 2022				
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	10.5	9.9	10.2	8.1	5.9	3.2	4.2	5.3	12.4	9.0	8.8	9.8
2	1981	10.5	9.3	10.3	7.7	6.6	7.2	7.0	3.9	6.1	7.3	8.7	8.7
3	1982	5.4	5.6	6.8	5.2	5.3	4.9	6.7	5.5	6.6	7.6	7.5	8.0
4	1983	9.5	10.2	7.2	9.6	5.9	3.4	5.1	4.2	6.7	6.9	9.8	10.0
5	1984	7.6	9.2	9.2	8.5	5.8	3.5	5.3	5.5	8.1	8.1	9.5	8.8
6	1985	9.3	10.2	10.2	8.1	6.5	7.4	3.2	4.0	6.8	6.7	8.2	11.0
7	1986	10.0	9.2	9.5	7.8	7.0	5.7	3.8	3.9	5.8	8.5	9.4	9.0
8	1987	9.4	8.2	10.5	7.5	6.9	6.9	5.8	5.7	5.6	7.8	9.0	10.3
9	1988	9.8	9.1	8.4	7.9	6.4	5.7	6.2	5.4	7.6	7.8	9.2	9.0
10	1989	9.9	9.6	7.5	8.6	6.9	3.9	3.3	5.5	5.6	6.2	7.2	7.2
11	1990	10.4	9.5	8.4	7.5	6.0	4.1	4.5	5.2	6.7	9.1	8.0	8.5
12	1991	9.9	9.0	7.6	8.5	7.0	6.4	6.0	7.3	8.8	10.7	11.1	11.5
13	1992	11.4	11.6	11.4	12.1	10.5	8.4	6.6	7.5	10.2	10.9	11.7	11.6
14	1993	11.6	11.4	11.2	8.4	7.4	10.8	4.8	2.7	3.9	4.6	6.9	7.3
15	1994	7.3	6.5	6.5	6.2	4.2	1.8	2.4	2.3	4.4	5.4	6.9	7.5
16	1995	7.2	7.0	6.9	6.9	5.8	5.4	3.4	5.6	6.5	8.0	8.9	9.0
17	1996	8.5	8.6	8.9	7.8	7.0	5.0	4.6	5.8	7.3	7.6	7.5	8.6
18	1997	8.4	8.4	8.2	7.0	7.0	6.2	5.7	5.0	6.5	7.8	8.3	8.8
19	1998	9.9	10.1	10.3	9.3	5.4	5.5	4.2	3.6	4.6	5.3	5.8	8.0
20	1999	8.1	7.0	7.1	6.9	5.5	3.9	2.7	3.6	5.7	5.3	7.5	7.8
21	2000	7.7	7.7	7.6	6.6	5.6	5.1	3.5	5.1	5.6	7.5	8.9	9.3
22	2001	9.5	9.6	8.9	7.7	7.3	5.3	5.4	4.6	7.5	9.1	9.8	8.9
23	2002	9.3	10.2	9.8	8.7	6.6	6.0	5.8	5.5	7.4	8.3	9.2	10.0
24	2003	10.0	9.5	9.7	8.1	7.2	5.4	4.3	5.6	6.4	7.5	8.9	9.5
25	2004	10.0	9.3	9.2	8.3	6.9	6.1	5.1	5.6	7.0	9.5	9.6	9.6
26	2005	10.5	10.3	9.7	9.2	6.5	5.1	4.5	5.1	7.5	9.3	9.2	10.1
27	2006	9.5	9.8	9.6	8.4	5.4	5.6	3.9	6.7	7.4	9.2	9.3	10.4
28	2007	10.6	10.0	9.6	8.3	7.2	4.8	4.3	4.6	6.7	7.7	9.2	8.9
29	2008	9.6	8.6	8.6	7.5	5.7	4.7	4.2	5.0	6.9	8.9	9.1	9.7
30	2009	9.3	9.5	9.1	8.7	6.1	5.4	5.8	6.1	7.6	8.5	10.4	10.1
31	2010	10.0	10.1	10.0	8.3	7.4	5.5	5.1	4.4	6.9	8.7	9.0	9.5
32	2011	9.6	9.8	9.7	8.2	6.0	4.4	5.5	6.2	7.7	8.9	8.8	9.5
33	2012	9.2	9.0	8.0	7.7	5.9	4.2	3.5	4.5	6.0	7.8	9.1	9.7
34	2013	8.8	9.4	9.3	6.6	6.1	5.3	4.1	4.4	5.0	7.3	8.7	8.6
35	2014	9.5	9.4	8.7	7.6	6.7	5.4	4.2	4.8	6.3	6.9	8.6	9.6
36	2015	8.8	8.9	8.7	8.0	7.1	4.9	3.7	5.3	7.1	8.3	8.9	9.1
37	2016	9.6	10.2	9.0	7.5	5.2	4.1	3.5	5.0	5.4	8.1	7.7	8.8
38	2017	9.1	9.4	8.7	8.4	7.0	5.5	3.7	5.4	7.6	7.1	8.4	9.5
39	2018	8.9	9.4	8.8	7.4	5.2	4.1	3.3	4.9	5.6	8.6	9.1	8.4
40	2019	8.7	9.4	9.3	7.4	5.8	4.2	4.0	3.3	5.8	7.8	8.9	9.7
41	2020	9.0	10.2	8.7	7.8	6.0	5.2	3.9	4.2	6.3	7.1	7.8	8.8
42	2021	9.2	8.9	8.1	7.3	4.6	4.9	3.2	4.4	5.4	7.4	8.9	9.5
43	2022	8.6	8.7	8.5	8.1	5.7	9.0	5.7	3.8	6.9	7.3	7.1	8.3
	<b>Prom Tmín</b>	<b>9.3</b>	<b>9.2</b>	<b>8.9</b>	<b>7.9</b>	<b>6.3</b>	<b>5.3</b>	<b>4.5</b>	<b>4.9</b>	<b>6.7</b>	<b>7.8</b>	<b>8.7</b>	<b>9.2</b>

## Anexo J2. Temperatura mínima mensual de la Estación Kayra (°C)- Datos completos

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION GRANJA KAYRA						<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°33'24.29"						<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°52'30.61"						<b>PROVINCIA:</b>		CUSCO				
<b>ALTITUD:</b>		3214 msnm						<b>DISTRITO:</b>		SAN JERONIMO				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MINIMA						<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		100044												
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	
1	1980	7.4	7.3	7.2	1.9	-0.7	-2.1	-1.6	0.9	2.5	6.5	5.4	6.5	
2	1981	7.7	7.6	6.6	3.3	0.6	-2.7	-3.0	-0.3	2.7	5.6	7.7	7.0	
3	1982	8.1	7.0	7.4	4.3	-1.1	-1.1	-1.2	1.0	3.6	6.2	7.6	6.9	
4	1983	7.6	7.4	6.8	4.8	1.4	0.4	-0.5	1.5	3.2	4.7	5.4	6.0	
5	1984	7.9	8.0	7.0	5.1	1.1	-0.1	-1.9	1.0	1.9	6.0	6.7	6.3	
6	1985	7.3	6.4	6.9	5.0	1.1	-1.5	-2.6	0.1	3.9	4.3	6.1	6.2	
7	1986	6.4	7.4	6.8	4.3	0.2	-3.1	-1.4	1.2	3.3	3.5	4.6	7.0	
8	1987	8.1	7.1	5.8	3.8	0.5	-1.0	-1.6	-0.2	3.8	5.1	7.4	6.6	
9	1988	7.6	6.7	7.9	5.5	1.3	-2.0	-3.2	-1.2	3.8	4.9	5.7	6.4	
10	1989	7.3	6.0	6.2	4.7	0.6	0.5	-2.1	0.6	3.9	4.3	4.6	6.4	
11	1990	7.5	6.0	4.8	4.3	0.9	0.8	-1.0	0.3	3.2	6.2	7.2	6.8	
12	1991	7.2	7.0	6.6	3.8	0.8	-0.7	-2.8	-1.9	2.1	5.7	6.2	5.4	
13	1992	6.7	7.1	5.3	2.8	0.2	-0.2	-2.7	0.7	3.3	4.7	5.6	5.4	
14	1993	6.9	6.7	5.9	4.7	1.2	-2.2	-1.0	-0.5	2.8	5.4	7.4	7.4	
15	1994	7.0	7.5	6.8	5.4	1.0	-2.3	-2.3	-1.1	3.7	5.7	6.7	7.5	
16	1995	7.4	7.3	7.6	3.9	-0.1	-0.4	0.3	0.8	3.0	5.5	6.1	6.3	
17	1996	7.2	7.2	6.8	5.0	1.9	-1.5	-2.1	2.1	4.0	5.2	6.2	6.6	
18	1997	7.7	7.4	6.8	3.5	1.1	-1.8	-1.3	1.6	3.5	6.0	7.4	7.6	
19	1998	8.3	8.7	7.3	4.9	0.3	0.3	-0.5	2.2	2.9	6.7	6.4	6.2	
20	1999	7.4	7.4	6.9	5.0	1.8	-1.3	-2.5	-0.8	3.5	4.4	5.0	6.9	
21	2000	7.0	7.2	6.2	4.5	0.8	-0.6	-0.7	1.6	3.0	5.4	4.8	5.5	
22	2001	7.9	7.1	7.1	3.4	1.4	-1.1	-0.5	-1.2	3.5	5.6	6.9	6.6	
23	2002	7.0	8.0	7.2	5.1	0.5	0.6	0.4	0.5	3.9	6.1	5.9	7.5	
24	2003	7.5	8.1	7.9	4.1	1.7	-1.0	-1.7	1.2	2.3	4.3	5.6	7.5	
25	2004	8.2	7.2	5.9	4.0	0.5	-1.5	-0.9	0.2	4.1	5.6	6.0	6.4	
26	2005	7.7	7.8	6.9	3.9	-0.2	-1.8	-2.2	0.0	2.7	6.3	6.1	7.3	
27	2006	7.4	7.3	6.9	4.5	-1.5	0.1	-2.7	1.7	3.4	5.8	6.0	5.9	
28	2007	7.7	7.5	7.3	4.4	1.7	-2.1	-0.8	0.2	2.2	4.7	5.8	6.0	
29	2008	7.7	6.2	5.5	3.5	0.2	-1.3	-2.0	0.5	2.5	5.7	5.5	7.3	
30	2009	7.1	6.8	5.8	4.4	0.4	-1.8	-0.5	0.3	3.2	4.4	7.8	7.2	
31	2010	7.6	7.1	7.5	4.3	2.3	0.0	-0.7	-0.9	3.0	5.9	5.5	7.2	
32	2011	7.2	7.8	7.0	4.6	0.0	-1.2	-0.8	0.8	3.8	5.3	5.6	6.3	
33	2012	6.5	7.3	5.8	4.4	-0.1	-0.8	-2.1	-0.8	2.6	5.2	6.8	7.9	
34	2013	6.6	7.9	7.2	2.4	1.2	-0.4	-1.5	0.5	2.1	6.0	6.2	7.2	
35	2014	7.4	7.0	6.1	4.0	2.1	0.0	-0.5	0.6	4.2	6.0	6.5	7.9	
36	2015	7.6	7.0	6.9	6.1	3.0	0.5	-1.1	1.0	4.4	5.1	7.2	7.3	
37	2016	8.1	9.3	7.0	5.2	1.0	-0.5	-1.1	1.4	3.2	4.1	5.9	6.9	
38	2017	7.8	7.1	6.7	5.8	3.0	-0.3	-1.0	1.3	4.5	4.8	6.5	7.4	
39	2018	7.0	8.2	7.4	4.7	1.0	-0.4	-0.6	1.9	3.0	6.7	7.5	5.9	
40	2019	7.8	8.2	7.6	5.1	2.6	-0.4	-0.6	-0.5	3.7	5.6	7.6	7.9	
41	2020	6.8	9.0	7.9	5.3	2.9	-0.2	-0.3	0.2	4.0	4.4	6.3	7.4	
42	2021	8.3	7.8	7.0	6.3	1.0	1.1	-1.6	-0.2	2.8	5.9	7.9	7.8	
43	2022	6.8	7.4	6.9	4.6	2.0	-0.2	-0.8	1.1	4.3	5.5	5.6	6.8	
	<b>Prom Tmín</b>	<b>7.4</b>	<b>7.4</b>	<b>6.8</b>	<b>4.4</b>	<b>1.0</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.4</b>	<b>0.5</b>	<b>3.3</b>	<b>5.4</b>	<b>6.3</b>	<b>6.8</b>	

**Anexo J3. Temperatura mínima mensual de la Estación Challabamba (°C)- Datos completos**

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION CHALLABAMBA					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°33'3.15"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°38'57.77"					<b>PROVINCIA:</b>		PAUCARTAMBO				
<b>ALTITUD:</b>		2803 msnm					<b>DISTRITO:</b>		CHALLABAMBA				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MINIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		100024											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	9.5	10.8	10.1	9.0	5.4	3.6	4.4	4.3	6.0	9.1	7.5	11.8
2	1981	9.6	11.0	9.5	7.8	5.2	4.4	4.5	4.6	6.2	8.1	10.1	9.4
3	1982	10.3	10.8	10.1	8.1	4.7	2.6	2.0	4.4	6.5	7.0	9.3	8.7
4	1983	9.5	10.0	8.9	8.1	4.9	4.3	2.2	3.8	7.6	8.6	9.5	8.5
5	1984	9.4	11.0	9.8	7.8	5.8	4.2	2.7	6.3	6.7	8.6	7.3	9.7
6	1985	10.4	10.0	8.9	8.2	5.8	4.1	2.4	4.9	6.4	6.2	9.6	9.3
7	1986	9.8	10.3	9.7	7.9	5.9	3.5	3.2	4.6	6.3	7.9	9.4	10.7
8	1987	10.2	10.2	9.5	8.9	5.1	6.5	3.4	3.9	6.3	9.2	9.1	9.4
9	1988	9.9	10.7	10.7	7.7	3.9	5.1	2.8	3.6	7.2	7.4	10.3	9.6
10	1989	11.0	9.2	10.0	7.0	5.0	3.7	3.2	4.5	6.6	8.3	8.1	8.7
11	1990	9.9	10.7	9.5	6.8	5.6	3.0	1.9	3.8	6.1	8.1	9.9	8.9
12	1991	10.0	9.9	8.9	7.2	4.9	3.6	3.3	4.9	5.8	8.2	9.9	9.8
13	1992	9.6	9.5	9.2	8.9	5.2	4.3	3.4	4.6	6.4	7.0	9.2	9.9
14	1993	10.0	10.1	9.4	7.7	5.5	3.8	2.9	4.0	6.8	8.9	7.4	9.4
15	1994	9.7	9.7	8.9	7.8	6.6	3.7	2.2	4.6	6.4	8.2	9.7	9.8
16	1995	9.6	10.1	9.7	8.1	5.8	4.3	2.0	3.9	6.5	8.9	10.2	10.1
17	1996	9.6	10.9	9.9	8.7	6.1	2.8	3.9	4.3	6.0	9.4	10.0	9.7
18	1997	9.4	11.0	9.4	8.1	9.9	3.9	3.8	4.0	6.5	7.7	7.7	9.6
19	1998	11.9	10.2	9.5	7.9	7.4	2.6	2.5	3.5	6.2	7.7	9.2	9.5
20	1999	10.8	10.9	9.7	9.0	5.4	5.1	1.9	5.0	6.0	7.7	8.3	9.7
21	2000	10.4	9.4	9.0	7.4	5.3	3.6	2.4	5.4	7.1	7.7	8.2	8.4
22	2001	9.5	9.5	8.8	6.7	5.6	3.5	3.7	2.9	6.6	8.2	9.4	8.8
23	2002	9.3	9.7	9.6	8.1	5.5	4.4	4.7	4.1	6.6	7.8	8.7	9.4
24	2003	9.6	9.5	9.2	7.1	6.4	3.1	1.9	4.1	4.8	6.7	7.7	9.6
25	2004	9.6	9.4	8.7	8.2	5.8	5.5	3.9	5.1	7.3	9.0	9.4	8.7
26	2005	10.2	10.0	9.1	8.3	4.4	3.4	2.5	3.7	6.6	8.7	9.2	10.0
27	2006	9.9	9.7	9.6	8.2	3.8	4.7	1.8	6.1	7.2	9.4	9.6	10.5
28	2007	11.0	10.6	10.1	8.3	6.8	3.1	3.8	3.8	6.4	7.7	10.2	9.1
29	2008	9.8	9.4	9.5	8.1	5.0	3.6	2.6	5.0	6.4	9.1	9.7	10.1
30	2009	9.9	10.3	9.6	9.2	5.6	3.3	5.0	5.4	6.5	7.3	10.8	11.0
31	2010	11.6	11.1	10.7	8.1	7.6	5.9	4.0	5.4	7.3	8.8	9.0	9.1
32	2011	10.2	10.7	10.4	9.0	5.5	4.1	4.4	5.4	7.2	8.0	8.5	10.0
33	2012	10.2	10.5	9.2	8.8	5.2	3.4	2.4	3.9	6.5	7.8	8.6	11.0
34	2013	9.7	9.8	9.3	7.5	5.3	5.2	3.5	5.7	6.0	8.8	7.8	9.7
35	2014	10.0	10.5	9.2	7.7	7.1	4.3	3.7	5.2	6.7	7.5	8.6	10.3
36	2015	9.7	9.9	9.6	8.9	7.5	5.0	3.0	4.0	6.5	7.3	9.6	9.8
37	2016	10.6	11.4	9.9	8.0	5.1	3.5	2.1	4.5	5.7	8.7	9.1	9.3
38	2017	9.9	10.3	9.9	9.0	7.6	5.3	3.6	4.9	7.7	7.2	9.1	10.1
39	2018	9.6	10.6	9.7	8.4	5.0	3.0	2.7	5.1	5.9	9.2	10.1	9.2
40	2019	10.1	10.3	10.0	8.2	5.9	3.7	3.3	2.5	6.2	8.3	9.2	10.5
41	2020	9.9	10.9	9.9	8.3	6.0	4.6	2.8	2.3	7.2	7.6	8.6	9.7
42	2021	10.1	10.1	9.1	8.7	4.6	4.7	2.2	3.8	5.8	8.0	10.0	10.5
43	2022	9.0	9.5	9.5	7.4	5.4	2.3	2.2	3.9	6.3	7.8	7.8	9.2
	<b>Prom Tmín</b>	<b>10.0</b>	<b>10.2</b>	<b>9.6</b>	<b>8.1</b>	<b>5.7</b>	<b>4.0</b>	<b>3.0</b>	<b>4.4</b>	<b>6.5</b>	<b>8.1</b>	<b>9.1</b>	<b>9.7</b>

**Anexo J4. Temperatura mínima mensual de la Estación Colquepata (°C)- Datos completos**

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION COLQUEPATA					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°21'47.27"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°40'24.1"					<b>PROVINCIA:</b>		PAUCARTAMBO				
<b>ALTITUD:</b>		3696 msnm					<b>DISTRITO:</b>		COLQUEPATA				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MINIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		113116											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	5.2	5.7	5.7	4.6	4.0	2.4	1.0	1.9	3.0	4.5	5.0	5.3
2	1981	5.0	4.8	5.8	5.8	4.1	2.2	2.2	1.5	3.9	4.1	5.5	5.3
3	1982	5.2	6.2	4.5	4.7	3.5	2.4	1.8	2.8	3.9	4.1	4.5	5.0
4	1983	5.0	6.0	6.1	4.5	4.9	3.1	2.5	2.0	3.1	4.5	4.9	5.4
5	1984	5.1	5.1	5.6	5.7	4.5	2.5	1.4	1.3	4.2	3.8	5.0	5.9
6	1985	5.1	4.8	5.2	4.9	4.2	2.2	1.8	2.7	3.0	4.7	4.8	4.9
7	1986	5.5	5.0	5.6	4.6	3.1	2.6	1.9	1.5	3.4	4.7	5.1	4.9
8	1987	5.1	4.8	5.9	5.1	2.9	2.4	1.5	1.0	3.2	5.0	5.2	5.6
9	1988	5.6	5.3	4.7	5.5	5.1	2.2	0.4	2.8	3.1	4.7	4.8	5.4
10	1989	5.3	5.1	5.6	5.6	3.0	2.6	2.9	2.1	3.9	4.9	5.0	5.1
11	1990	5.7	5.2	5.5	4.1	3.7	3.3	1.2	1.5	2.9	4.5	5.3	4.8
12	1991	5.2	5.9	5.4	4.9	4.3	2.5	2.7	2.2	2.6	3.4	5.1	5.3
13	1992	5.3	5.3	5.0	5.1	3.1	2.9	2.4	1.1	3.0	4.0	5.7	5.5
14	1993	5.4	5.5	4.9	5.4	4.0	1.7	2.4	1.7	3.4	4.3	4.2	5.5
15	1994	5.1	6.0	5.7	4.0	3.5	2.7	2.3	1.5	3.9	4.1	5.1	5.4
16	1995	5.4	5.9	4.5	4.1	3.3	2.3	1.4	2.1	3.5	4.7	4.9	5.1
17	1996	5.1	5.3	6.4	5.0	2.7	1.4	1.8	2.2	4.3	4.8	5.8	5.5
18	1997	5.7	5.4	5.7	4.7	3.2	2.6	2.5	2.8	3.6	4.4	4.6	5.4
19	1998	5.0	5.4	5.2	5.2	3.2	3.0	1.9	2.5	3.1	4.5	5.2	5.5
20	1999	5.5	5.6	5.7	4.5	3.0	3.2	1.6	1.7	3.3	5.1	5.0	4.4
21	2000	5.6	5.9	5.3	5.5	3.1	1.7	2.3	1.4	3.3	4.9	5.4	5.2
22	2001	4.7	4.4	3.9	3.6	3.8	2.4	2.2	1.6	3.5	4.8	5.3	5.3
23	2002	5.3	5.8	5.5	5.0	3.7	3.2	2.2	2.5	4.2	4.5	4.9	5.6
24	2003	5.9	6.0	5.9	4.7	4.0	2.7	1.7	2.1	2.9	4.3	4.7	5.6
25	2004	5.7	5.5	5.4	4.7	3.5	2.2	1.6	1.8	3.4	4.7	5.2	5.1
26	2005	5.5	5.6	5.5	5.1	3.5	2.2	1.7	2.0	3.2	4.8	5.1	5.5
27	2006	5.3	5.7	5.5	4.8	2.1	2.5	1.1	3.1	3.3	5.0	4.9	5.5
28	2007	6.1	5.9	5.5	5.1	4.3	2.2	1.7	2.1	3.0	3.6	4.8	4.8
29	2008	5.5	4.9	4.6	4.3	2.8	2.4	1.4	2.4	3.0	4.5	5.0	5.2
30	2009	5.0	5.3	5.0	4.8	3.3	2.4	2.2	2.5	3.9	4.8	6.2	6.0
31	2010	6.0	6.4	6.0	5.4	4.4	3.1	2.6	1.9	3.7	4.6	5.2	5.2
32	2011	5.2	5.5	5.5	4.5	3.2	1.9	2.2	2.6	3.6	4.6	4.6	5.7
33	2012	4.7	5.1	5.0	4.6	3.4	1.1	-0.9	0.0	2.6	3.4	4.1	4.8
34	2013	4.9	5.4	5.5	4.0	3.1	2.1	1.0	1.7	2.3	4.3	4.7	5.1
35	2014	5.3	5.3	5.0	4.2	3.8	2.3	1.6	1.5	3.7	4.2	5.0	5.6
36	2015	5.0	5.3	5.3	4.4	4.0	2.4	1.4	1.9	3.0	4.5	5.5	4.9
37	2016	5.5	6.2	5.5	5.3	3.7	2.2	1.4	2.1	3.0	4.5	5.0	5.3
38	2017	5.6	5.5	5.5	5.4	5.0	3.6	1.9	3.0	4.3	4.7	5.6	5.9
39	2018	5.4	5.6	5.6	4.4	3.2	2.3	1.5	2.8	3.7	5.3	6.0	5.4
40	2019	5.5	5.6	6.0	5.5	3.9	2.7	2.1	1.7	3.7	4.4	5.4	5.9
41	2020	5.3	6.1	5.5	4.8	3.8	3.3	2.3	2.4	3.9	4.2	4.5	5.4
42	2021	5.7	5.4	5.1	5.5	3.4	3.2	1.4	2.5	3.5	4.9	5.5	6.0
43	2022	5.1	5.5	5.1	4.2	3.8	2.1	2.1	2.1	3.8	4.9	5.5	5.1
	<b>Prom Tmín</b>	<b>5.3</b>	<b>5.5</b>	<b>5.4</b>	<b>4.8</b>	<b>3.6</b>	<b>2.5</b>	<b>1.8</b>	<b>2.0</b>	<b>3.4</b>	<b>4.5</b>	<b>5.1</b>	<b>5.3</b>

**Anexo J5. Temperatura mínima mensual de la Estación Ccatca (°C)- Datos completos**

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION CCATCCA					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°36'35.6"					<b>DEPARTAMENTO:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°33'36.4"					<b>PROVINCIA:</b>		QUISPICANCHI				
<b>ALTITUD:</b>		3681 msnm					<b>DISTRITO:</b>		CCATCCA				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MINIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		113041											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	4.9	5.3	4.2	4.8	0.0	-0.1	-1.7	-0.7	0.9	3.6	2.9	4.3
2	1981	4.8	5.6	4.9	1.4	-0.3	-0.8	-4.0	-1.3	1.5	2.7	4.3	4.8
3	1982	4.8	4.4	4.1	1.7	-2.4	-0.6	-1.8	-1.8	1.9	2.9	5.7	2.0
4	1983	3.4	4.5	4.7	2.3	-0.4	-3.1	-3.7	-1.5	0.3	2.5	2.8	1.0
5	1984	4.7	6.4	3.3	4.2	2.1	-3.1	-1.9	-3.3	1.6	2.7	3.5	5.0
6	1985	4.1	4.5	4.6	2.2	-1.3	-2.0	-0.8	-2.1	1.7	2.1	3.1	2.4
7	1986	5.6	5.3	4.9	3.4	0.1	-1.7	-1.2	0.8	2.5	2.5	2.9	4.8
8	1987	4.8	4.9	3.7	3.2	0.8	-0.9	-1.5	-1.1	2.5	3.8	5.0	4.7
9	1988	5.4	4.6	5.2	3.9	1.3	-1.5	-3.3	-1.5	1.3	3.2	3.6	3.9
10	1989	4.2	3.8	3.5	3.0	0.0	-0.6	-3.1	-0.6	1.6	2.2	2.3	3.3
11	1990	3.8	3.4	2.7	2.4	0.6	-0.4	-2.1	-0.7	1.0	3.2	3.1	3.3
12	1991	4.2	3.1	3.2	1.7	-0.6	-2.3	-4.6	-2.8	-0.2	2.1	3.0	2.6
13	1992	2.5	3.4	2.8	1.1	-1.2	-1.3	-4.8	-1.2	0.5	1.9	1.9	2.6
14	1993	2.4	2.7	2.7	1.9	-0.8	-4.0	-3.0	-1.7	-0.1	2.1	2.9	2.5
15	1994	2.4	2.5	2.4	1.8	-1.2	-4.1	-4.5	-3.7	0.3	1.7	2.7	2.9
16	1995	3.3	2.8	2.6	1.2	-2.4	-2.2	-0.9	-0.8	1.2	2.7	2.9	2.3
17	1996	2.4	2.7	2.3	1.9	-0.9	-4.2	-3.9	-0.4	0.7	1.3	1.9	2.5
18	1997	2.7	2.7	2.3	0.5	-1.6	-4.2	-3.7	-1.5	0.5	2.2	3.0	3.1
19	1998	4.1	4.4	3.4	2.1	-2.3	-2.4	-4.0	-0.7	-0.3	2.1	2.1	2.4
20	1999	3.2	2.6	2.6	1.4	-0.4	-4.0	-4.6	-3.1	-0.4	0.0	0.9	2.3
21	2000	2.4	2.3	1.9	0.6	-1.7	-2.1	-2.2	-0.1	1.3	2.8	3.4	3.7
22	2001	4.6	4.8	4.5	2.4	0.9	-0.9	-1.4	-2.2	1.4	3.5	4.6	4.6
23	2002	4.7	5.1	4.9	3.6	0.3	-0.1	-0.3	-1.0	1.5	3.1	3.5	4.5
24	2003	4.9	5.1	5.0	2.4	0.1	-1.7	-2.8	-1.6	0.6	1.7	2.5	4.4
25	2004	5.0	4.1	3.6	1.6	-0.9	-2.7	-2.5	-2.1	1.2	3.5	3.7	3.6
26	2005	4.7	4.5	4.1	1.7	-1.5	-3.0	-2.9	-2.2	1.0	3.6	3.6	5.1
27	2006	4.8	4.7	4.2	2.9	-2.0	-0.9	-3.9	0.0	0.7	3.3	3.5	3.9
28	2007	5.2	5.1	4.7	3.1	0.7	-2.8	-1.8	-1.3	1.1	2.9	3.8	4.5
29	2008	5.7	4.5	4.6	2.9	-0.5	-1.5	-2.3	0.2	1.4	4.0	4.0	5.3
30	2009	5.3	5.2	4.9	4.3	0.5	-1.8	-0.7	-0.4	1.5	2.6	5.9	5.3
31	2010	5.6	5.6	5.6	3.6	1.5	-0.9	-1.8	-2.0	1.3	3.4	3.9	5.1
32	2011	4.5	5.1	5.1	3.8	0.1	-2.0	-1.4	-0.1	2.6	4.0	4.0	4.9
33	2012	4.9	5.2	4.2	3.7	0.0	-1.7	-2.9	-2.6	1.2	3.1	4.8	5.2
34	2013	4.3	5.3	5.3	1.7	0.4	-1.1	-3.0	-1.3	0.2	4.0	4.6	4.7
35	2014	5.1	4.3	4.1	2.9	0.9	-1.5	-1.7	-1.7	1.9	2.7	3.1	5.0
36	2015	4.1	4.8	5.3	4.2	2.5	-0.7	-2.9	-0.9	2.6	3.2	5.2	4.4
37	2016	5.1	6.2	4.6	2.7	-1.0	-2.7	-3.6	-1.9	0.4	4.2	3.2	4.7
38	2017	5.8	5.5	5.5	4.8	2.8	0.2	-2.0	-0.4	3.2	2.7	4.6	5.6
39	2018	5.2	5.9	5.1	3.6	0.0	-1.1	-2.7	0.2	1.3	4.6	5.6	4.0
40	2019	5.3	5.7	5.8	3.6	0.6	-1.2	-2.1	-2.8	1.6	3.5	5.3	5.6
41	2020	5.4	6.5	5.8	3.4	0.1	-0.4	-3.0	-2.1	1.2	2.6	3.7	4.4
42	2021	5.3	5.6	4.7	2.3	1.2	-0.4	-3.3	-1.3	1.3	3.2	5.2	5.6
43	2022	3.8	5.2	5.0	2.8	0.3	-1.0	-2.7	-1.1	1.2	2.9	2.6	3.9
	<b>Prom Tmín</b>	<b>4.4</b>	<b>4.6</b>	<b>4.2</b>	<b>2.7</b>	<b>-0.1</b>	<b>-1.8</b>	<b>-2.6</b>	<b>-1.4</b>	<b>1.2</b>	<b>2.9</b>	<b>3.6</b>	<b>4.0</b>

**Anexo J6. Temperatura mínima mensual de la Estación Pisac (°C)- Datos completos**

<b>NOMBRE:</b>		ESTACION PISAC					<b>TIPO:</b>		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
<b>LATITUD:</b>		13°25'10.2"					<b>REGIÓN:</b>		CUSCO				
<b>LONGITUD:</b>		71°51'3.1"					<b>PROVINCIA:</b>		CALCA				
<b>ALTITUD:</b>		2990 msnm					<b>DISTRITO:</b>		PISAC				
<b>PARAMETRO:</b>		TEMPERATURA MINIMA					<b>PERIODO:</b>		1980 - 2022				
<b>CODIGO:</b>		100101											
<b>NRO</b>	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1	1980	10.4	4.6	9.6	8.5	6.3	4.5	4.6	6.6	8.4	8.9	10.3	10.0
2	1981	9.8	4.0	10.0	7.6	6.5	5.2	2.5	3.6	8.3	9.4	9.8	10.1
3	1982	8.4	3.1	9.8	7.8	6.8	5.0	3.2	4.8	7.7	8.8	10.1	9.8
4	1983	10.1	4.6	9.0	8.6	5.6	4.8	4.3	4.6	6.9	10.3	9.5	10.8
5	1984	10.3	4.4	9.8	7.9	5.8	5.3	4.8	5.4	8.0	9.7	9.2	9.1
6	1985	10.0	4.2	11.2	7.8	6.0	4.6	2.6	5.3	7.8	8.4	9.7	10.1
7	1986	10.4	4.9	9.4	8.1	7.1	4.9	4.5	6.2	7.2	9.1	9.7	9.4
8	1987	10.5	2.5	9.5	8.9	6.3	5.0	4.2	4.9	8.0	9.4	10.0	10.3
9	1988	10.1	2.6	9.9	7.7	5.4	4.2	4.1	5.4	6.7	8.1	9.6	9.7
10	1989	10.2	0.9	9.7	7.9	6.4	4.1	4.2	6.0	7.2	9.4	9.9	9.3
11	1990	9.6	3.0	10.0	7.2	6.2	4.0	4.7	5.4	7.4	9.3	8.9	9.2
12	1991	8.5	4.7	9.5	8.6	6.3	5.2	3.2	2.2	7.9	9.0	9.5	10.0
13	1992	9.5	4.1	10.6	8.4	6.6	3.8	3.3	5.8	7.3	10.2	10.2	10.3
14	1993	10.4	2.4	9.2	8.4	6.5	4.6	3.3	6.5	8.4	7.9	9.7	10.6
15	1994	10.4	3.9	9.2	7.0	5.4	4.5	4.9	5.9	5.9	8.7	9.6	10.1
16	1995	9.7	5.2	9.6	9.5	5.2	3.4	4.5	5.0	7.5	9.0	10.4	10.6
17	1996	9.5	5.6	9.8	6.5	5.7	5.1	3.9	4.4	7.8	8.9	9.9	9.9
18	1997	9.7	3.6	9.0	6.7	6.2	3.7	3.8	5.7	7.5	8.8	10.0	10.2
19	1998	11.1	11.1	10.5	9.1	5.4	5.0	3.8	6.9	7.1	9.3	9.9	10.0
20	1999	10.1	9.4	9.5	8.5	6.8	4.7	2.9	4.1	7.6	8.1	9.4	9.5
21	2000	9.2	9.5	8.8	7.8	5.7	4.5	4.3	5.9	7.3	8.8	9.9	9.5
22	2001	9.6	9.6	9.2	7.4	6.3	4.2	4.7	3.7	7.5	9.5	10.2	9.7
23	2002	9.8	10.2	9.7	9.5	5.6	5.4	4.8	5.2	8.0	9.5	9.5	10.2
24	2003	10.2	10.5	10.2	8.1	6.6	4.7	4.4	5.8	7.5	9.1	10.1	10.6
25	2004	10.6	9.8	9.6	8.5	6.7	4.2	4.6	5.2	8.4	10.1	10.6	10.4
26	2005	10.7	10.2	9.9	8.3	5.5	4.6	4.1	6.0	7.9	10.3	10.2	10.8
27	2006	10.1	10.3	10.2	8.4	4.7	4.8	3.4	6.7	8.4	9.9	9.7	9.8
28	2007	11.1	10.5	10.1	8.4	7.1	4.1	5.1	6.1	7.3	9.1	9.8	9.9
29	2008	10.3	9.5	9.3	8.3	5.8	4.8	4.5	6.6	8.1	10.1	10.1	10.6
30	2009	10.3	10.2	9.9	9.6	6.1	4.8	5.5	6.4	8.5	9.6	11.4	10.6
31	2010	10.6	10.6	10.7	8.7	7.5	5.4	5.3	5.2	8.7	9.8	10.3	10.3
32	2011	10.6	10.3	10.3	8.1	5.6	4.7	4.6	6.0	8.6	9.8	9.9	9.8
33	2012	10.1	10.1	9.5	8.5	5.0	4.8	4.0	5.2	7.3	9.5	10.3	10.7
34	2013	9.6	10.4	10.5	7.1	6.1	4.6	3.7	5.4	7.1	9.7	9.5	10.0
35	2014	10.2	9.8	9.2	7.5	6.3	4.4	4.0	4.9	7.7	9.0	9.5	10.0
36	2015	9.7	9.4	9.2	8.8	7.3	5.4	3.7	4.9	6.2	7.0	8.9	9.3
37	2016	9.2	10.1	8.9	7.8	6.0	5.3	3.3	4.2	5.3	8.4	8.6	9.0
38	2017	9.8	9.8	9.5	9.1	7.5	5.1	4.4	5.3	8.1	9.5	10.2	10.5
39	2018	10.1	10.0	9.4	7.8	5.3	3.8	3.2	4.9	6.6	9.0	9.7	8.4
40	2019	9.3	9.9	9.4	7.1	5.4	3.7	3.7	3.5	5.4	7.7	8.8	9.3
41	2020	9.1	9.4	9.4	6.8	5.3	4.2	3.5	3.1	7.8	8.2	9.2	9.3
42	2021	9.3	8.7	8.9	7.6	4.9	5.3	2.4	4.8	7.1	8.6	9.9	9.8
43	2022	8.9	8.7	8.3	7.0	6.2	3.1	2.5	5.0	8.2	8.6	8.7	9.0
	<b>Prom Tmín</b>	<b>9.9</b>	<b>7.4</b>	<b>9.6</b>	<b>8.1</b>	<b>6.1</b>	<b>4.6</b>	<b>4.0</b>	<b>5.2</b>	<b>7.5</b>	<b>9.1</b>	<b>9.8</b>	<b>9.9</b>

### Anexo J7. Temperatura mensual de la Estación Caicay (°C)- Datos completos

NOMBRE:		ESTACION CAICAY						TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
LATITUD:		13°35'59.56"						REGIÓN:		CUSCO				
LONGITUD:		71°42'1"						PROVINCIA:		PAUCARTAMBO				
ALTITUD:		3117 msnm						DISTRITO:		CAICAY				
PARAMETRO:		TEMPERATURA MINIMA						PERIODO:		1980 - 2022				
CODIGO:		113122												
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	1980	8.5	10.0	8.6	5.5	4.4	3.4	1.6	4.1	6.1	6.0	7.9	8.0	
2	1981	8.3	8.9	8.1	7.1	2.4	3.4	0.8	3.1	6.3	6.7	7.0	8.2	
3	1982	8.7	8.0	8.3	6.9	3.2	4.1	0.0	3.5	6.5	8.0	9.1	8.0	
4	1983	7.0	8.5	8.2	7.3	5.7	2.4	4.2	3.0	6.0	6.7	8.8	6.8	
5	1984	7.9	8.3	8.0	7.1	6.0	2.0	1.9	5.3	5.4	6.5	6.8	8.7	
6	1985	9.2	9.0	8.9	5.9	4.2	5.7	4.5	1.4	5.8	7.3	7.7	8.3	
7	1986	8.6	8.6	7.5	7.5	4.8	2.7	1.6	1.5	6.5	7.7	8.3	9.0	
8	1987	7.8	9.4	8.3	7.2	2.6	1.7	1.7	4.0	6.2	7.3	7.6	8.5	
9	1988	8.2	8.3	8.7	7.2	4.7	2.5	1.5	4.9	6.7	7.2	8.8	8.7	
10	1989	7.9	9.0	8.0	6.8	4.0	1.6	1.3	3.6	6.2	8.6	7.8	8.3	
11	1990	8.2	8.3	8.4	7.3	5.3	2.6	1.3	4.7	4.6	7.2	7.9	9.0	
12	1991	8.2	9.1	8.1	6.7	3.9	4.4	0.7	1.6	5.9	6.7	8.6	8.0	
13	1992	7.9	8.9	8.7	6.9	3.3	2.3	0.9	4.4	7.2	7.4	7.2	7.1	
14	1993	8.9	8.5	8.0	7.0	3.6	3.1	2.2	2.3	4.5	7.4	8.3	8.3	
15	1994	8.2	9.1	8.5	7.1	3.9	2.5	2.2	1.2	5.5	8.1	7.3	8.2	
16	1995	8.9	8.5	8.2	6.0	5.5	1.7	3.1	4.5	5.8	8.4	7.1	8.8	
17	1996	8.5	8.9	8.5	7.6	2.9	0.5	1.5	2.6	6.2	7.2	7.9	8.5	
18	1997	7.8	8.8	8.8	5.3	5.3	2.2	1.7	4.1	7.3	6.6	8.4	8.7	
19	1998	8.4	7.9	8.6	7.2	4.1	2.0	1.1	4.9	7.2	7.1	8.4	8.8	
20	1999	8.7	8.0	7.5	6.5	3.9	0.8	-0.3	0.8	4.7	7.6	8.0	8.3	
21	2000	8.2	8.1	7.3	7.0	3.6	0.7	1.6	5.1	6.1	7.3	7.9	7.3	
22	2001	6.9	8.4	8.1	6.7	4.7	1.6	3.1	2.2	5.5	6.4	8.3	8.0	
23	2002	8.4	8.7	8.3	7.7	4.3	5.0	3.8	5.1	7.0	6.2	6.9	8.7	
24	2003	7.5	8.7	8.5	7.1	4.3	3.5	4.2	4.8	7.5	6.4	7.7	7.5	
25	2004	8.5	8.7	8.7	7.6	7.5	2.8	2.9	3.1	6.0	7.6	8.7	8.7	
26	2005	8.8	9.1	8.9	7.0	3.7	2.7	2.2	3.6	6.0	8.9	8.9	9.4	
27	2006	8.7	8.1	8.7	6.7	2.2	3.4	0.9	5.6	6.9	6.8	7.9	8.5	
28	2007	8.2	8.6	8.5	6.8	5.3	2.5	4.6	4.0	5.7	7.8	8.1	8.7	
29	2008	9.3	8.7	9.0	7.5	5.5	2.9	1.7	4.4	6.1	7.4	7.3	8.4	
30	2009	8.4	8.8	8.3	7.1	4.5	3.1	4.3	3.8	5.8	6.0	9.2	9.1	
31	2010	8.3	7.5	7.3	6.8	7.0	4.4	0.8	2.5	6.3	7.3	7.0	6.8	
32	2011	7.4	8.3	8.0	6.8	3.6	4.2	3.4	6.3	7.1	7.2	7.1	7.5	
33	2012	7.3	8.2	7.9	7.2	3.4	2.1	1.5	1.8	5.6	7.7	8.7	9.0	
34	2013	8.1	9.0	8.7	5.2	4.1	3.0	1.4	2.8	4.9	7.3	8.1	8.2	
35	2014	7.9	8.1	7.9	6.0	4.1	2.5	2.3	2.4	6.6	7.3	8.0	8.6	
36	2015	8.4	8.3	8.3	7.2	5.3	2.6	0.6	2.9	5.9	7.3	8.7	8.3	
37	2016	9.1	9.7	8.2	6.8	3.6	1.9	1.8	4.0	5.1	8.0	7.5	8.1	
38	2017	9.1	8.6	8.9	7.9	5.9	3.1	1.7	3.8	7.2	7.1	8.4	9.2	
39	2018	8.6	9.3	8.7	6.6	3.0	2.2	1.3	4.2	5.8	8.6	9.2	7.7	
40	2019	9.3	9.4	9.3	7.0	4.2	2.1	1.8	1.8	6.2	7.7	8.7	9.0	
41	2020	8.5	10.1	8.4	6.6	6.2	2.8	1.4	0.4	6.6	7.1	7.6	8.7	
42	2021	9.3	8.7	8.0	6.4	2.9	3.1	0.6	3.1	5.9	7.4	8.9	8.9	
43	2022	8.1	8.7	8.0	5.8	3.3	1.0	0.5	2.9	6.0	7.0	6.9	8.0	
	<b>Prom Tmín</b>	<b>8.3</b>	<b>8.7</b>	<b>8.3</b>	<b>6.8</b>	<b>4.3</b>	<b>2.7</b>	<b>1.9</b>	<b>3.4</b>	<b>6.1</b>	<b>7.3</b>	<b>8.0</b>	<b>8.3</b>	

### Anexo J8. Temperatura mensual de la Estación Perayoc (°C)- Datos completos

NOMBRE:		ESTACION LUIS OLAZO OLIVERA					TIPO:		CONVENCIONAL - METEOROLOGICA				
LATITUD:		13°31'16"					REGIÓN:		CUSCO				
LONGITUD:		71°57'53"					PROVINCIA:		CUSCO				
ALTITUD:		3365 msnm					DISTRITO:		CUSCO				
PARAMETRO:		TEMPERATURA MINIMA					PERIODO:		1980 - 2022				
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1980	7.9	6.9	7.3	4.6	2.9	1.2	1.4	3.5	4.2	6.7	6.2	6.6
2	1981	7.2	7.4	6.9	5.2	3.4	1.2	0.3	2.5	4.2	6.3	8.0	7.4
3	1982	7.6	7.2	7.2	5.3	1.2	1.4	1.6	2.8	5.1	7.3	7.5	7.3
4	1983	8.6	8.3	8.1	7.1	4.4	2.4	2.4	4.2	6.0	6.5	7.6	7.1
5	1984	7.4	7.6	7.1	5.8	3.0	2.6	0.9	2.7	3.6	6.0	6.5	6.7
6	1985	7.4	7.4	7.7	6.5	3.9	0.6	0.2	2.1	4.3	5.7	6.6	8.2
7	1986	7.2	7.6	7.2	6.0	2.6	0.5	1.0	3.4	5.6	5.9	6.6	8.8
8	1987	7.2	8.1	6.8	5.6	3.0	0.8	0.6	2.3	4.8	5.5	7.6	7.2
9	1988	7.7	6.4	7.8	6.3	3.5	0.0	0.2	1.5	5.6	6.6	6.3	6.4
10	1989	6.6	6.0	6.3	5.5	4.3	4.0	2.3	4.2	6.1	6.5	5.8	7.6
11	1990	7.2	5.8	5.8	5.4	3.1	1.7	2.4	0.5	3.5	6.0	6.5	7.5
12	1991	7.6	7.0	7.3	5.2	3.0	1.9	-0.6	0.0	2.6	5.7	6.1	5.0
13	1992	6.3	7.0	6.1	4.8	2.6	0.5	1.0	2.5	5.5	3.8	6.9	7.1
14	1993	7.5	7.6	6.4	6.2	2.2	-0.7	1.0	1.8	4.5	6.1	8.0	8.6
15	1994	7.8	8.1	6.9	6.0	3.1	-0.2	-0.1	-0.1	3.8	6.0	6.9	7.8
16	1995	7.8	8.1	7.6	6.0	2.7	2.0	2.4	3.0	3.7	5.5	6.1	6.0
17	1996	6.9	7.1	6.7	6.9	4.2	1.3	1.5	4.1	5.2	6.1	7.1	8.4
18	1997	8.1	6.4	6.4	3.9	2.4	0.7	0.9	3.3	6.6	7.9	6.9	8.1
19	1998	8.5	9.7	7.5	7.0	3.6	3.1	1.5	4.6	5.9	7.9	7.8	7.8
20	1999	8.5	7.8	7.7	6.1	4.4	1.9	0.7	2.6	5.3	6.3	6.2	7.4
21	2000	7.3	6.0	6.7	6.7	3.6	2.0	1.6	3.4	5.1	6.2	7.3	7.1
22	2001	7.8	7.3	7.6	5.7	4.0	2.1	2.0	1.3	5.1	7.9	8.6	7.2
23	2002	8.5	8.3	8.1	6.8	3.8	3.2	2.4	2.7	5.1	7.1	7.7	8.9
24	2003	8.0	8.4	8.2	6.7	4.9	1.2	0.0	3.0	4.2	7.2	6.6	7.0
25	2004	7.4	6.8	7.8	6.7	4.1	3.6	3.0	3.4	6.6	8.1	9.2	7.0
26	2005	8.7	8.7	9.1	6.7	4.1	2.2	2.2	3.1	5.1	6.1	6.7	8.5
27	2006	7.9	9.0	8.7	5.9	3.3	4.0	0.6	3.5	5.0	7.3	7.4	7.5
28	2007	9.0	8.7	7.7	6.8	5.5	2.2	2.5	4.1	4.9	6.0	7.7	6.3
29	2008	9.5	9.2	6.8	6.7	5.8	4.3	4.3	5.0	5.4	7.4	7.4	8.4
30	2009	9.8	7.1	7.1	7.7	5.6	3.2	3.4	3.9	5.3	7.1	9.0	9.3
31	2010	10.3	10.4	10.1	8.1	7.5	6.0	5.5	6.7	9.0	9.2	9.6	9.6
32	2011	9.9	9.9	10.0	8.5	4.5	3.1	4.2	5.5	7.7	8.2	8.8	7.5
33	2012	7.3	7.3	7.1	6.7	3.7	2.3	1.5	2.4	4.8	6.7	8.0	7.8
34	2013	7.4	8.5	8.3	5.4	4.5	2.5	2.0	3.0	4.3	6.1	6.5	6.9
35	2014	6.8	6.4	6.4	6.1	4.2	2.7	2.6	3.4	6.1	6.9	7.8	8.2
36	2015	7.9	7.5	7.5	6.8	4.8	3.2	1.8	3.0	5.4	6.5	7.7	7.2
37	2016	8.4	8.7	7.7	6.6	3.6	1.9	1.5	3.4	4.9	6.1	6.5	6.9
38	2017	8.4	6.8	6.4	6.9	4.3	2.9	1.2	4.1	5.4	6.9	6.3	6.6
39	2018	7.3	7.9	8.2	6.9	4.6	1.1	1.2	2.1	8.3	7.3	6.5	7.9
40	2019	8.2	6.5	6.0	5.1	5.6	2.0	2.0	5.6	4.8	6.6	8.1	7.7
41	2020	8.8	8.3	7.6	4.9	5.0	1.8	2.2	2.8	4.4	6.0	5.6	8.4
42	2021	6.9	5.8	6.6	6.9	3.3	2.9	1.6	2.1	5.4	7.1	7.3	8.4
43	2022	7.5	7.9	7.2	6.9	2.9	1.1	2.4	4.9	4.0	6.3	7.0	6.1
	<b>Prom Tmín</b>	<b>7.9</b>	<b>7.7</b>	<b>7.4</b>	<b>6.2</b>	<b>3.9</b>	<b>2.1</b>	<b>1.7</b>	<b>3.1</b>	<b>5.2</b>	<b>6.6</b>	<b>7.2</b>	<b>7.5</b>

## Anexo K. Caudales medios mensuales observados (m3/s)- Formato

### SWAT

Orden	FLOW_OUT_MES_AÑO	Valor	Orden	FLOW_OUT_MES_AÑO	Valor
1	FLOW_OUT_1_2003	95.869	79	FLOW_OUT_7_2009	13.478
2	FLOW_OUT_2_2003	97.487	80	FLOW_OUT_8_2009	46.171
3	FLOW_OUT_3_2003	101.801	81	FLOW_OUT_9_2009	46.764
4	FLOW_OUT_4_2003	70.512	82	FLOW_OUT_10_2009	21.467
5	FLOW_OUT_5_2003	40.087	83	FLOW_OUT_11_2009	50.309
6	FLOW_OUT_6_2003	29.566	84	FLOW_OUT_12_2009	69.455
7	FLOW_OUT_7_2003	24.070	85	FLOW_OUT_1_2010	142.560
8	FLOW_OUT_8_2003	18.578	86	FLOW_OUT_2_2010	197.861
9	FLOW_OUT_9_2003	18.461	87	FLOW_OUT_3_2010	139.892
10	FLOW_OUT_10_2003	23.082	88	FLOW_OUT_4_2010	90.982
11	FLOW_OUT_11_2003	28.658	89	FLOW_OUT_5_2010	31.886
12	FLOW_OUT_12_2003	59.128	90	FLOW_OUT_6_2010	18.859
13	FLOW_OUT_1_2004	102.726	91	FLOW_OUT_7_2010	17.329
14	FLOW_OUT_2_2004	95.332	92	FLOW_OUT_8_2010	13.305
15	FLOW_OUT_3_2004	66.678	93	FLOW_OUT_9_2010	13.374
16	FLOW_OUT_4_2004	48.936	94	FLOW_OUT_10_2010	14.756
17	FLOW_OUT_5_2004	28.051	95	FLOW_OUT_11_2010	19.623
18	FLOW_OUT_6_2004	18.274	96	FLOW_OUT_12_2010	67.846
19	FLOW_OUT_7_2004	21.103	97	FLOW_OUT_1_2011	107.320
20	FLOW_OUT_8_2004	18.127	98	FLOW_OUT_2_2011	141.970
21	FLOW_OUT_9_2004	16.379	99	FLOW_OUT_3_2011	110.680
22	FLOW_OUT_10_2004	26.991	100	FLOW_OUT_4_2011	83.747
23	FLOW_OUT_11_2004	38.772	101	FLOW_OUT_5_2011	27.945
24	FLOW_OUT_12_2004	60.799	102	FLOW_OUT_6_2011	17.218
25	FLOW_OUT_1_2005	63.865	103	FLOW_OUT_7_2011	11.720
26	FLOW_OUT_2_2005	92.221	104	FLOW_OUT_8_2011	10.922
27	FLOW_OUT_3_2005	83.136	105	FLOW_OUT_9_2011	16.361
28	FLOW_OUT_4_2005	59.256	106	FLOW_OUT_10_2011	20.638
29	FLOW_OUT_5_2005	28.632	107	FLOW_OUT_11_2011	26.656
30	FLOW_OUT_6_2005	21.234	108	FLOW_OUT_12_2011	57.282
31	FLOW_OUT_7_2005	14.180	109	FLOW_OUT_1_2012	81.923
32	FLOW_OUT_8_2005	13.466	110	FLOW_OUT_2_2012	111.726
33	FLOW_OUT_9_2005	14.141	111	FLOW_OUT_3_2012	82.651
34	FLOW_OUT_10_2005	22.512	112	FLOW_OUT_4_2012	50.211
35	FLOW_OUT_11_2005	33.664	113	FLOW_OUT_5_2012	22.715
36	FLOW_OUT_12_2005	49.467	114	FLOW_OUT_6_2012	17.162
37	FLOW_OUT_1_2006	92.455	115	FLOW_OUT_7_2012	13.672
38	FLOW_OUT_2_2006	80.446	116	FLOW_OUT_8_2012	13.312
39	FLOW_OUT_3_2006	79.448	117	FLOW_OUT_9_2012	12.693
40	FLOW_OUT_4_2006	67.972	118	FLOW_OUT_10_2012	14.478
41	FLOW_OUT_5_2006	24.489	119	FLOW_OUT_11_2012	32.217
42	FLOW_OUT_6_2006	11.906	120	FLOW_OUT_12_2012	71.740
43	FLOW_OUT_7_2006	3.189	121	FLOW_OUT_1_2013	164.712
44	FLOW_OUT_8_2006	2.524	122	FLOW_OUT_2_2013	149.430

45	FLOW_OUT_9_2006	2.706	123	FLOW_OUT_3_2013	89.813
46	FLOW_OUT_10_2006	15.527	124	FLOW_OUT_4_2013	44.102
47	FLOW_OUT_11_2006	39.710	125	FLOW_OUT_5_2013	24.179
48	FLOW_OUT_12_2006	68.487	126	FLOW_OUT_6_2013	13.097
49	FLOW_OUT_1_2007	86.581	127	FLOW_OUT_7_2013	8.984
50	FLOW_OUT_2_2007	84.794	128	FLOW_OUT_8_2013	8.509
51	FLOW_OUT_3_2007	92.732	129	FLOW_OUT_9_2013	11.377
52	FLOW_OUT_4_2007	67.594	130	FLOW_OUT_10_2013	36.993
53	FLOW_OUT_5_2007	32.477	131	FLOW_OUT_11_2013	62.577
54	FLOW_OUT_6_2007	21.079	132	FLOW_OUT_12_2013	123.879
55	FLOW_OUT_7_2007	16.160	133	FLOW_OUT_1_2014	106.338
56	FLOW_OUT_8_2007	13.169	134	FLOW_OUT_2_2014	126.606
57	FLOW_OUT_9_2007	13.568	135	FLOW_OUT_3_2014	111.881
58	FLOW_OUT_10_2007	20.692	136	FLOW_OUT_4_2014	90.291
59	FLOW_OUT_11_2007	24.019	137	FLOW_OUT_5_2014	35.203
60	FLOW_OUT_12_2007	45.886	138	FLOW_OUT_6_2014	15.191
61	FLOW_OUT_1_2008	85.218	139	FLOW_OUT_7_2014	7.143
62	FLOW_OUT_2_2008	94.974	140	FLOW_OUT_8_2014	5.699
63	FLOW_OUT_3_2008	84.373	141	FLOW_OUT_9_2014	8.957
64	FLOW_OUT_4_2008	47.434	142	FLOW_OUT_10_2014	10.807
65	FLOW_OUT_5_2008	27.227	143	FLOW_OUT_11_2014	15.087
66	FLOW_OUT_6_2008	18.479	144	FLOW_OUT_12_2014	47.598
67	FLOW_OUT_7_2008	14.004	145	FLOW_OUT_1_2015	75.036
68	FLOW_OUT_8_2008	12.991	146	FLOW_OUT_2_2015	130.085
69	FLOW_OUT_9_2008	14.534	147	FLOW_OUT_3_2015	83.143
70	FLOW_OUT_10_2008	21.460	148	FLOW_OUT_4_2015	70.505
71	FLOW_OUT_11_2008	31.814	149	FLOW_OUT_5_2015	40.369
72	FLOW_OUT_12_2008	73.655	150	FLOW_OUT_6_2015	20.677
73	FLOW_OUT_1_2009	106.789	151	FLOW_OUT_7_2015	13.011
74	FLOW_OUT_2_2009	88.338	152	FLOW_OUT_8_2015	8.501
75	FLOW_OUT_3_2009	90.666	153	FLOW_OUT_9_2015	10.065
76	FLOW_OUT_4_2009	62.485	154	FLOW_OUT_10_2015	12.020
77	FLOW_OUT_5_2009	26.169	155	FLOW_OUT_11_2015	26.155
78	FLOW_OUT_6_2009	16.343	156	FLOW_OUT_12_2015	47.899

Nota: Obtenido a partir de SWAT-CUP

## Anexo L. Caudales calibrados y caudales validados (m3/s)

### Anexo L1. Caudales calibrados en SWAT-CUP

Mes	Año	Caudales observados (m3/s)	Caudales calibrados (2003-2015) (m3/s)	Mes	Año	Caudales observados (m3/s)	Caudales calibrados (2003-2015) (m3/s)
1	2003	95.87	100.8	7	2009	13.48	12.78
2	2003	97.49	117.1	8	2009	46.17	10.16
3	2003	101.80	102	9	2009	46.76	7.861
4	2003	70.51	54.19	10	2009	21.47	6.368
5	2003	40.09	32.24	11	2009	50.31	42.97
6	2003	29.57	21.19	12	2009	69.45	59.32
7	2003	24.07	14.43	1	2010	142.56	151.5
8	2003	18.58	12.23	2	2010	197.86	105.2
9	2003	18.46	10.81	3	2010	139.89	112.3
10	2003	23.08	11.15	4	2010	90.98	44.8
11	2003	28.66	12.63	5	2010	31.89	28.9
12	2003	59.13	26.71	6	2010	18.86	19.71
1	2004	102.73	117.4	7	2010	17.33	14.42
2	2004	95.33	94.43	8	2010	13.30	11.06
3	2004	66.68	56.37	9	2010	13.37	9.119
4	2004	48.94	39.04	10	2010	14.76	9.201
5	2004	28.05	28.08	11	2010	19.62	11.3
6	2004	18.27	20.46	12	2010	67.85	47.64
7	2004	21.10	20.37	1	2011	107.32	99.21
8	2004	18.13	16.67	2	2011	141.97	173.4
9	2004	16.38	15.94	3	2011	110.68	115
10	2004	26.99	20.58	4	2011	83.75	87.22
11	2004	38.77	30.61	5	2011	27.94	31.88
12	2004	60.80	44.22	6	2011	17.22	23.03
1	2005	63.86	43.48	7	2011	11.72	19.19
2	2005	92.22	98.52	8	2011	10.92	14.35
3	2005	83.14	76.64	9	2011	16.36	12.34
4	2005	59.26	45.5	10	2011	20.64	11.73
5	2005	28.63	27.04	11	2011	26.66	16.14
6	2005	21.23	17.9	12	2011	57.28	61.54
7	2005	14.18	12.52	1	2012	81.92	96.81
8	2005	13.47	9.521	2	2012	111.73	138.2
9	2005	14.14	7.789	3	2012	82.65	76
10	2005	22.51	6.18	4	2012	50.21	37.22
11	2005	33.66	5.881	5	2012	22.72	26.79
12	2005	49.47	21.13	6	2012	17.16	17.5
1	2006	92.45	87.43	7	2012	13.67	12.6
2	2006	80.45	85.63	8	2012	13.31	9.575
3	2006	79.45	95.64	9	2012	12.69	7.657
4	2006	67.97	61.8	10	2012	14.48	7.662

5	2006	24.49	29.1	11	2012	32.22	11.8	
6	2006	11.91	20.08	12	2012	71.74	115.8	
7	2006	3.19	13.63	1	2013	164.71	131.8	
8	2006	2.52	10.23	2	2013	149.43	152.6	
9	2006	2.71	10.35	3	2013	89.81	98.49	
10	2006	15.53	16.44	4	2013	44.10	45.62	
11	2006	39.71	39.76	5	2013	24.18	29.53	
12	2006	68.49	80.59	6	2013	13.10	21.78	
1	2007	86.58	93.82	7	2013	8.98	15	
2	2007	84.79	77.79	8	2013	8.51	12.61	
3	2007	92.73	92.36	9	2013	11.38	11.47	
4	2007	67.59	55.52	10	2013	36.99	18.35	
5	2007	32.48	31.69	11	2013	62.58	40.4	
6	2007	21.08	20.81	12	2013	123.88	109.2	
7	2007	16.16	14.04	1	2014	106.34	126.4	
8	2007	13.17	10.98	2	2014	126.61	112.8	
9	2007	13.57	8.669	3	2014	111.88	68.52	
10	2007	20.69	7.622	4	2014	90.29	46.59	
11	2007	24.02	9.676	5	2014	35.20	29.36	
12	2007	45.89	27.7	6	2014	15.19	21.04	
1	2008	85.22	84.97	7	2014	7.14	14.62	
2	2008	94.97	108.3	8	2014	5.70	14.09	
3	2008	84.37	72.67	9	2014	8.96	12.09	
4	2008	47.43	36.09	10	2014	10.81	11.17	
5	2008	27.23	26.4	11	2014	15.09	9.561	
6	2008	18.48	19.35	12	2014	47.60	30.38	
7	2008	14.00	15.49	1	2015	75.04	89.67	
8	2008	12.99	11.48	2	2015	130.09	143.5	
9	2008	14.53	8.784	3	2015	83.14	92.1	
10	2008	21.46	10.24	4	2015	70.50	89.23	
11	2008	31.81	16.51	5	2015	40.37	35.45	
12	2008	73.66	89.5	6	2015	20.68	26.49	
1	2009	106.79	105.9	7	2015	13.01	18.03	
2	2009	88.34	104.6	8	2015	8.50	13.92	
3	2009	90.67	80.03	9	2015	10.06	11.48	
4	2009	62.48	42.48	10	2015	12.02	10.64	
5	2009	26.17	28.04	11	2015	26.15	19.22	
6	2009	16.34	18.35					
							<b>R2</b>	0.86
							<b>NSE</b>	0.84
							<b>PBIAS</b>	8.14

## Anexo L2. Caudales validados en SWAT-CUP

Mes	Año	Caudales observados (m3/s)	Caudales validados (2016-2022) (m3/s)	Mes	Año	Caudales observados (m3/s)	Caudales validados (2016-2022) (m3/s)
1	2016	55.84	75.44	7	2019	19.03	20.02
2	2016	79.12	96.37	8	2019	13.82	13.62
3	2016	57.02	50.11	9	2019	15.04	10.31
4	2016	53.73	32.76	10	2019	26.47	17.08
5	2016	27.97	27	11	2019	57.48	46.78
6	2016	19.56	19.19	12	2019	137.35	101.1
7	2016	10.30	14.6	1	2020	102.02	106.1
8	2016	9.61	11.61	2	2020	117.47	164.7
9	2016	17.69	9.16	3	2020	99.14	88.83
10	2016	20.65	8.43	4	2020	77.46	41.17
11	2016	21.19	16.78	5	2020	38.63	28.58
12	2016	26.44	59.21	6	2020	19.85	21.9
1	2017	73.42	87.77	7	2020	14.71	14.41
2	2017	90.96	98.49	8	2020	14.63	10.46
3	2017	104.00	64.6	9	2020	14.54	7.442
4	2017	58.41	34.54	10	2020	18.29	8.469
5	2017	25.61	26.8	11	2020	24.49	8.336
6	2017	21.22	18.41	12	2020	56.11	50.08
7	2017	18.01	13.91	1	2021	98.51	92.54
8	2017	16.69	11.66	2	2021	123.19	112.5
9	2017	22.15	9.761	3	2021	114.42	63.12
10	2017	25.65	14.39	4	2021	58.19	37.54
11	2017	29.42	27.67	5	2021	26.24	27.86
12	2017	40.03	95.48	6	2021	18.50	19.25
1	2018	74.25	136.7	7	2021	15.36	13.56
2	2018	110.71	153.5	8	2021	13.87	9.807
3	2018	95.41	41.87	9	2021	19.53	8.31
4	2018	49.20	29.36	10	2021	25.58	7.934
5	2018	32.90	25.85	11	2021	42.35	50.25
6	2018	23.99	20.3	12	2021	88.33	77.69
7	2018	21.24	18.05	1	2022	60.15	120.2
8	2018	19.19	14.15	2	2022	80.06	130.4
9	2018	17.14	34.85	3	2022	80.34	106.3
10	2018	41.24	51	4	2022	38.67	38.08
11	2018	55.48	50.07	5	2022	28.63	25.95
12	2018	45.71	102.4	6	2022	19.91	17.19
1	2019	96.41	185.5	7	2022	24.62	13.23
2	2019	136.83	114.3	8	2022	25.44	10.81
3	2019	107.75	43.58	9	2022	23.77	9.015
4	2019	63.95	34.81	10	2022	24.81	7.291
5	2019	39.31	26.12	11	2022	33.85	6.495
6	2019	24.81	9.163	12	2022	31.19	15.58

<b>R2</b>	<b>0.82</b>
<b>NSE</b>	<b>0.71</b>
<b>PBIAS</b>	<b>4.22</b>

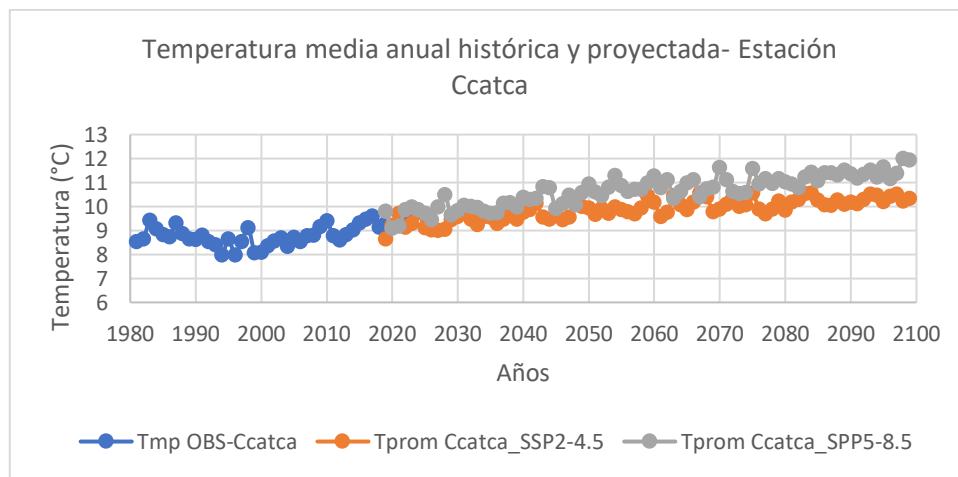
## Anexo M. Proyecciones de las estaciones meteorológicas

### Anexo M1. Temperatura proyectada

A continuación, se presentan las tendencias históricas y proyecciones futuras de la temperatura media anual correspondiente a las 4 estaciones meteorológicas de la cuenca:

#### Figura 153

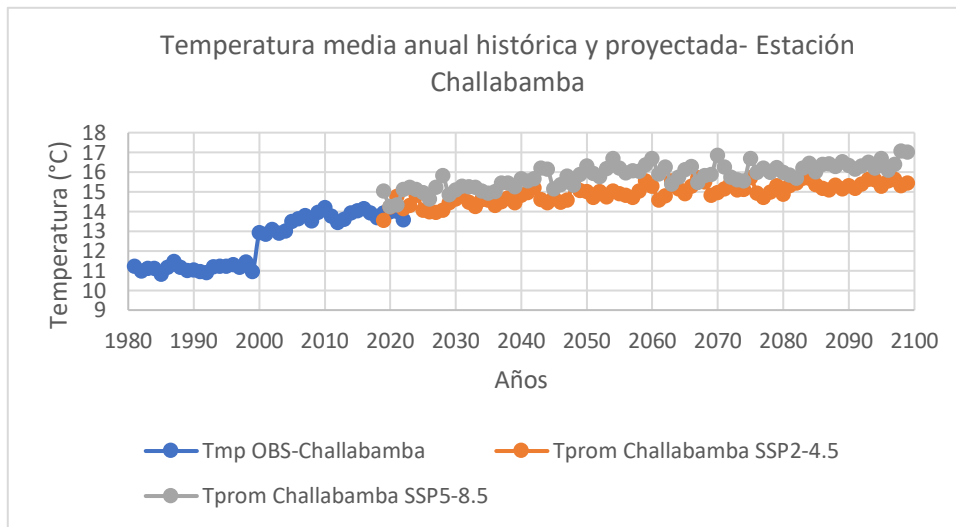
*Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Ccatca*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 154**

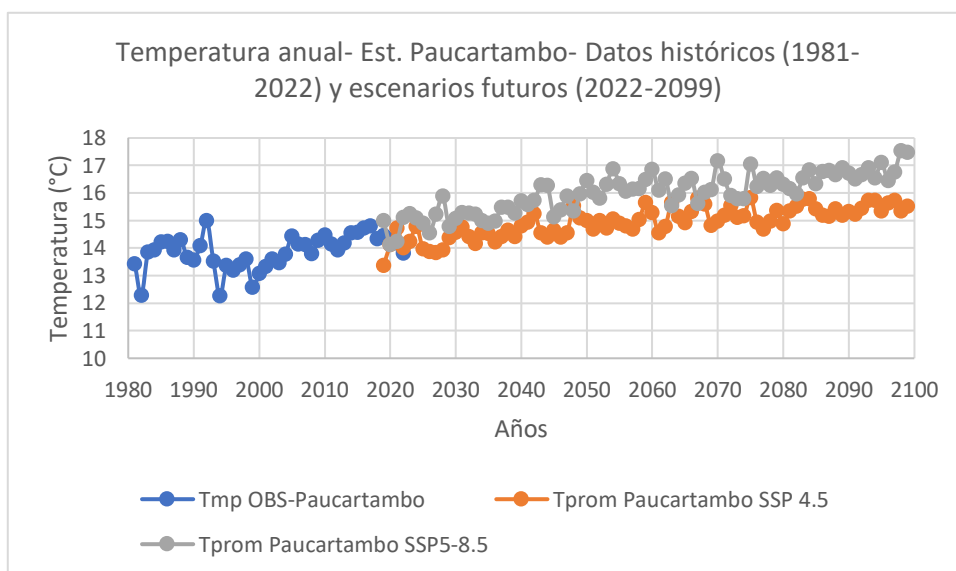
*Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Challabamba*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 155**

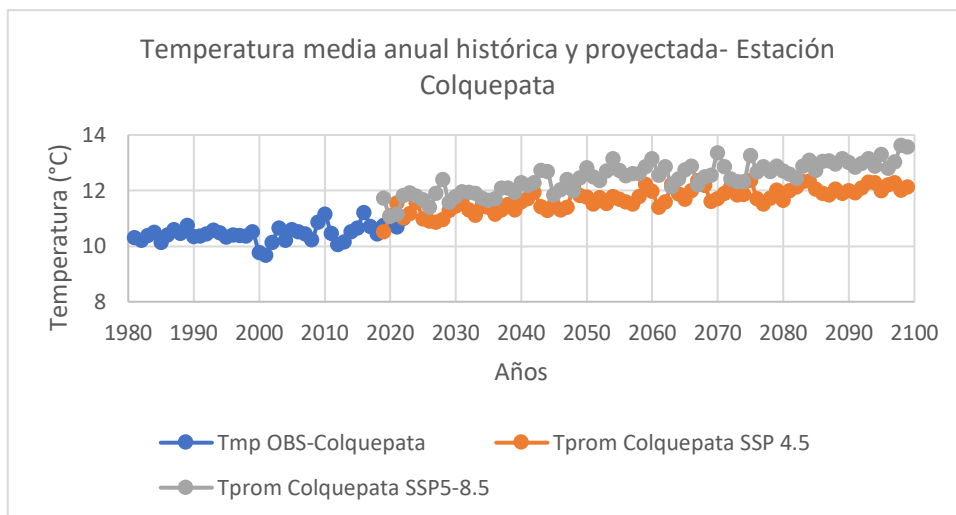
*Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Paucartambo*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 156**

*Temperatura media anual histórica (1981-2022) y temperatura proyectada (2023-2099) en escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5- Estación Colquepata*



*Nota.* Elaboración propia.

En las figuras precedentes se observa un incremento de la temperatura a lo largo de los años en cada una de las 4 estaciones meteorológicas que se encuentra dentro de la cuenca.

## **Anexo N. Imágenes de la zona de estudio**

**Foto 1**

*Vista del río Mapacho- Sector Chacllabamba*



**Foto 2**

*Visita a la zona de estudio*



**Foto 3**

*Proceso de extracción de agua para la medición de calidad de agua*



**Foto 4**

*Extracción de agua para análisis de calidad*

