

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE CAUDALES EMPLEANDO LOS
MODELOS HIDROLÓGICOS SACRAMENTO Y GÉNIE RURAL Á 4
PARAMÉTRIS JOURNALIER EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA
DEL KM 105, CUSCO 2025**

PRESENTADO POR:

Br. HEBERT ALEXANDER LUNA
CALACHAHUIN

Br. VLADIMIR RIVALDO PAQUILLO
SINCHI

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

ASESOR:

Ing. ROMULO RIVERA QUIROGA

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el **Asesor** **ROMULO RIVERA QUIROGA**
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: **"ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE CAUDALES EMPLEANDO
LOS MODELOS HIDROLÓGICOS SACRAMENTO Y GÉNIE RURAL Á 4 PARAMÉTRIS JOURNALIER
EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA DEL KM 105, CUSCO 2025"**

Presentado por: **HEBERT ALEXANDER LUNA CALACHAHUIN** DNI N° **75845244**
presentado por: **VLADIMIR RIVALDO PAQUILLO SINCHI** DNI N°: **74153055**
Para optar el título Profesional/Grado Académico de **INGENIERO CIVIL**

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **2** veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **09** %.

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

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

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

Cusco, ... **18** de **AGOSTO** de 20..... **26**

.....
Firma

Post firma..... **ROMULO RIVERA QUIROGA**

Nro. de DNI..... **23828120**

ORCID del Asesor..... **0009-0003-7757-8660**

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** **27259:614955062**

Hebert A Luna C - Vladimir R Paquillo S

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE CAUDALES EMPLEANDO LOS MODELOS HIDROLÓGICOS SACRAMENTO Y GÉNEIE RURAL Á ...



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:614955062

Fecha de entrega

17 ago 2026, 11:24 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 ago 2026, 11:28 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis_Analisis_Simulacion_Caudales_Sacramento_GR4J_Km105_Luna_Paquillo.pdf

Tamaño del archivo

25.8 MB

389 páginas

113.110 palabras

484.446 caracteres

9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

Dedicatoria

A mis padres, Hebert y Alejandrina, por su amor, apoyo incondicional y todos sus sacrificios, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, Max y Thiago, por ser mis mejores compañeros, sus bromas y su apoyo constante fueron un aspecto esencial durante este largo camino. A mi pareja, Marian, por ser mi compañera en todo esto, gracias por tu paciencia infinita, por escucharme y por animarme a seguir adelante cada día, tu confianza en mí fue fundamental. A mi compañero de tesis, Paquillo, por ser mi compañero en todo este camino y no rendirse. Y, por último, a todos los que me acompañaron de alguna forma en este proceso, a los amigos, profesores y colegas que, con sus consejos, ideas o simplemente una palabra a tiempo, contribuyeron a que esta tesis se hiciera realidad.

Hebert Alexander Luna Calachahuin

Dedico esta tesis a mi madre, Silvia, por ser el pilar de mi vida, por su amor infinito, su sacrificio incansable y por enseñarme que con esfuerzo y fe todo es posible. A mi familia, por su amor, comprensión y paciencia en los momentos más difíciles, y por acompañarme en cada paso de este camino. A mis amigos, por su amistad y por creer en mí. Su amistad ha sido un impulso constante para seguir adelante. Con gratitud, les dedico este logro.

Vladimir Rivaldo Paquillo Sinchi

Agradecimientos

A Dios, por ser nuestro guía en cada paso, por darnos la fortaleza en los momentos difíciles y bendecirnos con la oportunidad de culminar esta meta.

A nuestros padres y familia en general, por su amor incondicional, por su apoyo constante y por ser el motor que nos impulsa a no rendirnos. Su paciencia, sacrificio y confianza han sido fundamentales en este camino.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Facultad de Ingeniería Civil, por brindarnos la formación, el conocimiento y los valores que hicieron posible la culminación de esta etapa académica.

A nuestro asesor, Ing. Rómulo Rivera Quiroga, por su orientación, dedicación y valiosas sugerencias durante el desarrollo de esta investigación. Su guía académica fue fundamental para la culminación exitosa de este trabajo.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, por su dedicación, compromiso y por compartir sus conocimientos y experiencias, que fueron esenciales en mi formación profesional y personal.

Y finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto se haga realidad. A todos, nuestro más sincero agradecimiento.

Los autores

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xxxii
ABSTRACT.....	xxxiii
INTRODUCCIÓN	xxxiv
Capítulo I: Planteamiento del problema	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación	4
1.4.1. Justificación por relevancia	4
1.4.2. Justificación por viabilidad	4
1.4.3. Justificación técnica	5
1.4.4. Justificación social	5
1.5. Limitaciones de la investigación	6
1.6. Delimitación de la investigación	7
1.6.1. Delimitación espacial	7

1.6.2.	Delimitación temporal.....	9
1.6.3.	Delimitación teórica	10
Capítulo II: Marco Teórico Conceptual		11
2.1.	Bases teóricas	11
2.1.1.	Hidrología y ciclo hidrológico	11
2.1.1.1.	Temperatura	13
2.1.1.2.	Evaporación.....	13
2.1.1.3.	Evapotranspiración.....	14
2.1.1.4.	Precipitación.....	15
2.1.1.4.1.	Precipitación de convección	15
2.1.1.4.2.	Precipitación orográfica	16
2.1.1.4.3.	Precipitación ciclónica	17
2.1.1.5.	Infiltración	18
2.1.1.6.	Escurrimiento superficial	19
2.1.1.7.	Flujo subterráneo	20
2.1.2.	Cuenca hidrográfica	21
2.1.2.1.	Partes de la cuenca	22
2.1.2.1.1.	Parte alta.....	22
2.1.2.1.2.	Parte media.....	22
2.1.2.1.3.	Parte baja.....	23

2.1.2.2. Geomorfología de la cuenca	23
2.1.2.2.1. Área de drenaje	23
2.1.2.2.2. Longitud de la cuenca	24
2.1.2.2.3. Pendiente de la cuenca	24
2.1.2.2.4. Forma de la cuenca	24
2.1.2.2.5. Altitud de la cuenca	25
2.1.2.2.6. Curva hipsométrica	25
2.1.2.2.7. Frecuencia de altitudes.....	25
2.1.2.2.8. Coeficiente de compacidad	26
2.1.2.3. Rectángulo equivalente	27
2.1.3. Modelos Hidrológicos	28
2.1.3.1. Elementos de los modelos hidrológicos	30
2.1.3.2. Clasificación de los modelos hidrológicos	31
2.1.3.2.1. Modelo empírico	32
2.1.3.2.2. Modelo de base física.....	32
2.1.3.2.3. Modelo conceptual.....	33
2.1.3.2.4. Modelos determinísticos	33
2.1.3.2.5. Modelos estocásticos	33
2.1.3.2.6. Modelos agregados	34
2.1.3.2.7. Modelos distribuidos.....	34

2.1.3.2.8. Modelos semidistribuidos	34
2.1.3.3. Validación del modelo	35
2.1.3.4. Proceso de modelación hidrológica.....	35
2.1.3.5. Análisis de sensibilidad	36
2.1.4. Proceso de modelación hidrológica.....	36
2.1.4.1. Sistema de modelación hidrológica RS Minerve	38
2.1.5. Modelos hidrológicos aplicados.....	39
2.1.5.1. Modelo Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier (GR4J).....	40
2.1.5.2. Modelo Sacramento (SAC-SMA)	43
2.1.6. Importancia de la simulación de caudales.....	47
2.2. Marco conceptual	48
2.3. Antecedentes empíricos de la investigación.....	53
2.3.1. Antecedentes locales	53
2.3.2. Antecedentes nacionales	54
2.3.3. Antecedentes internacionales	55
Capítulo III: Hipótesis y variables	56
3.1. Hipótesis	56
3.1.1. Hipótesis General	56
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	56
3.2. Identificación de Variables e Indicadores	56

3.2.1.	Variables independientes	56
3.2.2.	Variables dependientes	57
3.3.	Operacionalización de variables	60
Capítulo IV: Metodología		61
4.1.	Ámbito de estudio: localización política y geográfica	61
4.2.	Tipo y nivel de investigación.....	63
4.2.1.	Tipo de investigación	63
4.2.2.	Nivel de estudio y alcance de la investigación.....	64
4.2.3.	Diseño de la investigación.....	65
4.3.	Unidad de análisis.....	66
4.4.	Población de estudio	66
4.5.	Tamaño de muestra	67
4.5.1.	Cuantificación de la muestra	67
4.6.	Técnicas de selección de muestra	68
4.7.	Técnicas de recolección de información	70
4.7.1.	Obtención de datos	70
4.7.1.1.	Información cartográfica	70
4.7.1.2.	Información de tipo de suelos	72
4.7.1.3.	Información de cobertura y uso de suelos	73
4.7.1.4.	Información de campo	74

4.7.1.5. Información hidrometeorológica	77
4.7.2. Softwares utilizados	81
4.7.2.1. Software R	81
4.7.2.2. RS Minerve.....	81
4.7.2.3. HEC-HMS	81
4.7.2.4. QGIS.....	82
4.7.2.5. Microsoft Excel	82
4.7.2.6. Google Earth Pro	83
4.7.2.7. Statgraphics	83
4.7.2.8. Microsoft Word.....	84
4.8. Técnicas de análisis e interpretación de la información	84
4.8.1. Determinación del Modelo digital de elevación	84
4.8.2. Determinación de parámetros relacionados con el Tipo de suelos	92
4.8.3. Determinación de parámetros relacionados con Cobertura y Uso de suelos	93
4.8.4. Determinación de parámetros relacionados con el trabajo en campo	94
4.8.5. Determinación de datos climatológicos	95
4.8.6. Determinación de la consistencia de los datos de entrada	100
4.8.6.1. Análisis de Regresión Simple.....	100
4.8.6.2. Análisis de Doble Masa.....	102
4.8.7. Sistema de Modelación Hidrológica a RS Minerve	103

4.8.8.	Salida de datos de simulación del modelo	109
4.8.9.	Flujograma de la investigación	114
4.9.	Calibración y Validación.....	115
4.9.1.	Calibración	117
4.9.1.1.	Modelo GR4J	121
4.9.1.2.	Modelo SAC-SMA.....	123
4.9.2.	Validación.....	124
4.10.	Análisis de sensibilidad.....	124
4.11.	Simulación de caudales complementaria (2017–2024)	125
4.12.	Metodología para determinar la correlación entre caudales simulados	125
Capítulo V:	Resultados	126
5.1.	Parámetros de la cuenca de estudio	126
5.1.1.	Generalidades	126
5.1.2.	Parámetros fisiográficos	127
5.1.3.	Parámetros geomorfológicos de la cuenca	130
5.1.4.	Parámetros de red de drenaje	132
5.2.	Datos de entrada climáticas	133
5.2.1.	Estaciones meteorológicas	133
5.2.1.1.	Precipitación	133
5.2.1.2.	Temperatura	136

5.3. Modelo esquemático	139
5.4. Simulación del comportamiento hidrológico de las cuencas.....	140
5.4.1. Modelo GR4J	140
5.4.1.1. Sensibilidad del modelo GR4J	146
5.4.2. Modelo SAC-SMA.....	149
5.4.2.1. Sensibilidad del modelo SAC-SMA.....	153
5.5. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales observados y simulados	165
5.5.1. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales observados.....	165
5.5.2. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales simulados GR4J	174
5.5.3. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales simulados SAC - SMA.....	182
5.5.4. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados GR4J	190
5.5.5. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados SAC-SMA.....	195
5.6. Análisis comparativo del desempeño de los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J	200

5.7. Análisis complementario de los caudales observados y caudales simulados en el periodo 2017-2024.....	202
5.7.1. Datos de entrada.....	202
5.7.1.1. Precipitación.....	202
5.7.1.2. Temperatura.....	203
5.7.2. Comportamiento hidrológico.....	204
5.7.2.1. Modelo GR4J.....	204
5.7.2.2. Modelo SAC-SMA.....	205
5.7.3. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales.....	207
5.7.3.1. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales observados.....	207
5.7.3.2. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales simulados GR4J	209
5.7.3.3. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales simulados SAC – SMA.....	211
5.7.3.4. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados GR4J	213
5.7.3.5. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados SAC - SMA.....	215
Capítulo VI: Discusión de resultados.....	217
CONCLUSIONES.....	222

RECOMENDACIONES.....	224
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	226
ANEXOS	229
PLANOS DE MAPAS DE LA CUENCA DE ESTUDIO	348

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Parámetros y condiciones del modelo hidrológico GR4J</i>	43
Tabla 2. <i>Parámetros y condiciones del modelo SAC-SMA</i>	46
Tabla 3. <i>Condiciones iniciales del modelo SAC-SMA</i>	47
Tabla 4. <i>Cuadro de operacionalización de variables</i>	60
Tabla 5. <i>Ubicación política de las cuencas del río Vilcanota</i>	61
Tabla 6. <i>Subcuencas en la cuenca del río Vilcanota</i>	62
Tabla 7. <i>Estación hidrológica de la cuenca del río Vilcanota</i>	78
Tabla 8. <i>Estaciones virtuales meteorológicas de la cuenca del río Vilcanota</i>	79
Tabla 9. <i>Tipos de dato, resolución, fuente y enlace</i>	80
Tabla 10. <i>Áreas y elevaciones medias de cada subcuenca</i>	88
Tabla 11. <i>Longitud y pendiente de los cauces principales</i>	91
Tabla 12. <i>Clasificación de la pendiente según D.S. N° 017-2009-AG</i>	91
Tabla 13. <i>Parámetros SAC-SMA determinados con el Tipo de suelo</i>	94
Tabla 14. <i>Parámetros SAC-SMA determinados con la Cobertura-Uso de suelo</i>	95
Tabla 15. <i>Parámetros GR4J determinados con Tipo de suelo</i>	95
Tabla 16. <i>Parámetros GR4J determinados con la Cobertura-Uso de suelo</i>	95
Tabla 17. <i>Parámetros y condiciones iniciales para la estación virtual</i>	105
Tabla 18. <i>Indicadores de calibración</i>	120
Tabla 19. <i>Indicadores de eficiencia</i>	120
Tabla 20. <i>Área de las subcuencas</i>	127
Tabla 21. <i>Resumen de parámetros de la cuenca</i>	132
Tabla 22. <i>Ubicación de las 9 estaciones virtuales generadas en el producto PISCO</i>	134
Tabla 23. <i>Precipitaciones medias anuales del año 1981-2016 de las 9 estaciones</i>	134

Tabla 24. <i>Temperatura media anual de los años de 1981-2016 de las 9 estaciones</i>	136
Tabla 25. <i>Parámetros estadísticos (indicadores) del modelo GR4J, sin calibración</i>	141
Tabla 26. <i>Parámetros estadísticos del modelo GR4J, calibrado</i>	143
Tabla 27. <i>Parámetros calibrados del modelo GR4J para la cuenca del río Vilcanota</i>	145
Tabla 28. <i>Variación de los parámetros del modelo GR4J.....</i>	149
Tabla 29. <i>Parámetros estadísticos modelo SAC-SMA de la cuenca del río Vilcanota.....</i>	150
Tabla 30. <i>Parámetros calibrados del modelo SAC-SMA para la cuenca del río Pisco.....</i>	152
Tabla 31. <i>Variación de los parámetros del modelo SAC-SMA.....</i>	163
Tabla 32. <i>Promedio anual de caudales máximos y mínimos observados</i>	166
Tabla 33. <i>Datos promedio de caudales observados mensuales del año 1981-1987.....</i>	167
Tabla 34. <i>Datos promedio de caudales observados mensuales del año 1988-1994.....</i>	167
Tabla 35. <i>Datos promedio de caudales observados mensuales del año 1995-2001</i>	168
Tabla 36. <i>Datos promedio de caudales observados mensuales del año 2002-2008.....</i>	168
Tabla 37. <i>Datos promedio de caudales observados mensuales del año 2009-2016.....</i>	169
Tabla 38. <i>Resumen estadístico para Caudales Observados.....</i>	170
Tabla 39. <i>Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo GR4J.....</i>	174
Tabla 40. <i>Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 1981-1987.....</i>	176
Tabla 41. <i>Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 1988-1994.....</i>	176
Tabla 42. <i>Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 1995-2001</i>	177
Tabla 43. <i>Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 2002-2008.....</i>	177
Tabla 44. <i>Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 2009-2016.....</i>	178
Tabla 45. <i>Resumen estadístico para Caudales Simulados GR4J.....</i>	179
Tabla 46. <i>Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo SAC-SMA</i>	182

Tabla 47. <i>Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 1981-1987...</i>	184
Tabla 48. <i>Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 1988-1994...</i>	184
Tabla 49. <i>Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 1995-2001...</i>	185
Tabla 50. <i>Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 2002-2008...</i>	185
Tabla 51. <i>Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 2009-2016...</i>	186
Tabla 52. <i>Resumen estadístico para Caudales Simulados SAC-SMA.....</i>	187
Tabla 53. <i>Resumen Estadístico Caudales Observados vs Caudales Simulados GR4J</i>	191
Tabla 54. <i>Resumen Estadístico - Caudales observados vs Caudales simulados SAC-SMA</i>	195
Tabla 55. <i>Indicadores de desempeño de los modelos hidrológicos.....</i>	201
Tabla 56. <i>Precipitaciones medias anuales del año 2017-2024 de las 9 estaciones.....</i>	203
Tabla 57. <i>Temperaturas medias anuales del año 2017-2024 de las 9 estaciones.....</i>	203
Tabla 58. <i>Parámetros estadísticos (indicadores) del modelo GR4J, periodo complementario.</i>	205
Tabla 59. <i>Parámetros estadísticos (indicadores) del modelo SAC-SMA, periodo complementario</i>	206
Tabla 60. <i>Promedio anual de caudales máximos y mínimos observados del año 2017-2024 ..</i>	207
Tabla 61. <i>Datos promedio de caudales observados mensuales del año 2017-2024</i>	208
Tabla 62. <i>Resumen estadístico para Caudales Observados de los años 2017-2024</i>	208
Tabla 63. <i>Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo GR4J del año 2017-2024</i>	209
Tabla 64. <i>Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 2017-2024.....</i>	210
Tabla 65. <i>Resumen estadístico para Caudales Simulados GR4J de los años 2017-2024.....</i>	210
Tabla 66. <i>Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo SAC - SMA del año 2017-2024</i>	211
Tabla 67. <i>Datos promedio de caudales simulados SAC - SMA mensuales del año 2017-2024.</i>	212

Tabla 68. <i>Resumen estadístico para Caudales Simulados SAC - SMA de los años 2017-2024.</i>	212
Tabla 69. <i>Resumen Estadístico Caudales Observados vs Caudales Simulados GR4J de los años 2017-2024</i>	213
Tabla 70. <i>Resumen Estadístico Caudales Observados vs Caudales Simulados SAC - SMA de los años 2017-2024.....</i>	215
Tabla 71. <i>Análisis comparativo de parámetros estadísticos de calibración de modelos simulados</i>	220
Tabla 72. <i>Análisis comparativo de parámetros estadísticos de validación de modelos simulados</i>	221

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de ubicación de la estación Km 105</i>	8
Figura 2. <i>Representación del ciclo hidrológico</i>	12
Figura 3. <i>Precipitación por Convección</i>	16
Figura 4. <i>Precipitación Orográfica</i>	17
Figura 5. <i>Precipitación ciclónica</i>	18
Figura 6. <i>Cuenca Hidrográfica</i>	22
Figura 7. <i>Partes de una cuenca hidrográfica</i>	23
Figura 8. <i>Los modelos hidrológicos conceptos de parametrización diferentes</i>	29
Figura 9. <i>Representación del Modelo GR4J</i>	41
Figura 10. <i>Representación esquemática del Modelo SAC-SMA</i>	45
Figura 11. <i>Subcuencas de estudio</i>	62
Figura 12. <i>Servidor Earth Data</i>	71
Figura 13. <i>DEM de la cuenca Vilcanota-Urubamba</i>	72
Figura 14. <i>Portal oficial de suelos de la FAO/UNESCO</i>	73
Figura 15. <i>Página oficial de Copernicus-Land Monitoring Service</i>	74
Figura 16. <i>Ubicación de las estaciones virtuales</i>	79
Figura 17. <i>Modelo de DEM de 12.5 m</i>	85
Figura 18. <i>Red de drenaje elaborada en QGIS</i>	85
Figura 19. <i>Delimitación de subcuencas</i>	86
Figura 20. <i>Delimitación de la cuenca de estudio</i>	87
Figura 21. <i>Punto de aforo</i>	89
Figura 22. <i>Cauces principales de la delimitación</i>	90

Figura 23. <i>Determinación del tipo de suelos en la cuenca del rio Vilcanota</i>	92
Figura 24. <i>Determinación del uso de suelos en la cuenca del rio Vilcanota</i>	93
Figura 25. <i>Interfaz del software RStudio</i>	96
Figura 26. <i>Script para precipitación media</i>	96
Figura 27. <i>Script para temperatura mínima media</i>	97
Figura 28. <i>Script para temperatura máxima media</i>	98
Figura 29. <i>Script para evapotranspiración potencial media</i>	98
Figura 30. <i>Script para trabajo con subcuencas en R</i>	99
Figura 31. <i>Regresión Simple – Prec. PISCO vs. Prec. Real</i>	101
Figura 32. <i>Gráfico del modelo ajustado - Prec. PISCO vs. Prec. Real</i>	102
Figura 33. <i>Gráfico del análisis de doble masa de precipitación</i>	103
Figura 34. <i>Importación de data hidrometereológica</i>	104
Figura 35. <i>Creación del modelo GR4J en RS Minerve</i>	106
Figura 36. <i>Creación del modelo SAC-SMA en RS Minerve</i>	107
Figura 37. <i>Representación del modelo GR4J de la cuenca de estudio</i>	108
Figura 38. <i>Representación del modelo SAC-SMA de la cuenca de estudio</i>	108
Figura 39. <i>Simulación inicial con valores por defecto del modelo GR4J y SAC-SMA</i>	109
Figura 40. <i>Caudales simulados del modelo GR4J</i>	110
Figura 41. <i>Caudales simulados del modelo SAC-SMA</i>	111
Figura 42. <i>Valores del caudal diario simulado inicial del modelo GR4J</i>	112
Figura 43. <i>Valores del caudal diario simulado inicial del modelo SAC-SMA</i>	112
Figura 44. <i>Indicadores de eficiencia</i>	115
Figura 45. <i>Incorporación de la herramienta Comparator al modelo</i>	116
Figura 46. <i>Inicio de simulaciones de la calibración</i>	121

Figura 47. <i>Finalización de las simulaciones de la calibración</i>	122
Figura 48. <i>Inicio de simulaciones de la calibración</i>	123
Figura 49. <i>Finalización de las simulaciones de la calibración</i>	123
Figura 50. <i>Diagrama del área de estudio de las 9 subcuencas</i>	128
Figura 51. <i>Perímetro de las subcuencas</i>	128
Figura 52. <i>Curva hipsométrica</i>	130
Figura 53. <i>Polígono de frecuencia de altitudes</i>	131
Figura 54. <i>Histograma de precipitación media anual de las 9 estaciones del año 1981-2016.</i>	135
Figura 55. <i>Diagrama de precipitación media anual las 9 estaciones de los años de 1981-2016</i>	135
Figura 56. <i>Histograma de temperatura media anual de las 9 estaciones del año 1981-2016..</i>	137
Figura 57. <i>Diagrama de temperatura media anual las 9 estaciones de los años de 1981-2016</i>	138
Figura 58. <i>Modelo esquemático de la cuenca de estudio</i>	139
Figura 59. <i>Parámetros iniciales del modelo GR4J para la calibración</i>	141
Figura 60. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados sin calibración</i>	142
Figura 61. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados calibrados</i>	144
Figura 62. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados validados</i>	144
Figura 63. <i>Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo GR4J</i>	147
Figura 64. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados - calibrados</i>	150
Figura 65. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados - validados</i>	151
Figura 66. <i>Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SAC-SMA</i>	159
Figura 67. <i>Interfaz del software STATGRAPHICS</i>	170
Figura 68. <i>Tabla de frecuencia para Caudales Observados</i>	171
Figura 69. <i>Gráfico de dispersión - Caudales observados</i>	172

Figura 70. <i>Gráfico de caja y bigotes - Caudales observados</i>	173
Figura 71. <i>Histograma de Frecuencia - Caudales observados</i>	174
Figura 72. <i>Tabla de frecuencia para Caudales Simulados GR4J</i>	179
Figura 73. <i>Gráfico de dispersión - Caudales Simulados GR4J</i>	181
Figura 74. <i>Gráfico de caja y bigotes - Caudales Simulados GR4J</i>	181
Figura 75. <i>Histograma de Frecuencia - Caudales Simulados GR4J</i>	182
Figura 76. <i>Tabla de frecuencia para Caudales Simulados SAC-SMA</i>	187
Figura 77. <i>Gráfico de dispersión - Caudales Simulados SAC-SMA</i>	188
Figura 78. <i>Gráfico de caja y bigotes - Caudales Simulados SAC-SMA</i>	189
Figura 79. <i>Histograma de Frecuencia - Caudales Simulados SAC-SMA</i>	190
Figura 80. <i>Regresión simple - Caudales simulados GR4J vs Caudales observados</i>	192
Figura 81. <i>Gráfico del modelo ajustado - Caudales simulados GR4J vs Caudales observados</i>	193
Figura 82. <i>Gráfico de caja y bigotes - Caudales observados vs Caudales simulados GR4J</i>	194
Figura 83. <i>Histograma de Frecuencia - Caudales observados vs Caudales simulados GR4J.</i>	194
Figura 84. <i>Regresión simple - Caudales simulados SAC-SMA vs Caudales observados</i>	196
Figura 85. <i>Gráfico del modelo ajustado - Caudales simulados SAC-SMA vs Caudales observados</i>	198
Figura 86. <i>Gráfico de caja y bigotes - Caudales observados vs Caudales simulados SAC-SMA</i>	199
Figura 87. <i>Histograma de Frecuencia - Caudales observados vs Caudales simulados SAC-SMA</i>	200
Figura 88. <i>Análisis comparativo de caudales simulados SAC-SMA, GR4J y caudales observados</i>	201
Figura 89. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados complementarios</i>	204

Figura 90. <i>Caudales observados vs. Caudales simulados complementarios</i>	205
Figura 91. <i>Regresión simple - Caudales simulados GR4J vs Caudales observados de los años 2017-2024</i>	213
Figura 92. <i>Regresión simple - Caudales simulados SAC - SMA vs Caudales observados de los años 2017-2024.....</i>	215

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Matriz de consistencia</i>	231
Anexo 2. <i>Solicitud de acceso a la información pública de SENAMHI</i>	233
Anexo 3. <i>Seguimiento del documento</i>	234
Anexo 4. <i>Solicitud de procesamiento de información en SENAMHI</i>	235
Anexo 5. <i>Solicitud de acceso a la información pública EGEMSA</i>	236
Anexo 6. <i>Mesa de partes EGEMSA</i>	237
Anexo 7. <i>Cargo de expediente de entrega de información</i>	238
Anexo 8. <i>Solicitud de información de registro de caudales</i>	239
Anexo 9. <i>Información de caudales históricos 1958-2025</i>	240
Anexo 10. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Machu Picchu 1981-2016</i>	241
Anexo 11. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Huarrocondo 1981-2016</i>	243
Anexo 12. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Pisac 1981-2016</i>	244
Anexo 13. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Huatanay 1981-2016</i> .	245
Anexo 14. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Quiquijana 1981-2016</i>	246
Anexo 15. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016</i>	247
Anexo 16. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Pitumarca 1981-2016</i>	248
Anexo 17. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Sallca 1981-2016</i>	250
Anexo 18. <i>Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Hercca 2016</i>	251

Anexo 19. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016</i>	252
Anexo 20. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Huaroscondo 1981-2016</i>	253
Anexo 21. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Pisac 1981-2016</i>	254
Anexo 22. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016</i>	256
Anexo 23. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016</i>	257
Anexo 24. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016</i>	258
Anexo 25. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016</i>	259
Anexo 26. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Sallca 1981-2016</i>	260
Anexo 27. <i>Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Hercca 1981-2016</i>	262
Anexo 28. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016</i>	263
Anexo 29. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Huaroscondo 1981-2016</i>	264
Anexo 30. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Pisac 1981-2016</i>	265
Anexo 31. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016</i>	267
Anexo 32. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016</i>	268
Anexo 33. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016</i>	269
Anexo 34. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016</i>	270

Anexo 35. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Sallca 1981-2016</i>	272
Anexo 36. <i>Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Hercca 1981-2016 ..</i>	273
Anexo 37. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016.....</i>	274
Anexo 38. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Huarrocondo 1981-2016</i>	275
Anexo 39. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Pisac 1981-2016.....</i>	277
Anexo 40. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016</i>	278
Anexo 41. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016</i>	279
Anexo 42. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016.....</i>	280
Anexo 43. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016</i>	282
Anexo 44. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Sallca 1981-2016.....</i>	283
Anexo 45. <i>Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Hercca 1981-2016 ...</i>	284
Anexo 46. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016</i>	285
Anexo 47. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Huarrocondo 1981-2016</i>	287
Anexo 48. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Pisac 1981-2016</i>	288
Anexo 49. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016 .</i>	289
Anexo 50. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016</i>	290

Anexo 51. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016.....</i>	291
Anexo 52. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016</i>	293
Anexo 53. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Sallca 1981-2016</i>	294
Anexo 54. <i>Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Hercca 1981-2016</i>	295
Anexo 55. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Machu Picchu 2017-2024</i>	296
Anexo 56. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Huarrocondo 2017-2024</i>	297
Anexo 57. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Pisac 2017-2024.....</i>	297
Anexo 58. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Huatanay 2017-2024.....</i>	298
Anexo 59. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Quiquijana 2017-2024</i>	298
Anexo 60. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Chuquicahuana 2017-2024</i>	299
Anexo 61. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Pitumarca 2017-2024.....</i>	299
Anexo 62. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Sallca 2017-2024</i>	300
Anexo 63. <i>Información de precipitación históricas Subcuenca Hercca 2017-2024.....</i>	300
Anexo 64. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Machu Picchu 2017-2024.....</i>	301
Anexo 65. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Huarrocondo 2017-2024.....</i>	301
Anexo 66. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Pisac 2017-2024.....</i>	302
Anexo 67. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Huatanay 2017-2024</i>	302
Anexo 68. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Quiquijana 2017-2024.....</i>	303
Anexo 69. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Quiquijana 2017-2024.....</i>	303
Anexo 70. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Pitumarca 2017-2024</i>	304
Anexo 71. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Sallca 2017-2024</i>	304
Anexo 72. <i>Información de temperatura históricas Subcuenca Hercca 2017-2024</i>	305
Anexo 73. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Hercca.....</i>	306

Anexo 74. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Hercca</i>	306
Anexo 75. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Sallca</i>	307
Anexo 76. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Sallca</i>	308
Anexo 77. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Pitumarca</i>	309
Anexo 78. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Pitumarca ...</i>	310
Anexo 79. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Chuquicahuana</i>	310
Anexo 80. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Chuquicahuana</i>	312
Anexo 81. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro y su ubicación – Subcuenca Quiquijana</i>	312
Anexo 82. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Quiquijana..</i>	314
Anexo 83. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Huatanay</i>	314
Anexo 84. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Huatanay</i>	315
Anexo 85. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Pisac</i>	316
Anexo 86. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Pisac</i>	317
Anexo 87. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Huarrocondo ...</i>	318
Anexo 88. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Huarrocondo</i>	319
Anexo 89. <i>Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Machu Picchu</i>	320
Anexo 90. <i>Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Machu Picchu</i>	321
Anexo 91. <i>Suma de caudales aforados en la cuenca del río Vilcanota.....</i>	322
Anexo 92. <i>Análisis comparativo entre los caudales aforados mediante correntómetro y los registros históricos de EGEMSA</i>	322

Anexo 93. <i>Visita a campo de la subcuenca V1 (Machu Picchu)</i>	324
Anexo 94. <i>Visita a campo de la subcuenca V2 (Huarcocondo)</i>	324
Anexo 95. <i>Visita a campo de la subcuenca V3 (Pisac)</i>	325
Anexo 96. <i>Visita a campo de la subcuenca V4 (Huatanay)</i>	325
Anexo 97. <i>Visita a campo de la subcuenca V5 (Quiquijana)</i>	326
Anexo 98. <i>Visita a campo de la subcuenca V6 (Chuquicahuana)</i>	326
Anexo 99. <i>Visita a campo de la subcuenca V7 (Pitumarca)</i>	327
Anexo 100. <i>Visita a campo de la subcuenca V8 (Sallca)</i>	327
Anexo 101. <i>Visita a campo de la subcuenca V9 (Hercca)</i>	328
Anexo 102. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V1 (Machu Picchu) ...</i>	328
Anexo 103. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V1 (Machu Picchu) – Toma de datos</i>	329
Anexo 104. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V2 (Huarcocondo)</i>	329
Anexo 105. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V2 (Huarcocondo) – Toma de datos</i>	330
Anexo 106. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V3 (Pisac)</i>	330
Anexo 107. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V3 (Pisac) – Toma de datos</i>	331
Anexo 108. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V4 (Huatanay)</i>	331
Anexo 109. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V4 (Huatanay) – Toma de datos</i>	332
Anexo 110. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V5 (Quiquijana)</i>	332
Anexo 111. <i>Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V5 (Quiquijana) – Toma de datos</i>	333

Anexo 112. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V6 (Chuquicahuana) .	333
Anexo 113. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V6 (Chuquicahuana) – Toma de datos	334
Anexo 114. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V7 (Pitumarca)	334
Anexo 115. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V7 (Pitumarca) – Toma de datos	335
Anexo 116. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V8 (Sallca)	335
Anexo 117. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V8 (Sallca) – Toma de datos	336
Anexo 118. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V9 (Hercca)	336
Anexo 119. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V9 (Hercca) – Toma de datos	337
Anexo 120. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Hercca	337
Anexo 121. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca - Hercca.....	338
Anexo 122. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Sallca .	338
Anexo 123. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Sallca.....	339
Anexo 124. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pitumarca	340
Anexo 125. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pitumarca	341
Anexo 126. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Chuquicahuana	342

Anexo 127. <i>Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Chuquicahuana</i>	342
Anexo 128. <i>Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Quiquijana</i>	343
Anexo 129. <i>Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Quiquijana</i>	343
Anexo 130. <i>Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Huatanay</i>	344
Anexo 131. <i>Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Huatanay.....</i>	344
Anexo 132. <i>Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pisac ..</i>	345
Anexo 133. <i>Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pisac.....</i>	345
Anexo 134. <i>Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Huarucondo</i>	346
Anexo 135. <i>Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Huarucondo.....</i>	346
Anexo 136. <i>Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Machu Picchu</i>	347
Anexo 137. <i>Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Machu Picchu</i>	347

ÍNDICE DE PLANOS DE LA CUENCA DE ESTUDIO

Plano 1. <i>Ubicación política de la cuenca de estudio – UB-01</i>	349
Plano 2. <i>Mapa hidrográfico de la Subcuenca del Alto Urubamba</i>	350
Plano 3. <i>Subdivisión de la subcuenca de estudio</i>	351
Plano 4. <i>Método Pfafstetter de la cuenca</i>	352
Plano 5. <i>Mapa de pendientes de la cuenca</i>	353
Plano 6. <i>Mapa de altitudes de la cuenca</i>	354

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar y simular los caudales de la cuenca correspondiente a la estación hidrométrica Km 105 en Cusco, utilizando los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J. Para ello, se recopilaron y procesaron datos climáticos e hidrológicos históricos, los cuales sirvieron como insumos para la calibración y validación de ambos modelos. La metodología incluyó la preparación y homogenización de las series de precipitación y temperatura, la delimitación espacial de la cuenca y la configuración de parámetros iniciales de simulación.

Posteriormente, se ejecutaron los modelos Sacramento y Génie Rural, obteniéndose series de caudales simulados que fueron comparadas con los registros observados en la estación Km 105. El análisis de desempeño se realizó mediante coeficientes estadísticos de correlación y eficiencia, permitiendo evaluar la capacidad de cada modelo para reproducir la dinámica hidrológica de la cuenca.

Los resultados demostraron que el modelo GR4J presentó un mejor desempeño que el modelo SAC-SMA, alcanzando un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe de 0.80 en calibración y 0.78 en validación, frente a 0.59 y 0.64 obtenidos por SAC-SMA, respectivamente.

Asimismo, este estudio contribuye al fortalecimiento del uso de herramientas de modelación hidrológica en contextos andinos, donde la variabilidad climática y geográfica constituye un reto para la planificación hídrica sostenible.

Palabras claves: Modelos hidrológicos, Caudales, Relación, Calibración, Validación, Cuenca, Estación hidrométrica Km 105.

ABSTRACT

The present research aims to analyze and simulate the streamflows of the watershed corresponding to the Km 105 hydrometric station in Cusco, using the Sacramento and GR4J hydrological models. For this purpose, historical climatic and hydrological data were collected and processed, serving as inputs for the calibration and validation of both models. The methodology included the preparation and homogenization of precipitation and temperature series, the spatial delineation of the watershed, and the configuration of initial simulation parameters.

Subsequently, the Sacramento and Génie Rural (GR4J) models were run, yielding simulated streamflow series that were compared with the observed records at the Km 105 station. Performance analysis was conducted using statistical correlation and efficiency coefficients, allowing the assessment of each model's ability to reproduce the hydrological dynamics of the watershed.

The results showed that the GR4J model outperformed the SAC-SMA model, achieving a Nash–Sutcliffe efficiency coefficient of 0.80 in calibration and 0.78 in validation, compared to 0.59 and 0.64 obtained by SAC-SMA, respectively.

Furthermore, this study contributes to strengthening the use of hydrological modeling tools in Andean contexts, where climatic and geographic variability poses a challenge to sustainable water resources planning.

Keywords: Hydrological models, Streamflows, Relationship, Calibration, Validation, Watershed, Km 105 hydrometric station.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería civil e hidráulica, la modelación hidrológica se ha consolidado como una herramienta fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos. La simulación de caudales permite prever el comportamiento de las cuencas ante diferentes escenarios hidrometeorológicos, facilitando la toma de decisiones en planificación, diseño y prevención de riesgos. En el contexto actual de variabilidad climática y eventos extremos cada vez más frecuentes, contar con modelos precisos que reproduzcan fielmente la dinámica hídrica de las cuencas resulta esencial.

En el Perú, la diversidad geográfica y climática presenta desafíos particulares en el monitoreo y análisis de cuencas hidrográficas. La región del Cusco, por su ubicación andina y su alta vulnerabilidad ante lluvias intensas y sequías, demanda especial atención. En este contexto, la estación hidrométrica del Km 105, ubicada en el distrito de Machupicchu sobre el río Vilcanota-Urubamba. Sin embargo, el tratamiento y análisis de sus registros históricos aún requerían enfoques comparativos que validaran herramientas modernas de simulación.

El presente estudio analizó y simuló los caudales en dicha estación empleando dos modelos hidrológicos reconocidos: el modelo Sacramento (SAC-SMA) y el Génie Rural à 4 paramètres Journalier (GR4J). El primero es un modelo conceptual agregado desarrollado por el U.S. National Weather Service, que representa la humedad del suelo mediante depósitos superficiales y profundos; el segundo, de origen francés, se caracteriza por su parsimonia —solo cuatro parámetros— y su eficacia en la simulación diaria de caudales. Ambos fueron implementados de forma semidistribuida sobre nueve subcuencas.

La investigación se desarrolló con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y longitudinal, sobre una serie diaria de 44 años (1981–2024). El procesamiento se realizó en la plataforma RS Minerve, complementada con herramientas SIG para la caracterización geomorfológica y con Statgraphics para el análisis estadístico. Los insumos climáticos provinieron del producto grillado PISCO del SENAMHI y los caudales observados, de los registros de EGEMSA. La calibración abarcó el periodo 1981–2005 y la validación, 2006–2016; adicionalmente se realizó una simulación complementaria para 2017–2024 con datos de NASA POWER, de carácter exploratorio.

Los resultados evidenciaron que el modelo GR4J presentó un desempeño superior, con coeficientes de eficiencia de Nash-Sutcliffe de 0.80 en calibración y 0.78 en validación, frente a 0.59 y 0.64 alcanzados por SAC-SMA. Con ello se aporta al fortalecimiento de la gestión hidrológica regional, la planificación hidráulica y la prevención de desastres en zonas vulnerables de la sierra sur del Perú.

La investigación se organiza en seis capítulos: el primero presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación; el segundo desarrolla el marco teórico y los antecedentes; el tercero establece las hipótesis y variables; el cuarto detalla la metodología; el quinto expone los resultados; y el sexto discute los hallazgos frente a investigaciones previas. Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Situación problemática

La gestión de los recursos hídricos superficiales constituye una prioridad técnica en el Perú, donde la variabilidad hidroclimática, el crecimiento de la demanda agrícola, poblacional y energética, y las limitaciones de la red de monitoreo configuran un escenario de incertidumbre para la planificación. Esta condición se acentúa en la región andina, donde la topografía abrupta y la marcada estacionalidad de las precipitaciones producen regímenes de caudal con contrastes pronunciados entre los periodos de avenida y de estiaje.

La cuenca donde se ubica la estación hidrométrica del Km 105 constituye un punto estratégico de observación para la comprensión del comportamiento de los caudales. Sin embargo, la sola recopilación de datos históricos no permite predecir con precisión eventos futuros ni realizar una adecuada planificación de obras hidráulicas o estrategias de prevención ante desastres como inundaciones o sequías. En este sentido, la simulación hidrológica surge como una herramienta indispensable que, a través de modelos matemáticos, permite representar el comportamiento hídrico de una cuenca bajo distintos escenarios climáticos y temporales.

Actualmente, existen diversos modelos hidrológicos con distintos niveles de complejidad y requerimientos de información. Entre los más conocidos y utilizados se encuentran el modelo Sacramento, desarrollado por el Servicio Meteorológico Nacional de EE. UU., y el modelo Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier, de origen francés. Ambos modelos han demostrado su capacidad para simular caudales diarios, pero su desempeño puede variar considerablemente dependiendo de las características de la cuenca y la calidad de los datos disponibles.

Pese a la existencia de estudios similares a nivel nacional e internacional, en el caso específico de la estación hidrométrica del Km 105 no se cuenta con investigaciones que comparen

de manera sistemática el desempeño de ambos modelos en la simulación de caudales. Esto genera incertidumbre sobre cuál de ellos representa de mejor manera la dinámica hidrológica de la cuenca y limita el uso eficiente de estas herramientas para la planificación y gestión de recursos hídricos en la región.

Por lo tanto, se identifica la necesidad de analizar y comparar el comportamiento de los caudales simulados a partir del modelo Sacramento y el modelo Génie Rural á 4 Paramètres Journalier, utilizando registros históricos confiables de la estación mencionada. Esta comparación permitirá determinar cuál de los modelos se ajusta mejor a las condiciones hidrológicas locales y brindará una base técnica para futuras aplicaciones en estudios de impacto, diseño de infraestructura hidráulica y estrategias de manejo del agua.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

P.G: ¿Cuál de los modelos hidrológicos Sacramento o Génie Rural à 4 Paramètres Journalier, presenta un mejor nivel de eficiencia en la simulación de caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025?

1.2.2. Problemas específicos

P.E.01: ¿Qué nivel de ajuste presentan las simulaciones de caudales realizadas con el modelo hidrológico Sacramento en la estación del Km 105, Cusco 2025?

P.E.02: ¿Qué nivel de ajuste presentan las simulaciones de caudales realizadas con el modelo hidrológico Génie Rural á 4 paramètres Journalier (GR4J) en la estación del Km 105, Cusco 2025?

P.E.03: ¿Qué parámetros resultan más sensibles en la calibración de los modelos hidrológicos Sacramento o GR4J en la simulación de caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025?

P.E.04: ¿Cuál de los modelos hidrológicos Sacramento o GR4J, ofrece una mejor capacidad de correlación de los caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

O.G: Analizar y simular los caudales mediante los modelos hidrológicos Sacramento y Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier, evaluando su grado de ajuste, sensibilidad de parámetros y desempeño comparativo, en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025.

1.3.2. Objetivos Específicos

O.E.01: Determinar el grado de ajuste de las simulaciones de caudales generadas por el modelo hidrológico Sacramento en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

O.E.02: Determinar el grado de ajuste de las simulaciones de caudales obtenidas con el modelo hidrológico GR4J en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

O.E.03: Analizar la sensibilidad de los parámetros empleados en la calibración de los modelos Sacramento y GR4J en la simulación de caudales en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

O.E.04: Comparar el desempeño de los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J en función de su capacidad para representar y correlacionar los caudales en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación por relevancia

La presente investigación es relevante porque aborda la necesidad de contar con herramientas confiables para la simulación hidrológica, fundamentales en la planificación y gestión de los recursos hídricos en la región de Cusco. La cuenca donde se ubica la estación hidrométrica del Km 105 presenta una marcada variabilidad de caudales, lo que influye directamente en la seguridad hídrica, la infraestructura hidráulica y la gestión de riesgos por eventos extremos. Evaluar y comparar modelos hidrológicos como el Sacramento y el Génie Rural à 4 Paramètres Journalier permite determinar cuál se adapta mejor a las condiciones hidrológicas locales, aportando información valiosa para proyectos de ingeniería civil, sobre todo en el diseño de presas, canales, sistemas de riego y defensas ribereñas. Asimismo, este estudio contribuye al fortalecimiento de la base científica y técnica para el desarrollo sostenible del territorio.

1.4.2. Justificación por viabilidad

La viabilidad del estudio está garantizada por la disponibilidad de registros históricos de caudales diarios en la estación hidrométrica del Km 105, los cuales abarcan un período suficiente (aproximadamente de 1981 a 2024) para el análisis y validación de los modelos hidrológicos seleccionados. Además, se cuenta con los recursos informáticos y el software necesario (Excel, QGIS y similares) para la simulación y el procesamiento de datos. El diseño metodológico planteado es de tipo no experimental, longitudinal y comparativo, lo que permite ejecutar la investigación con un enfoque sistemático, ordenado y sin requerimientos logísticos complejos. Esto asegura que la ejecución de la tesis sea factible en términos de tiempo, acceso a datos y capacidad técnica.

1.4.3. Justificación técnica

Desde el punto de vista técnico, la investigación representa una contribución directa al conocimiento aplicado en hidrología computacional, al analizar dos modelos reconocidos internacionalmente por su capacidad para representar la respuesta hidrológica de una cuenca ante la precipitación. El modelo Sacramento es ampliamente utilizado por organismos como el National Weather Service de Estados Unidos por su desempeño en diversas condiciones climáticas, mientras que el modelo Génie Rural à 4 Paramètres Journalier destaca por su simplicidad estructural y facilidad de calibración. Comparar su desempeño en la simulación de caudales en una misma estación hidrométrica permitirá identificar ventajas y limitaciones de cada uno en el contexto específico de Cusco, aportando criterios técnicos que puedan ser replicados en otras cuencas similares del país.

1.4.4. Justificación social

La importancia social de esta investigación radica en su potencial para mejorar la gestión de los recursos hídricos en beneficio de la población. La disponibilidad y distribución del agua influyen directamente en actividades económicas como la agricultura, el abastecimiento de agua potable, la producción de energía hidroeléctrica y la mitigación de riesgos ante inundaciones. Al optimizar las herramientas de simulación hidrológica, se fortalece la capacidad técnica de las instituciones encargadas de planificar obras hidráulicas, contribuyendo al bienestar de las comunidades locales, la seguridad hídrica y la prevención de desastres. En ese sentido, este estudio también apoya el desarrollo territorial sostenible y la resiliencia frente al cambio climático en la región.

1.5. Limitaciones de la investigación

- Disponibilidad de datos históricos: La investigación se basa en registros históricos de caudales diarios de la estación Intihuatana Km 105. Sin embargo, la disponibilidad y calidad de estos datos pueden variar, presentando posibles lagunas o inconsistencias que podrían afectar la precisión de la calibración y validación de los modelos hidrológicos.
- Extensión y heterogeneidad de la cuenca: La cuenca de estudio presenta una marcada heterogeneidad altitudinal, pudiendo diferenciarse una zona alta de carácter altoandino-puneño (3 800–6 323 m s. n. m.) y una zona baja de valle interandino (2 145–3 800 m s. n. m.), con contrastes en cobertura vegetal, tipo de suelo y régimen de precipitación. Esta heterogeneidad interna se gestiona mediante el enfoque semidistribuido adoptado, con nueve subcuencas de parámetros independientes; sin embargo, la representación de cada unidad de análisis como un bloque agregado implica que los parámetros calibrados de los modelos SAC-SMA y GR4J deben interpretarse como valores efectivos que compensan matemáticamente la variabilidad espacial interna. Esta es una restricción inherente de la modelación conceptual aplicada a sistemas hidrográficos extensos y es reconocida como tal en la literatura especializada.
- Limitaciones técnicas y logísticas: La ubicación geográfica de la estación, en una zona de difícil acceso y con condiciones climáticas variables, puede presentar desafíos logísticos para la recolección de datos en tiempo real y la implementación de estudios de campo complementarios.
- Alcance temporal del estudio: La investigación se centra en datos recopilados hasta el año 2024. Por lo tanto, no se consideran eventos hidrológicos recientes que podrían influir en la dinámica actual de los caudales del río Vilcanota.

- Generalización de resultados: Los hallazgos y conclusiones de este estudio están específicamente relacionados con la estación Intihuatana Km 105 y su cuenca inmediata. Por lo tanto, la extrapolación de estos resultados a otras regiones o estaciones debe realizarse con precaución y considerando las particularidades locales.
- Disponibilidad de datos climatológicos validados: Se tiene data validada solo hasta 2016 con el producto PISCO. Para completar la serie hasta 2024 se utilizó información satelital NASA POWER. Si bien este producto no equivale a registros validados, su uso es aceptado cuando las estaciones presentan discontinuidades, siempre que se evalúe la coherencia estadística con el periodo validado.

1.6. Delimitación de la investigación

1.6.1. Delimitación espacial

La presente investigación se desarrolla en la estación hidrométrica Intihuatana Km 105, ubicada en la cuenca del río Vilcanota, en el distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba, región Cusco, Perú. Esta estación es administrada por el Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. (EGEMSA) y desempeña un papel crucial en el monitoreo hidrológico de la parte baja de la cuenca.

La ubicación política de la zona de estudio es la siguiente:

País: Perú

Región: Cusco

Provincia: Urubamba

Distrito: Machupicchu

Ubicación geográfica:

Latitud: -13.174°

Longitud: -72.564°

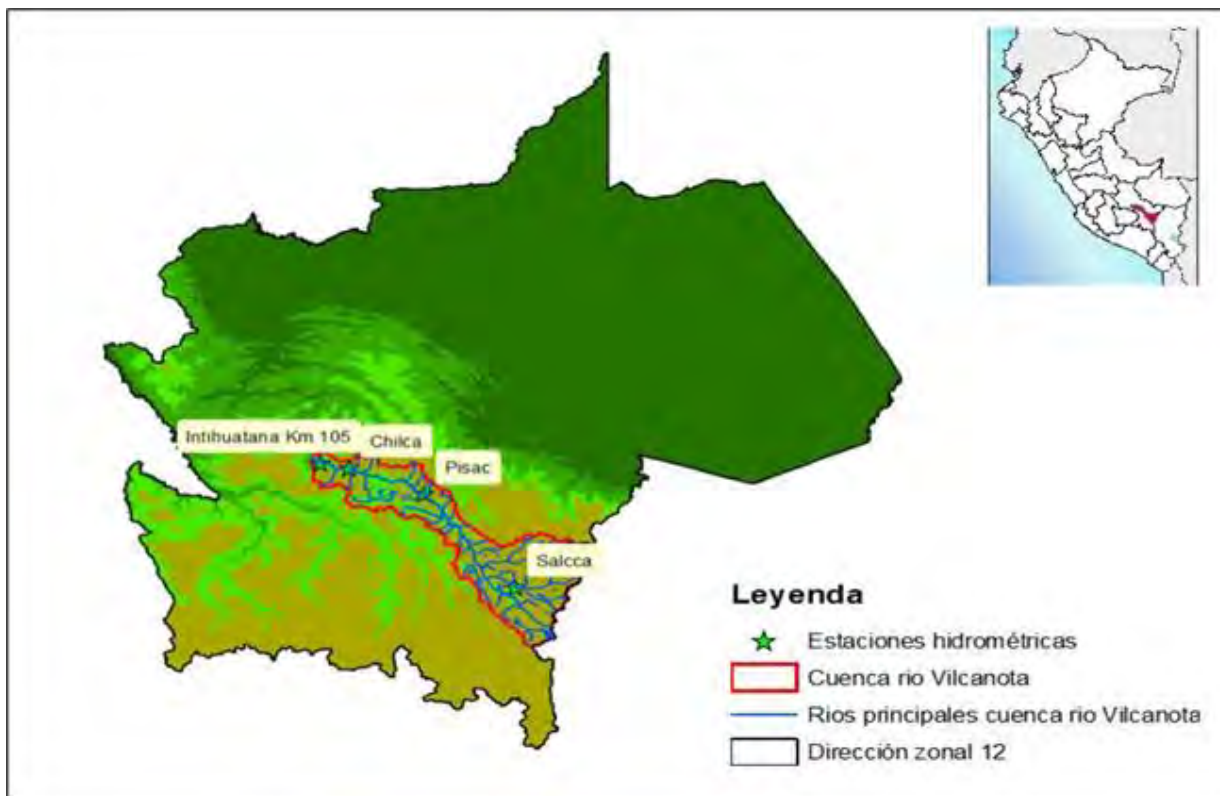
Altitud: 1,778 m.s.n.m.

La estación Intihuatana Km 105 se sitúa estratégicamente a lo largo de la línea férrea Cusco–Machupicchu, permitiendo un acceso adecuado para la recolección y análisis de datos hidrológicos. Su ubicación es esencial para el control y monitoreo de los caudales del río Vilcanota, especialmente durante la temporada de lluvias, donde se registran caudales máximos que pueden alcanzar hasta $540 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de marzo.

La zona de estudio comprende la cuenca inmediata a la estación, incluyendo los registros históricos de caudales diarios recopilados entre los años 1981 y 2024. Estos datos son fundamentales para la calibración y validación de los modelos hidrológicos Sacramento y Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier, permitiendo una simulación precisa de la variabilidad de los caudales en la región.

Figura 1.

Mapa de ubicación de la estación Km 105



Fuente: SENAMHI

1.6.2. Delimitación temporal

La investigación se centró en la simulación y el análisis de los caudales de la cuenca durante un período histórico comprendido entre el 01 de enero de 1981 y el 31 de diciembre de 2024, abarcando 44 años de información climática e hidrológica. El período de calibración se estableció entre 1981 y 2005 incluyendo los primeros años como fase de calentamiento (warm-up) para estabilizar las condiciones iniciales del modelo y reducir posibles sesgos, mientras que la validación se realizó en el intervalo 2006–2016, lo que permitió evaluar la capacidad de los modelos para reproducir los caudales observados en diferentes condiciones climáticas. Adicionalmente, se realizó un análisis en un período complementario entre 2017 y 2024.

1.6.3. Delimitación teórica

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo la simulación de caudales diarios en la estación hidrométrica Km 105, Cusco, empleando dos modelos hidrológicos: SAC-SMA y GR4J. El marco teórico se centra en los conceptos y fundamentos relacionados con la hidrología de cuencas y la modelación hidrológica, aplicados específicamente a la cuenca Vilcanota-Urubamba. Se considera como base teórica la relación entre precipitación, escorrentía y comportamiento hidrológico de las subcuencas, así como los principios que sustentan los modelos hidrológicos utilizados. Además, se delimita el estudio a los procesos y parámetros que pueden ser representados y analizados mediante la simulación de caudales, incluyendo el uso de datos de precipitación, tipo de suelo, uso de suelo, pendientes y registros hidrométricos. Esta delimitación establece que la investigación se enfocará en evaluar la capacidad de los modelos para reproducir el comportamiento hidrológico real, sin abordar otros factores externos como cambios bruscos en el uso del suelo fuera del período histórico considerado.

Capítulo II: Marco Teórico Conceptual

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Hidrología y ciclo hidrológico

Según (Villón Bejar, 2002) la hidrología es la ciencia que trata de las aguas, de su ocurrencia, circulación y distribución en la Tierra, así como de sus propiedades físicas y químicas y su relación con el ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Se entiende por hidrología a una rama de las ciencias de la Tierra que se encarga de analizar la ocurrencia, distribución, circulación y propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua en la superficie terrestre y la atmósfera (Mediero Ordueña, 2021).

Según (Mediero Ordueña, 2021) el ciclo hidrológico representa el recorrido continuo que realiza el agua en la Tierra. En este proceso, el agua se evapora principalmente de océanos y mares por efecto de la radiación solar, ascendiendo a la atmósfera en forma de vapor. Posteriormente, al enfriarse, dicho vapor se condensa formando nubes, las cuales al alcanzar su punto de saturación generan precipitaciones en forma de lluvia, nieve o granizo. El agua que cae a la superficie terrestre se desplaza por acción de la gravedad como escorrentía superficial o infiltrándose al subsuelo, dando lugar a flujos intermedios y subterráneos, retornando finalmente al mar u océano, donde el ciclo se reinicia.

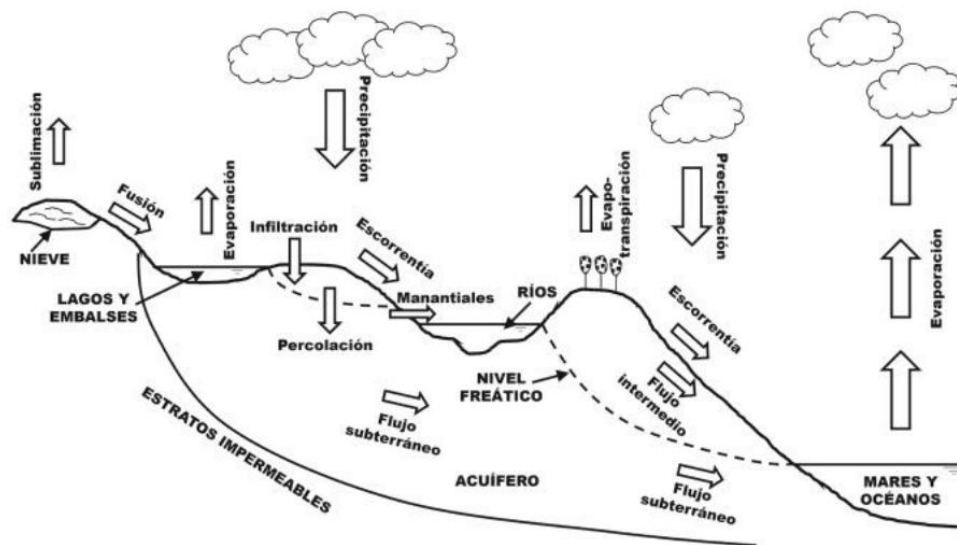
El ciclo hidrológico, comúnmente denominado también ciclo del agua, es un proceso natural continuo que describe el recorrido del agua a través de sus distintos estados físicos (líquido, sólido y gaseoso) y su desplazamiento por diferentes partes del entorno (atmósfera, superficie terrestre y subsuelo). Según (Villón Bejar, 2002), este ciclo representa las transformaciones que sufre el agua en la naturaleza, tanto en su forma visible como invisible, comprendiendo desde el agua superficial como ríos y lagos, hasta el agua subterránea que fluye bajo la tierra. Este

movimiento del agua es esencial para mantener el equilibrio ecológico, ya que interviene directamente en procesos climáticos, geológicos y biológicos que sostienen la vida en el planeta.

El ciclo hidrológico se caracteriza por una dinámica constante en la que el agua cambia de lugar y estado. Todo comienza con la evaporación, que es el proceso mediante el cual el agua de océanos, ríos y lagos se transforma en vapor debido al calor del sol. Este vapor se eleva a la atmósfera donde se enfría y se condensa para formar nubes. Posteriormente, este vapor condensado retorna a la superficie terrestre en forma de precipitaciones como lluvia, nieve o granizo. Parte del agua que cae se infiltra en el suelo, alimentando los acuíferos subterráneos que dan origen a nacientes y riachuelos; mientras que el resto escurre por la superficie como escorrentía, desplazándose hasta volver a masas de agua más grandes. Al final, una porción de esta agua vuelve a evaporarse, cerrando el ciclo. La Figura siguiente ilustra este proceso de manera esquemática.

Figura 2.

Representación del ciclo hidrológico



Fuente: (Mediero Ordueña, 2021)

2.1.1.1. Temperatura

La temperatura, en el contexto atmosférico, se refiere a una medida de la energía cinética promedio de las moléculas que componen el aire, es decir, su grado de movimiento. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006) explican que para registrar con precisión este parámetro, es necesario proteger los instrumentos de medición, como los termómetros, de la radiación directa del sol. Por ello, se emplean estructuras conocidas como abrigo meteorológicos, los cuales permiten la circulación del aire, pero evitan la incidencia solar directa, garantizando así lecturas más representativas del ambiente. Generalmente, los valores más altos de temperatura se presentan en las horas posteriores al mediodía, cuando la radiación solar acumulada alcanza su punto máximo, y los valores más bajos se dan durante la madrugada, cuando se pierde la mayor parte del calor almacenado.

Además de ser una variable climática fundamental, la temperatura influye en numerosos procesos naturales, como la evaporación, la transpiración de las plantas, y la velocidad de reacción química en el ambiente. Su variabilidad en el tiempo y en el espacio es determinada por factores como la altitud, la latitud, la cercanía al mar, la cobertura vegetal y los fenómenos meteorológicos. En regiones elevadas o con poca cobertura de nubes, las fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche pueden ser bastante marcadas. Así, entender la temperatura no solo implica medirla, sino también analizar cómo interactúa con el entorno en los distintos momentos del día y a lo largo del año.

2.1.1.2. Evaporación

La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua líquida se transforma en vapor, escapando hacia la atmósfera. (Chow et al., 1994) destacan que este fenómeno está determinado principalmente por dos factores fundamentales: la cantidad de energía disponible para romper los

enlaces moleculares del agua y convertirla en vapor (calor latente), y la eficiencia del entorno para transportar ese vapor lejos de la superficie evaporante. La fuente principal de esta energía es la radiación solar, que calienta las masas de agua, haciendo que parte de este pase a estado gaseoso. Por otro lado, el viento y la humedad relativa del aire facilitan o dificultan el desplazamiento de este vapor, influyendo directamente en la tasa de evaporación.

La tasa de evaporación también varía según las condiciones ambientales específicas de cada lugar. En zonas donde la velocidad del viento es alta y la humedad atmosférica es baja, la evaporación es más rápida, ya que el vapor se disipa con mayor facilidad. En cambio, en ambientes húmedos o con escasa circulación de aire, el proceso es más lento. Además, factores como la temperatura del agua, la presión atmosférica y la salinidad también afectan el ritmo de evaporación. En estudios hidrológicos, medir este proceso con precisión es esencial para comprender el balance hídrico de una región y para el diseño de infraestructuras hidráulicas como represas o canales de riego.

2.1.1.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración es un proceso integral que combina la evaporación del agua desde la superficie del suelo con la transpiración que ocurre a través de las hojas de las plantas. Según (Chow et al., 1994), los mismos elementos que influyen en la evaporación desde cuerpos de agua —energía solar, movimiento del aire y gradientes de humedad— son determinantes para la evapotranspiración. Sin embargo, en este caso también se debe considerar el suministro de humedad en la superficie del suelo, ya que, si el suelo se encuentra seco, la tasa de evapotranspiración disminuye notablemente debido a la falta de agua disponible para evaporarse o para ser absorbida por las raíces de las plantas.

Este fenómeno juega un papel esencial en el ciclo del agua y en la agricultura, pues representa la pérdida de agua del sistema suelo-planta-atmósfera. Cuando el suelo está bien humedecido, la evapotranspiración puede alcanzar niveles altos, especialmente en días soleados con viento. Pero a medida que el contenido de humedad disminuye, este proceso se reduce, afectando el crecimiento vegetal y, por ende, la productividad agrícola. Por esta razón, conocer los valores de evapotranspiración es vital para la gestión del riego, el control de sequías y la planificación del uso sostenible del agua en cuencas hidrográficas.

2.1.1.4. Precipitación

La precipitación es uno de los componentes esenciales del ciclo del agua y representa la principal vía de retorno del agua atmosférica a la superficie terrestre. Según (Villón Bejar, 2002), se define como cualquier forma de agua que cae desde la atmósfera hasta la superficie terrestre, ya sea en estado líquido o sólido. Esta puede manifestarse como lluvia, llovizna, granizo, nieve o aguanieve, dependiendo de las condiciones atmosféricas presentes.

Este fenómeno meteorológico se produce cuando el vapor de agua condensado en la atmósfera se agrupa en gotas que, al alcanzar un tamaño y peso crítico, no pueden mantenerse en suspensión y caen por efecto de la gravedad. Su análisis es esencial para diversos campos, como la agricultura, la hidrología, la planificación de obras hidráulicas y la gestión de recursos hídricos, ya que determina la disponibilidad de agua en una región.

2.1.1.4.1. Precipitación de convección

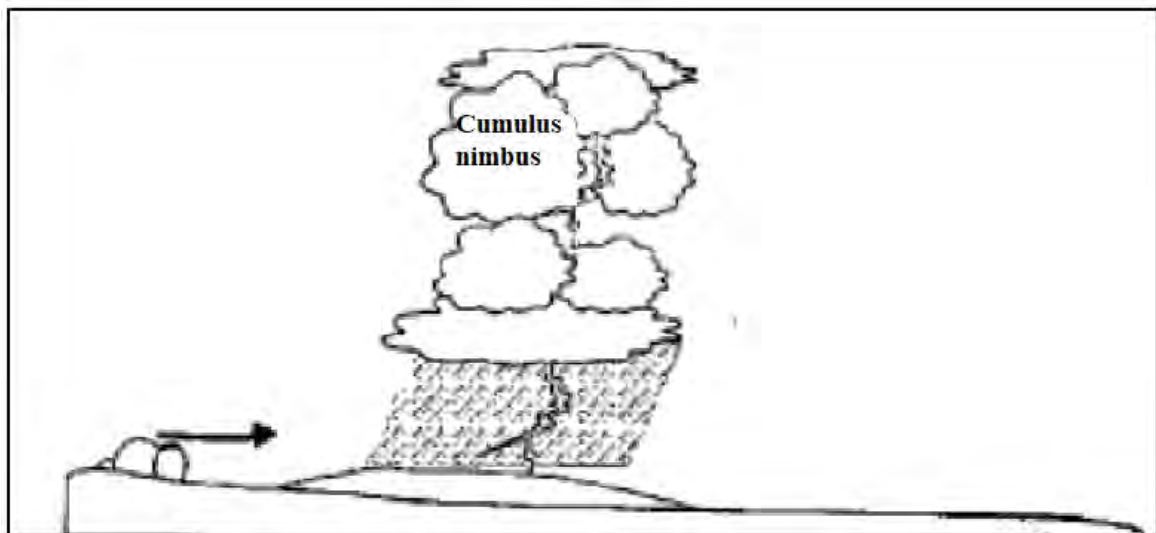
La precipitación de tipo convectivo se genera a partir del ascenso vertical de masas de aire cálido y húmedo, que al elevarse se enfrían, lo que provoca la condensación del vapor de agua. (Chow et al., 1994) explican que este tipo de precipitación abarca diferentes formas de caída de agua, como la lluvia, la nieve, el granizo o la nevisca, y que su formación se debe a la elevación

rápida del aire que contiene humedad, la cual, al condensarse, origina nubes densas y precipitaciones intensas.

Esta clase de precipitación es frecuente en regiones tropicales o en épocas del año con alta insolación. Por lo general, está asociada a tormentas eléctricas o lluvias intensas de corta duración. Suele comenzar de manera abrupta y con mucha intensidad, causando escurrimientos rápidos y, en algunos casos, inundaciones urbanas o rurales debido a la incapacidad de los suelos para absorber tanta agua en poco tiempo.

Figura 3.

Precipitación por Convección



Fuente: (Villón Bejar, 2002)

2.1.1.4.2. Precipitación orográfica

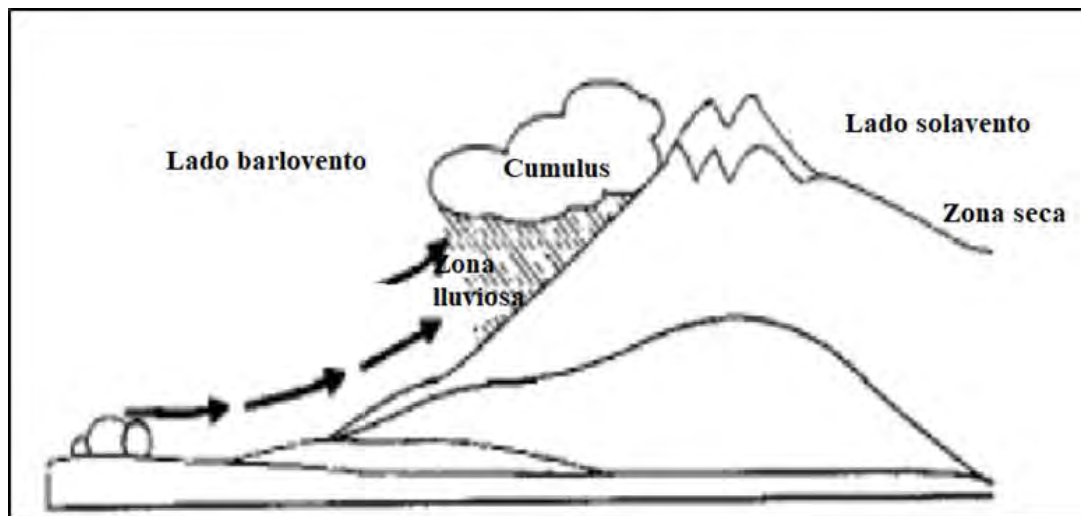
La precipitación orográfica se presenta cuando una masa de aire es forzada a ascender debido a la presencia de una barrera física, como una cadena montañosa. (Chow et al., 1994) señalan que este fenómeno constituye uno de los tres mecanismos principales de elevación del

aire, donde el viento empuja el aire hacia las alturas, provocando que se enfríe y que el vapor de agua contenido en él se condense, generando lluvias en el lado de barlovento de las montañas.

Este tipo de precipitación es común en regiones montañosas o andinas y puede variar significativamente dependiendo de la altitud y la orientación de las montañas con respecto al viento predominante. En el lado sotavento, en cambio, suele observarse una zona más seca, conocida como “sombra de lluvia”, ya que la mayor parte del contenido de humedad ya se ha precipitado.

Figura 4.

Precipitación Orográfica



Fuente: (Villón Bejar, 2002)

2.1.1.4.3. Precipitación ciclónica

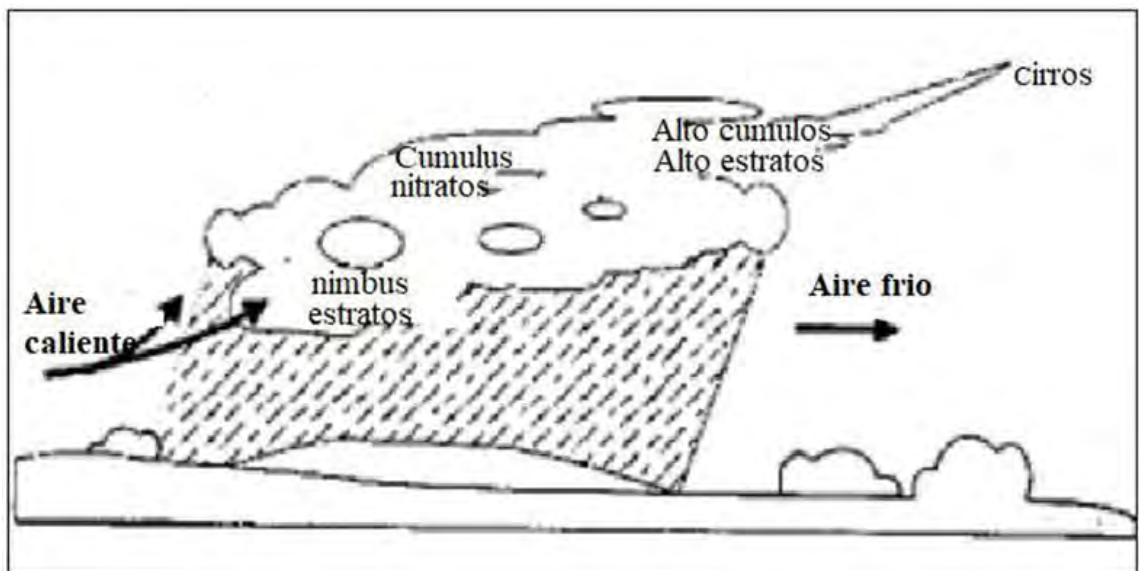
La precipitación de tipo ciclónica, también denominada frontal, se genera cuando se produce el encuentro de dos masas de aire con características térmicas y de humedad diferentes. (Villón Bejar, 2002) describe que, al colisionar estas masas, el aire más cálido y húmedo es forzado

a ascender sobre el aire más frío, provocando así la condensación del vapor y, posteriormente, la precipitación. Este tipo de evento está asociado con sistemas ciclónicos o zonas de baja presión.

Este fenómeno es característico de climas templados y de regiones donde los frentes cálidos y fríos son frecuentes, como Centroamérica, el Caribe y algunas zonas del sudeste asiático como el sur de China. En el contexto peruano, este tipo de precipitación es poco común, debido a la ubicación geográfica y las condiciones climáticas particulares del país.

Figura 5.

Precipitación ciclónica



Fuente: (Villón Bejar, 2002)

2.1.1.5. Infiltración

La infiltración corresponde al volumen de agua que penetra en el suelo. Una parte de este volumen circula en la zona no saturada, sobre el nivel freático, generando un flujo intermedio que finalmente puede convertirse en escorrentía superficial. La otra fracción continúa descendiendo a

través del perfil del suelo hasta alcanzar el acuífero mediante el proceso denominado percolación (Mediero Ordueña, 2021).

Según lo indicado por (Chow et al., 1994), la infiltración constituye un proceso esencial dentro del ciclo hidrológico. Este fenómeno consiste en la entrada o penetración del agua desde la superficie del terreno hacia las capas subyacentes del suelo. Es decir, el agua proveniente de lluvias o riegos logra atravesar la capa superficial e incorporarse en el perfil del suelo, alimentando eventualmente los acuíferos subterráneos. La tasa o velocidad con la que se produce este ingreso de agua depende de múltiples variables, tanto físicas como ambientales.

Entre los principales factores que influyen en la infiltración se encuentran la textura del suelo, su grado de compactación, la presencia de vegetación superficial y el tipo de cobertura del terreno. Además, las características internas del suelo, como su porosidad, estructura y capacidad de conducción hidráulica juegan un papel determinante. Otro aspecto importante es la cantidad de humedad ya existente en el suelo, la cual puede ralentizar o facilitar la absorción de nuevas precipitaciones. La infiltración, por tanto, no solo regula la disponibilidad de agua en el subsuelo, sino que también influye directamente en el escurrimiento superficial, la erosión del terreno y la recarga de fuentes subterráneas.

2.1.1.6. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial es el volumen de agua que fluye directamente sobre la superficie terrestre, conformando los cauces de los ríos y acumulándose en cuerpos de agua como lagos y embalses (Mediero Ordueña, 2021).

El escurrimiento superficial es el flujo de agua que se genera inmediatamente después de la lluvia, cuando el suelo ya no tiene capacidad para absorber más agua. (Villón Bejar, 2002)

explica que esta forma de escorrentía se origina de la fracción de la precipitación que no se infiltra y se desplaza sobre la superficie del terreno. Tiene un impacto inmediato y es responsable de los flujos más rápidos hacia canales y cuerpos de agua cercanos.

Este tipo de escurrimiento es el principal causante de la erosión del suelo y del transporte de sedimentos y contaminantes. La cantidad de escurrimiento superficial depende de la pendiente del terreno, la vegetación presente, y la intensidad de la lluvia. Cuando se supera un umbral específico de saturación, el excedente de precipitación se denomina “precipitación en exceso” y es la fuente directa de este escurrimiento.

2.1.1.7. Flujo subterráneo

El flujo subterráneo es el volumen de agua que se desplaza a través del subsuelo. Este puede emerger en la superficie en forma de manantiales y contribuir a la escorrentía superficial, o bien continuar su recorrido hasta descargar directamente en el mar (Mediero Ordueña, 2021).

El escurrimiento subterráneo, también conocido como flujo base, está compuesto por el agua que ha infiltrado profundamente y ha alcanzado los acuíferos subterráneos. (Villón Bejar, 2002) afirma que este flujo proviene de la recarga del agua subterránea una vez que el suelo se encuentra saturado. Este tipo de escurrimiento suele mantenerse incluso en períodos secos, constituyendo una fuente continua para ríos y manantiales.

El escurrimiento subterráneo es esencial para mantener la estabilidad hídrica de muchas cuencas, especialmente en zonas áridas. Su estudio requiere técnicas de modelación hidrogeológica, análisis de niveles freáticos y ensayos de permeabilidad. Además, su lenta respuesta ante las lluvias lo convierte en una reserva hídrica vital en tiempos de sequía.

2.1.2. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica corresponde al área del terreno que canaliza las aguas pluviales hacia un mismo sistema fluvial. Este espacio constituye un receptor natural que conduce el escurrimiento superficial, aunque parte del agua se desvía a través de procesos de infiltración y evapotranspiración. Sus límites están definidos por las líneas divisorias que la distinguen de cuencas colindantes. De igual modo, el término hoya hidrográfica hace referencia a un territorio bien delimitado en el que las aguas, tanto superficiales como subterráneas, son recolectadas y transportadas por cauces continuos o intermitentes hasta confluir en un río principal, en un cuerpo de agua o en el mar, conformando un sistema de drenaje (Torres & Aragón, 2018).

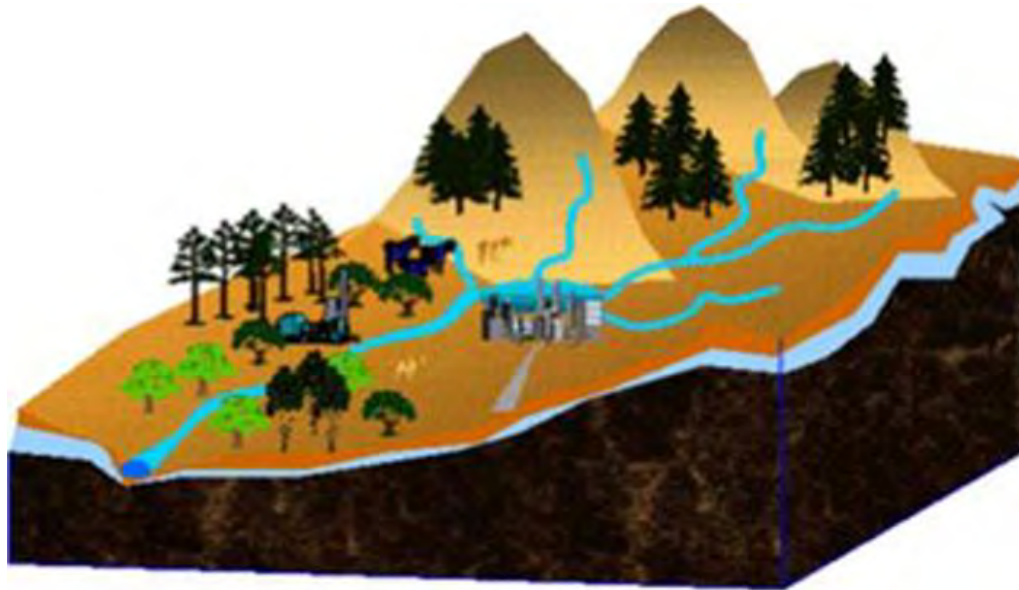
Una cuenca hidrográfica también se puede definirse como una unidad territorial o espacio geográfico delimitado por características topográficas específicas, en el cual todas las aguas provenientes de precipitaciones y escorrentías convergen hacia un mismo cauce principal. Este cauce puede tratarse de un río, quebrada, arroyo o cualquier otro tipo de corriente natural. En su recorrido, dichas aguas pueden alimentarse de afluentes secundarios, que también forman parte integral del sistema de la cuenca. El área que compone una cuenca está determinada por divisorias naturales del terreno, como cumbres, montañas o cerros, conocidas técnicamente como "divortium aquarum", que la separan de otras cuencas vecinas.

Este sistema de drenaje natural permite una organización lógica del flujo del agua en el territorio, facilitando su estudio, monitoreo y manejo. Las cuencas hidrográficas tienen una gran importancia tanto ecológica como socioeconómica, ya que son la base de múltiples actividades humanas, tales como la agricultura, la generación de energía hidroeléctrica, el abastecimiento de agua potable y el control de inundaciones. Por tanto, una adecuada planificación y gestión de las

cuencas es esencial para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos y la seguridad de las poblaciones asentadas en sus márgenes.

Figura 6.

Cuenca Hidrográfica



Fuente: (Ordoñez Gálvez, 2011)

2.1.2.1. Partes de la cuenca

2.1.2.1.1. Parte alta

Se ubica por lo general en áreas de montaña o en las partes altas de los cerros, cuya delimitación está dada por las líneas divisorias de aguas. Esta zona se caracteriza por pendientes pronunciadas, valles reducidos y una marcada predominancia de procesos fluviales erosivos.

2.1.2.1.2. Parte media

Se trata del sector en el que el cauce principal presenta un trayecto más definido. La pendiente es menos pronunciada en comparación con la zona superior, y los procesos de erosión

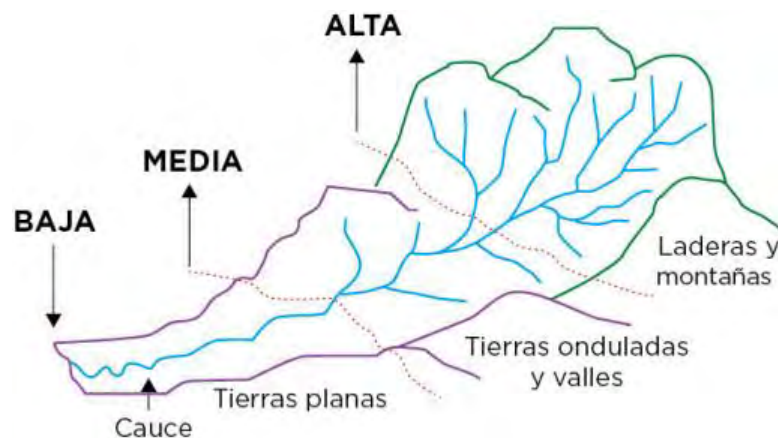
ocurren de manera más moderada. En esta área se incorporan aportes provenientes de cauces secundarios.

2.1.2.1.3. Parte baja

Corresponde al tramo donde se presenta un cambio brusco en la pendiente, lo que ocasiona que el río desemboque en zonas más bajas. El curso del cauce adopta formas sinuosas o divagantes, y en este sector predomina el proceso de sedimentación.

Figura 7.

Partes de una cuenca hidrográfica



Fuente: (Torres & Aragón, 2018)

2.1.2.2. Geomorfología de la cuenca

2.1.2.2.1. Área de drenaje

El área de drenaje corresponde a la superficie delimitada de una cuenca, la cual puede dividirse en subcuencas cuando sea necesario. Este parámetro permite estimar la capacidad de la precipitación para generar un volumen de agua. Dicho volumen se considera bajo el supuesto de que la lluvia se distribuye de manera uniforme sobre toda la superficie, lo que equivale a una

lámina de agua constante. Al multiplicar esta lámina por el área de drenaje, se obtiene el volumen de esorrentía producido por las precipitaciones (Iparraguirre Huaranga & Arias García, 2018).

2.1.2.2.2. Longitud de la cuenca

La longitud de una cuenca o subcuenca se define como la distancia comprendida entre el punto de salida del cauce principal y el límite superior de la cuenca. Esta línea no necesariamente conecta el punto de descarga con el extremo más alejado del área, sino que debe trazarse siguiendo el recorrido por donde circula el mayor volumen de agua (Iparraguirre Huaranga & Arias García, 2018).

2.1.2.2.3. Pendiente de la cuenca

La pendiente de una cuenca o subcuenca se define como la variación de la altitud en relación con la distancia recorrida por el cauce principal, calculada mediante la ecuación 1. Para este cálculo no se consideran las cotas extremas de la cuenca, sino las elevaciones que se encuentran a lo largo del trayecto de la corriente principal (Zapana Arpasi, 2019).

$$S = \frac{\Delta E}{L} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

S : Pendiente de cuenca.

ΔE : Diferencia de cotas.

L : Longitud de tramo.

2.1.2.2.4. Forma de la cuenca

La forma de una cuenca o subcuenca resulta relevante porque permite identificar el recorrido que seguirá el agua acumulada en la superficie y estimar la intensidad con la que se

concentrará el caudal en el punto de salida. El flujo que discurre sobre el terreno recibe el nombre de esorrentía (Iparraguirre Huaranga & Arias García, 2018).

2.1.2.2.5. Altitud de la cuenca

Es la altura media de una cuenca se define como la elevación promedio de su superficie respecto al nivel de referencia de la estación de aforo ubicada en la desembocadura. Este valor es importante porque la variación altitudinal influye directamente en la distribución de la temperatura dentro de la cuenca, lo que genera la presencia de microclimas y hábitats particulares de acuerdo a las condiciones locales. Asimismo, la altura media permite identificar la variación espacial del escurrimiento, ofreciendo un criterio útil para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas de la región, ya que la altitud afecta tanto la precipitación como la disponibilidad de recursos hídricos (Zapana Arpasi, 2019).

2.1.2.2.6. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica muestra la variación del área drenada de una cuenca en función de su altitud. Para elaborarla, en el eje horizontal se representan los valores del área acumulada drenada, expresados en kilómetros cuadrados o en porcentaje del total; mientras que en el eje vertical se colocan las alturas correspondientes, usualmente en metros (Zapana Arpasi, 2019).

2.1.2.2.7. Frecuencia de altitudes

La frecuencia de altitudes se vincula con la variabilidad climática y ecológica, ya que una cuenca que abarca diversos pisos altitudinales suele presentar contrastes marcados en precipitación y temperatura. Estas variaciones generan condiciones propicias para la existencia de múltiples ecosistemas y microclimas, lo que incrementa la diversidad ambiental del territorio. También se podría decir que es una representación gráfica que relaciona la altitud de una cuenca hidrográfica con el porcentaje acumulado de su área (Zapana Arpasi, 2019).

Se obtiene de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja.

$$DA = HM - Hm \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

DA: Diferencia de altitudes

HM: Altura máxima

Hm: Altura mínima.

2.1.2.2.8. Coeficiente de compacidad

Fue propuesto por Gravelius (1914) y constituye un indicador de la compacidad o tendencia a la circularidad de la cuenca, lo cual influye en la concentración del escurrimiento. El coeficiente de compacidad es un parámetro morfométrico que permite comparar la forma de una cuenca hidrográfica con la de una circunferencia, considerada la figura geométrica más compacta (Zapana Arpasi, 2019).

Este índice se determina mediante la siguiente expresión:

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi r} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Kc: coeficiente de Compacidad, es adimensional.

P: perímetro de la cuenca en km.

Pc: es el perímetro de la circunferencia en km.

r: es el radio de la circunferencia en km que también puede ser expresada con la formula como:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

r: es el radio de la circunferencia en km.

A: es el área de la cuenca en km².

Remplazando la expresión de r en la ecuación 3, se obtiene la siguiente expresión:

$$k_c = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

2.1.2.3. Rectángulo equivalente

El rectángulo equivalente consiste en representar geoméricamente una cuenca real mediante un rectángulo cuyas dimensiones L y l mantienen el mismo perímetro que la cuenca original, de modo que las curvas de nivel se aproximen a la distribución altitudinal real. Esta cuenca teórica conserva tanto el coeficiente de compacidad como la distribución de alturas de la cuenca original, lo que permite simplificar su análisis geomorfológico e hidrológico sin perder las características esenciales del relieve (Zapana Arpasi, 2019).

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

$$l = \frac{K_c\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] \quad (\text{Ecuación 7})$$

L: altura del rectángulo en km.

l: base del rectángulo en km.

Kc: coeficiente de compacidad, es adimensional.

A: superficie de la cuenca en km².

2.1.3. Modelos Hidrológicos

Un modelo hidrológico se entiende como una representación matemática del ciclo hidrológico en una zona específica, cuyo propósito es describir la relación entre la precipitación y la escorrentía. Estos modelos buscan reducir la complejidad del comportamiento real del sistema mediante la identificación de los procesos esenciales que controlan su funcionamiento. Sin embargo, a mayor grado de simplificación, los resultados suelen ser menos exactos. En este sentido, un sistema hidrológico integra diversos procesos físicos, químicos y biológicos que transforman variables de entrada en variables de salida (Zapana Arpasi, 2019).

Un modelo hidrológico puede entenderse como una representación matemática simplificada de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro de un sistema hidrológico. Su aplicación permite generar información comparable a la obtenida en estaciones de monitoreo, como registros de caudales medios diarios, volúmenes de escorrentía anuales y mensuales, además de estimaciones de caudales máximos y características detalladas de los hidrogramas (Iparraguirre Huaranga & Arias García, 2018).

El comportamiento del sistema hidrológico natural es intrínsecamente complejo debido a la variedad de factores que influyen en sus componentes y a la interacción dinámica entre ellos. Es por esto que los modelos hidrológicos son herramientas indispensables que permiten representar, mediante formulaciones matemáticas y simulaciones computacionales, los procesos físicos que ocurren dentro de una cuenca hidrográfica. Estos modelos tienen como finalidad interpretar, predecir y gestionar el movimiento y almacenamiento del agua en todas sus fases, desde la precipitación hasta la escorrentía y la infiltración.

Existen distintos tipos de modelos hidrológicos, cada uno adaptado a objetivos específicos como la prevención de inundaciones, la planificación de obras hidráulicas, la operación de

embalses, el estudio del impacto ambiental o la optimización del uso del recurso hídrico. La selección de un modelo apropiado depende de la escala de análisis, la disponibilidad de datos y los resultados esperados. Entre los principales insumos necesarios se encuentran datos climáticos (como precipitaciones, temperatura, humedad, viento y evaporación), topográficos (mapas de elevación, redes de drenaje), edáficos (tipos y estructuras de suelos), geológicos (litología, estratigrafía) y de cobertura del suelo (uso de la tierra, vegetación). Los modelos permiten generar predicciones confiables dentro de márgenes de error aceptables, lo cual es crucial para la toma de decisiones en la gestión integrada de los recursos hídricos, tanto en el presente como en escenarios futuros de cambio climático o expansión urbana. Como señalan (Singh & Woolhiser, 2002a), la precisión de estos modelos mejora con la calidad de la información disponible, permitiendo una representación más cercana a la realidad hidrológica.

Figura 8.

Los modelos hidrológicos conceptos de parametrización diferentes

	Estructura del Modelo	Estructura de Parámetros
Agregado		 θ : Conjunto de Parámetros Únicos
Semi Distribuido		 θ_i : Conjunto de Parámetros de la Subcuenca $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_{n-1} \neq \theta_n$ n : Número de Subcuencas
Distribuido		 θ_i : Conjunto de Parámetros de la Grilla $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_{n-1} \neq \theta_n$ n : Numero de Grillas

Fuente: Adaptada por (Centeno T. 2022a)

2.1.3.1. Elementos de los modelos hidrológicos

a. Variables de entrada:

Las variables de entrada en los modelos hidrológicos son todos aquellos datos externos e independientes que se introducen al sistema para permitir su simulación a través de ecuaciones matemáticas. Estas variables no dependen de la estructura interna del modelo, sino que provienen del entorno físico y climático de la cuenca. Entre los ejemplos más comunes se incluyen la precipitación, que representa el volumen de agua que cae sobre la superficie terrestre; la temperatura ambiental, que influye directamente en la evaporación; y la evapotranspiración, que es el resultado combinado de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Estos datos suelen registrarse de forma continua mediante estaciones meteorológicas y su análisis es clave para entender el comportamiento hidrológico de una región determinada.

b. Parámetros:

Los parámetros hidrológicos son elementos del modelo que, en general, se consideran constantes durante el tiempo de simulación. Aunque pueden ser ajustados para la calibración del modelo, una vez establecidos, permanecen fijos dentro del sistema. Estos valores representan características propias del medio físico, como el tipo de suelo, la cobertura vegetal o la topografía, y son esenciales para reflejar el comportamiento real del sistema hidrológico. Algunos ejemplos típicos incluyen la velocidad de infiltración del agua en el suelo, que determina qué cantidad de agua se filtra y cuánto escapa como escorrentía; los coeficientes de descarga que regulan la velocidad del flujo en canales o ríos; y la capacidad de campo del suelo, que es la cantidad máxima de agua que puede retener antes de saturarse.

c. Variables de estado:

Las variables de estado representan el estado dinámico del sistema hidrológico en un momento dado. Son dependientes tanto de las variables de entrada como de los parámetros y se actualizan constantemente durante el proceso de simulación. Estas variables permiten conocer la condición actual del sistema, y su evolución en el tiempo es clave para entender cómo responde la cuenca ante distintos estímulos externos. Por ejemplo, la humedad del suelo puede variar considerablemente según la intensidad y duración de las lluvias, la textura del suelo o la pendiente del terreno. Asimismo, el almacenamiento de agua en reservorios o tanques de retención es otra variable de estado que cambia con el tiempo, dependiendo del balance entre entradas (como la lluvia) y salidas (como la infiltración o la evaporación).

d. Salidas:

Las salidas del modelo son los resultados obtenidos luego de aplicar las variables de entrada y los parámetros al sistema, a través de las ecuaciones que lo gobiernan. Estos resultados son de gran importancia para el análisis hidrológico, ya que proporcionan la información necesaria para la toma de decisiones en la gestión del agua. Las salidas más relevantes incluyen los caudales intermedios generados en diferentes puntos de la cuenca, el caudal final o escurrimiento total que se produce al final del sistema, y otros procesos como la infiltración acumulada o el volumen de agua almacenado. Estos datos permiten, por ejemplo, planificar obras hidráulicas, diseñar sistemas de drenaje urbano o evaluar el riesgo de inundaciones.

2.1.3.2. Clasificación de los modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos pueden agruparse de distintas maneras dependiendo del enfoque que se utilice para su clasificación. Esta diversidad de categorías responde al propósito del modelo, los métodos matemáticos empleados, la forma en que se representa el espacio geográfico, y la escala temporal considerada. Las clasificaciones más comunes abarcan desde modelos empíricos

que dependen fuertemente de datos experimentales, hasta modelos distribuidos que simulan los procesos hidrológicos en distintas porciones del territorio. A continuación, se detallan los tipos principales:

2.1.3.2.1. Modelo empírico

Según (Ponce, 1989), los modelos empíricos se basan en observaciones y datos medidos directamente en el campo. Su estructura no se construye necesariamente a partir de principios físicos, sino que utiliza fórmulas o relaciones estadísticas derivadas de los datos disponibles. Estas fórmulas permiten identificar patrones significativos entre variables que se repiten con frecuencia en el comportamiento de las cuencas. Por tanto, este tipo de modelo es útil cuando se dispone de abundante información histórica y se desea una herramienta sencilla y rápida para estimaciones. Sin embargo, su principal limitación radica en su aplicabilidad, ya que su validez está restringida al área y condiciones donde se obtuvieron los datos originales.

2.1.3.2.2. Modelo de base física

Vélez (2008) señala que este tipo de modelo utiliza las leyes fundamentales de la física para describir el movimiento del agua y la energía en el sistema hidrológico. Emplea ecuaciones completas de conservación de masa, energía y cantidad de movimiento, como las ecuaciones de Navier-Stokes o el balance hídrico. A pesar de su precisión teórica, su aplicación práctica puede verse limitada por la complejidad matemática y la necesidad de contar con información detallada del medio físico. Además, en algunas ocasiones, estas ecuaciones no se ajustan bien a escalas pequeñas como la de eventos puntuales o cuencas muy reducidas, lo que obliga a simplificar ciertos procesos.

2.1.3.2.3. Modelo conceptual

De acuerdo con (Ponce, 1989), los modelos conceptuales representan una simplificación de los procesos naturales. No pretenden replicar cada fenómeno con exactitud, sino capturar sus efectos principales mediante descripciones matemáticas sencillas, como ecuaciones diferenciales ordinarias. Estos modelos están contruidos a partir de parámetros que, aunque no siempre tienen una base física directa, permiten simular el comportamiento del sistema con suficiente realismo. La popularidad de los modelos conceptuales se debe a su equilibrio entre realismo y simplicidad, lo que los convierte en herramientas útiles para la toma de decisiones en ingeniería, especialmente cuando no se dispone de información suficiente para un modelo físico completo.

2.1.3.2.4. Modelos determinísticos

(Chow et al., 1994) definen los modelos determinísticos como aquellos en los que las relaciones entre entradas y salidas son exactas y predecibles. En otras palabras, si se introduce un conjunto específico de datos al modelo, siempre se obtendrá el mismo resultado. No existe componente aleatorio en su estructura, lo que los hace ideales para pronósticos precisos en condiciones controladas. Estos modelos se utilizan ampliamente cuando se quiere simular escenarios definidos, como el diseño de estructuras hidráulicas o la gestión de embalses.

2.1.3.2.5. Modelos estocásticos

Según (Chow et al., 1994), los modelos estocásticos integran la incertidumbre y la aleatoriedad en su funcionamiento. A diferencia de los modelos determinísticos, aquí una misma entrada puede generar distintas salidas, dependiendo del comportamiento probabilístico de ciertas variables. Este enfoque es útil cuando se trabaja con fenómenos que presentan una alta variabilidad, como las precipitaciones o el caudal de los ríos. Los modelos estocásticos permiten

generar escenarios posibles y cuantificar el grado de incertidumbre en cada uno, siendo valiosos para análisis de riesgo e impactos climáticos.

2.1.3.2.6. Modelos agregados

(Chow et al., 1994) explican que en los modelos agregados se considera al sistema hidrológico como un solo punto, sin distribución espacial. Todos los procesos que ocurren dentro de la cuenca se representan como si sucedieran en un solo lugar, y los valores se expresan como promedios globales. Este tipo de enfoque es adecuado cuando el interés se centra en analizar el comportamiento general de una cuenca sin necesidad de detallar procesos locales. Aunque sacrifican precisión espacial, son mucho más sencillos y eficientes desde el punto de vista computacional.

2.1.3.2.7. Modelos distribuidos

En contraposición a los modelos agregados, los modelos distribuidos, según (Chow et al., 1994), dividen el espacio geográfico en pequeñas unidades o celdas, en las que se evalúan los procesos hidrológicos de forma independiente. Cada celda tiene sus propias variables y parámetros, lo que permite representar con mayor detalle la heterogeneidad del terreno. Este tipo de modelo es especialmente útil cuando se requiere analizar el impacto de lluvias localizadas, cambios en el uso del suelo o prácticas agrícolas específicas. Sin embargo, su implementación requiere de gran cantidad de datos y un mayor esfuerzo computacional.

2.1.3.2.8. Modelos semidistribuidos

Según (Beven, 2012), los modelos semidistribuidos combinan elementos de los modelos distribuidos y agregados, dividiendo la cuenca en subcuencas o unidades hidrológicamente homogéneas dentro de las cuales se aplica un enfoque agregado, logrando así una representación espacial más realista que los modelos completamente agregados. Este enfoque intermedio resulta

particularmente útil para capturar la variabilidad espacial y temporal de la respuesta hidrológica, especialmente en la simulación de eventos extremos como lluvias intensas o avenidas súbitas, sin incurrir en la elevada demanda de datos y cómputo que exigen los modelos completamente distribuidos.

2.1.3.3. Validación del modelo

Como indican (Klemeš, 1986), la validación del modelo constituye una fase crucial posterior a la calibración. Su objetivo principal es verificar que el modelo desarrollado se desempeñe correctamente cuando se aplican datos distintos a los usados en la etapa de ajuste (split-sample test). Para ello, se realizan simulaciones utilizando nuevas condiciones o eventos hidrológicos, y se evalúa si los resultados producidos se ajustan a la realidad observada. Esta etapa no solo demuestra la capacidad del modelo para generalizar su comportamiento ante diversas condiciones, sino también garantiza la confiabilidad de sus predicciones antes de aplicarlo con fines operativos o de gestión del recurso hídrico.

2.1.3.4. Proceso de modelación hidrológica

De acuerdo con (Chow et al., 1994), los procesos que conforman la modelación hidrológica consisten en la representación detallada de la transformación del agua en sus distintas fases a lo largo del ciclo hidrológico. Esta transformación se ve fuertemente condicionada por características físicas del entorno, tales como la geometría de la cuenca, la topografía del terreno, el tipo de suelo, y las condiciones atmosféricas. El comportamiento del agua en la naturaleza no solo depende de su propio movimiento, sino también de su interacción con otros elementos del medio como el calor, la energía solar, y el aire. Además, en ciertas situaciones es necesario considerar los cambios de fase del agua —de sólido a líquido o de líquido a vapor— para una comprensión más precisa del sistema hidrológico. Estas interacciones están reguladas por leyes físicas fundamentales como

la conservación de masa, la conservación de la energía y la cantidad de movimiento, lo cual permite desarrollar modelos que simulen de manera realista el comportamiento del agua en una cuenca específica bajo diferentes condiciones climáticas y físicas.

2.1.3.5. Análisis de sensibilidad

(Aguilar & Polo, 2005) señalan que el análisis de sensibilidad en un modelo hidrológico permite evaluar cómo influye la variación de ciertos parámetros en los resultados obtenidos por el modelo. Este procedimiento suele comenzar con la división de la cuenca hidrográfica en varias subcuencas, utilizando datos de elevación del terreno obtenidos generalmente a partir de modelos digitales de elevación. Luego se selecciona una de estas subcuencas como área de estudio para implementar el modelo. Posteriormente, se genera la red de drenaje correspondiente y se extraen los parámetros geomorfológicos necesarios para alimentar el modelo hidrológico. A continuación, se ingresan los datos hidrometeorológicos relevantes, como la precipitación, temperatura o humedad del suelo, y finalmente se ejecutan múltiples simulaciones. El objetivo es observar cómo responde el modelo ante pequeñas modificaciones en cada parámetro, identificando así aquellos que tienen mayor impacto en la salida del modelo y, por lo tanto, requieren mayor precisión en su determinación.

2.1.4. Proceso de modelación hidrológica

El proceso de modelación consiste en la realización de operaciones dentro de un sistema para la obtención de las salidas del mismo. En este caso el sistema con que se trabaja es un sistema hidrológico o cuenca, en donde se tiene como datos de entrada la precipitación y la evapotranspiración y mediante las operaciones definidas dentro del modelo que se emplee se obtendrán como salida los caudales en los puntos de interés. El desarrollo de un modelo lleva implícitas una serie de fases que, aunque secuenciales, no son totalmente independientes, pues

deben ser comprobadas, y el modelo verificado hasta que finalmente se considere apto para las simulaciones para las que ha sido concebido (Zapana Arpasi, 2019).

El proceso de modelación de un sistema hidrológico, en términos generales, comprende las siguientes etapas:

1. Definición del sistema

- ❖ Delimitación de la cuenca y caracterización de sus parámetros físicos (área, pendiente, altitud, uso del suelo).

2. Identificación de entradas y salidas

- ❖ Selección de las variables de entrada (precipitación, temperatura, evapotranspiración, humedad del suelo, entre otras).
- ❖ Determinación de las variables de salida (escorrentía, caudales medios, caudales máximos).

3. Estructuración del modelo

- ❖ Selección del tipo de modelo hidrológico a emplear (agregado, semidistribuido, distribuido, ...).
- ❖ Definición de ecuaciones y parámetros de transformación lluvia–escorrentía.

4. Calibración y validación

- ❖ Ajuste de parámetros del modelo con datos observados en estaciones hidrométricas.
- ❖ Validación de los resultados mediante periodos independientes de información.

5. Aplicación y análisis de resultados

- ❖ Obtención de caudales simulados.
- ❖ Comparación con series observadas y análisis de desempeño del modelo.

Este procedimiento garantiza que la modelación sea capaz de reproducir de manera aceptable el comportamiento hidrológico de la cuenca, lo cual constituye la base para la planificación y gestión de los recursos hídricos.

2.1.4.1. Sistema de modelación hidrológica RS Minerve

RS Minerve (Routing System Minerve) es una plataforma de modelamiento desarrollada por el Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin (CREALP) e HydroCosmos S.A. y mejorada con la colaboración de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne, la Universidad Politécnica de Valencia y la asociación Hydro10. La plataforma permite la simulación de procesos de lluvia-escorrentía y el flujo de los ríos. Esta herramienta facilita el modelado de redes hidrológicas e hidráulicas complejas haciendo uso de un esquema conceptual semidistribuido. El modelo semidistribuido discrimina zonas de igual comportamiento hidrológico y las analiza de forma independiente para después superponer sus efectos. A pesar de ser una simplificación, representa mejor la variación del suelo y pendiente. La simulación hidrológica contempla procesos como el deshielo o el flujo superficial y subterráneo, así como elementos hidráulicos, ya sean aliviaderos o turbinas (Iparraguirre Huaranga & Arias García, 2018).

RS Minerve (CREALP, HydroCosmos SA y HydroLab) es una plataforma de libre acceso para el modelamiento hidrológico e hidráulico. Trabaja bajo un esquema semidistribuido, con el que reproduce tanto fenómenos naturales —escorrentía, fusión nival, almacenamiento subterráneo— como componentes de infraestructura hidráulica (represas, aliviaderos, turbinas). Su compatibilidad con distintos modelos lluvia-escorrentía (SOCONT, SAC-SMA, GR4J, entre

otros) permite ajustarlo a cada cuenca (García Hernández et al., 2019). El empleo de RS Minerve mejora la precisión de los resultados obtenidos en estudios de hidrología aplicada, facilitando una gestión más eficiente y anticipada de los recursos hídricos. Además, los resultados generados permiten elaborar escenarios prospectivos, que son fundamentales para la planificación y toma de decisiones estratégicas ante posibles eventos extremos como inundaciones o sequías. Esta capacidad de simular diferentes condiciones hidrológicas ayuda tanto en el diseño de obras hidráulicas como en la implementación de medidas de mitigación de riesgos naturales.

RS Minerve fue utilizado para el estudio de cuencas en Suiza, España, Perú, Brasil, Francia y Nepal. Sin embargo, de todos estos casos analizados con la plataforma se diferencian dos usos marcados: el académico y el de prevención. Dentro de los usos académicos se pueden destacar los casos del río Rímac y Chillón en Perú y Gállego-Cinca en España. En el caso del río Rímac el fin fue realizar un cambio de escala temporal de diario a horario con ayuda de la plataforma. En el río Chillón se hizo una comparación entre los resultados obtenidos por los distintos modelos hidrológicos que proporciona la plataforma. Finalmente, en el sistema Gállego-Cinca el objetivo era modelar completamente el sistema y obtener un conocimiento completo del comportamiento de los recursos hídricos de la zona delimitada (Iparraguirre Huaranga & Arias García, 2018).

2.1.5. Modelos hidrológicos aplicados

Los modelos hidrológicos constituyen instrumentos esenciales para estudiar y reproducir el comportamiento de los sistemas hidrológicos, en particular en lo relacionado con la producción de caudales en las cuencas. Gracias a estos modelos, es posible simplificar los procesos del ciclo hidrológico, lo que facilita la estimación de la escorrentía, la gestión de los recursos hídricos y la planificación de obras de infraestructura hidráulica.

Los modelos que se van a utilizar en la presente investigación se encuentran:

2.1.5.1. Modelo Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier (GR4J)

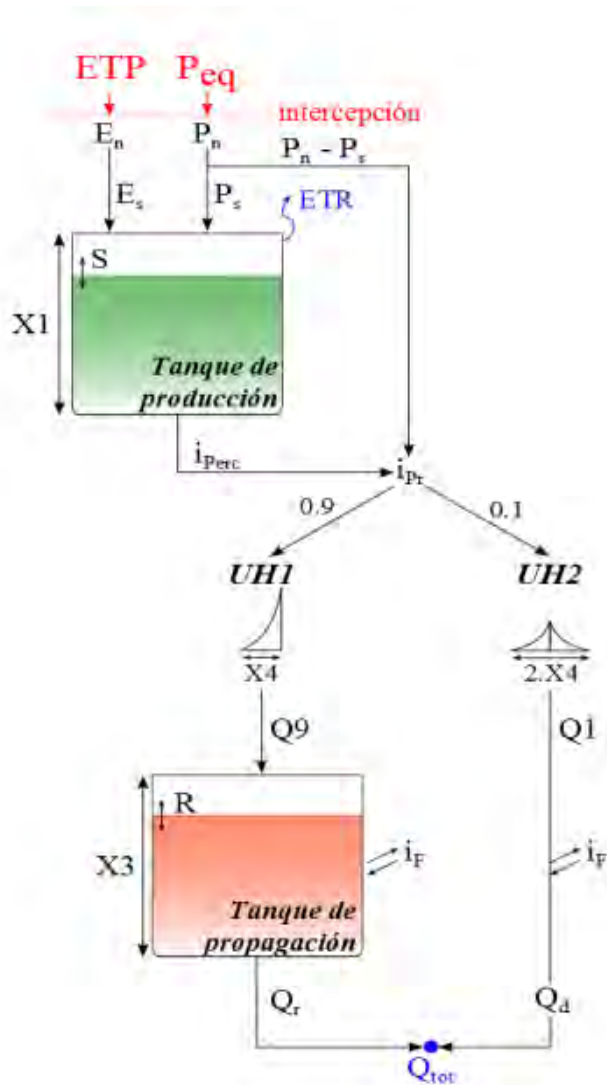
El modelo GR4J (acrónimo de "Génie Rural Á 4 Paramètres journaliers") es un modelo hidrológico conceptual agregado (global), de tipo determinístico y de simulación continua, desarrollado por Perrin, Michel y Andréassian (2003) en el Cemagref (hoy INRAE), Francia. Este modelo fue concebido para representar, de manera simplificada pero funcional, el funcionamiento hidrológico de una cuenca a través de una estructura conceptual, la cual se construye sobre bases físicas pero que emplea formulaciones matemáticas para simular los distintos procesos relacionados al ciclo del agua. Su diseño integra tanques de almacenamiento que permiten establecer el balance hídrico, haciendo posible la simulación del tránsito y transformación de la precipitación en escorrentía a nivel diario.

El GR4J está pensado para modelar caudales diarios a partir de un conjunto reducido de parámetros y datos de entrada. Requiere únicamente registros diarios de precipitación y de evapotranspiración potencial para operar, lo que lo convierte en una herramienta accesible y eficiente, incluso en contextos con limitada información hidrometeorológica. El modelo opera con cuatro parámetros clave y dos depósitos que representan los procesos de producción (almacenamiento del agua efectiva) y propagación (laminación y transferencia hacia la salida de la cuenca). Ambos componentes se encargan de retener y transformar la precipitación neta teniendo en cuenta pérdidas por infiltración, percolación y el contenido de humedad del suelo. Además, incorpora hidrogramas unitarios, los cuales permiten reproducir de forma más realista la respuesta de la cuenca frente a eventos de lluvia. En la figura se aprecia una representación esquemática del modelo GR4J, mostrando el flujo del agua desde su ingreso como precipitación hasta su salida como escorrentía.

El modelo Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier (GR4J) requiere como datos de ingreso, series de evapotranspiración y precipitación media diaria, así como una serie de caudal observado para el proceso de calibración. Este modelo muestra una estructura (Figura 9) que está configurada por dos reservorios: uno llamado "S" (reservorio de producción), que gestiona el balance entre precipitación y evapotranspiración y controla la humedad del suelo; y otro llamado "R" (reservorio de tránsito o routing), que regula la propagación del flujo y la respuesta lenta hacia la salida de la cuenca.

Figura 9.

Representación del Modelo GR4J



Fuente: (Foehn et al., 2014)

El modelo está constituido por 4 parámetros, estos parámetros son ajustados en el proceso de calibración para cada caso de estudio, al inicio de la simulación con el modelo, se requiere 2 valores iniciales para los parámetros R_{ini} y S_{ini} (Tabla 1). A continuación, se presenta un resumen de los parámetros esenciales que conforman el modelo GR4J, cada uno de ellos con su respectiva unidad de medida, descripción y rango operativo:

Tabla 1.*Parámetros y condiciones del modelo hidrológico GR4J*

Parámetro	Unidad	Descripción	Rango Operativo
x1	m	Representa la capacidad máxima de almacenamiento del depósito de producción. Es fundamental para simular la retención inicial de agua en la cuenca.	0.01 a 1.2
x2	m	Coefficiente que define el intercambio de agua entre el subsuelo y la atmósfera. Afecta las pérdidas por evaporación o absorción profunda.	-0.005 a 0.003
x3	m	Capacidad del segundo depósito encargado de la laminación o propagación del flujo hacia la salida de la cuenca. Influye en el tiempo de respuesta.	0.01 a 0.5
x4	días	Define el tiempo base del hidrograma unitario, reflejando el desfase entre la precipitación y la escorrentía generada.	-0.5 a 1
Sl _{ni}	mm	Cantidad de agua almacenada inicialmente en el depósito de producción. Se define según las condiciones iniciales de humedad del suelo.	-
Rl _{ni}	mm	Nivel inicial del almacenamiento en el depósito de propagación. Permite ajustar la modelación desde un estado de base específico.	-

Fuente: (Foehn et al., 2014)

El modelo GR4J funciona mediante un tanque de producción que gestiona precipitación, almacenamiento, evapotranspiración y percolación. El agua se divide en dos rutas: una rápida y una lenta, cada una procesada con hidrogramas unitarios. La ruta lenta alimenta un tanque de propagación, cuya salida se suma con la escorrentía rápida para producir el caudal total. Los parámetros X1, X2, X3 y X4 controlan respectivamente la capacidad del tanque de producción, intercambio lateral, propagación y tiempo de respuesta.

2.1.5.2. Modelo Sacramento (SAC-SMA)

El modelo hidrológico conocido como SAC-SMA (acrónimo de Sacramento Soil Moisture Accounting) fue creado por especialistas del Centro de Predicción Fluvial, una división del

Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos, ubicado en Sacramento, California. Este modelo se clasifica como determinista y pertenece al grupo de los modelos matemáticos-conceptuales, debido a que representa de forma simplificada los procesos hidrológicos reales. Para lograr esto, emplea una estructura basada en principios físicos no aleatorios, donde se utilizan algoritmos matemáticos y una serie de almacenamientos que simulan el comportamiento del agua en sus diferentes fases, tanto en el suelo como en la superficie. A través de esta metodología, el SAC-SMA permite obtener una representación analítica del funcionamiento del ciclo hidrológico en una cuenca, lo que proporciona una comprensión detallada y cuantificable del sistema hídrico local.

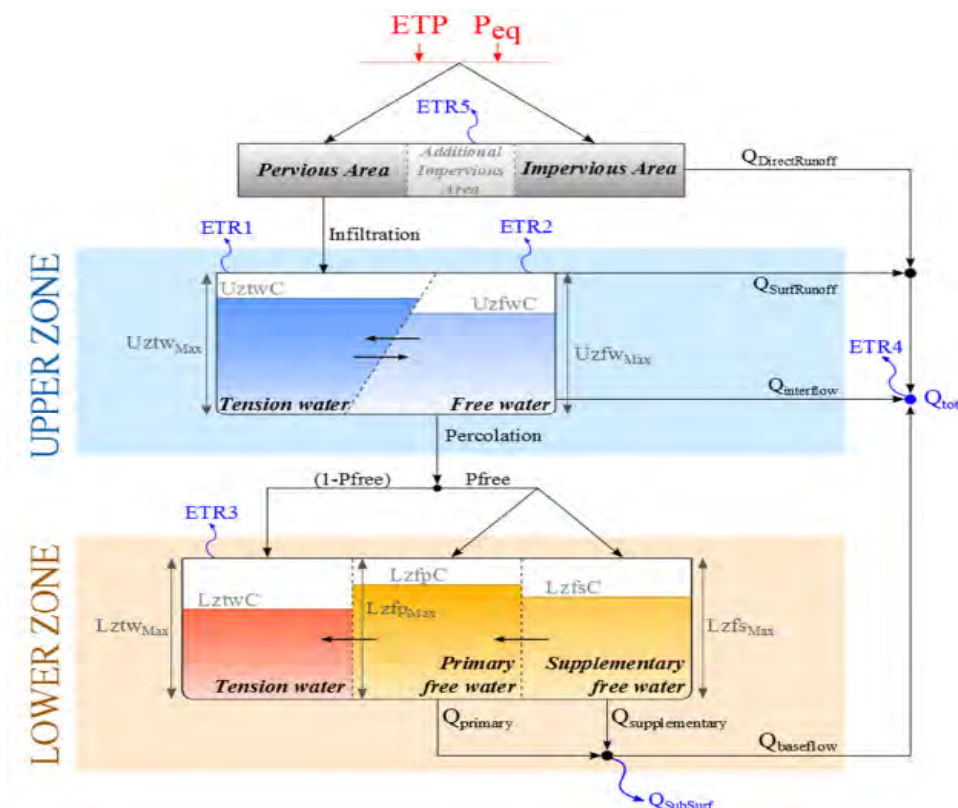
Este modelo requiere como insumos principales datos climáticos básicos, como la precipitación y la evapotranspiración diaria, así como también información precisa sobre la humedad del suelo. Estas variables son fundamentales para poder generar una serie temporal de caudales, los cuales son útiles para estudios hidrológicos de cuencas de gran extensión, generalmente superiores a los 100 km². La precisión del modelo SAC-SMA se basa en la calibración de dieciséis parámetros hidrológicos, lo cual representa una complejidad considerable. Por esta razón, su aplicación exige un conocimiento profundo y detallado de las características físicas, climáticas y de uso del suelo de la cuenca en análisis. En comparación con otros modelos, este presenta una estructura más sofisticada, compuesta por tres tipos de reservorios que interactúan entre sí.

El primer componente del modelo se refiere a un sistema dividido en zonas permeables e impermeables. En estas últimas, cuando la intensidad de la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo, se genera escorrentía superficial inmediata. Este fenómeno es clave para comprender los picos de caudal durante eventos intensos de lluvia. El segundo elemento lo

constituye la llamada zona superior del suelo (Upper Zone), en la cual se produce la escorrentía subsuperficial. Esta se refiere al movimiento lateral del agua dentro de los primeros horizontes del suelo, y solo se activa cuando esta zona ha alcanzado su capacidad máxima de retención, dando lugar a un flujo que alimenta al caudal base. Finalmente, el tercer reservorio representa la zona inferior del suelo (Lower Zone), donde el agua es almacenada por periodos más largos y se libera lentamente. Esta zona está relacionada con procesos de descarga subterránea profunda, que tiene una respuesta temporal más lenta ante los eventos de precipitación. En conjunto, estos tres sistemas permiten al modelo simular con gran realismo el comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica. La figura muestra gráficamente los componentes y las conexiones internas del modelo SAC-SMA.

Figura 10.

Representación esquemática del Modelo SAC-SMA



Fuente: (Foehn et al., 2014)

Parámetros y Condiciones del Modelo SAC-SMA

A continuación, se presenta una tabla detallada con los principales parámetros y rangos utilizados en el modelo SAC-SMA. Estos elementos controlan el funcionamiento del modelo y deben calibrarse cuidadosamente para reflejar adecuadamente las condiciones de la cuenca a estudiar.

Tabla 2.

Parámetros y condiciones del modelo SAC-SMA

Parámetro	Unidad	Descripción	Rango
Adimp	-	Proporción adicional de área impermeable por saturación	0 a 0.2
Pctim	-	Porcentaje de área con impermeabilidad permanente	0 a 0.05
Riva	-	Proporción de cobertura vegetal ribereña	0 a 0.2
UztlwMax	m	Capacidad máxima de retención por tensión en la zona superior	0.01 a 0.15
UzfwMax	m	Capacidad máxima de almacenamiento de agua libre en la zona superior	0.005 a 0.10
Uzk	1/día	Tasa de agotamiento del agua libre en la zona alta	0.10 a 0.75
Zperc	-	Relación entre tasas de percolación máximas y mínimas	10 a 350
Rexp	-	Exponente que define la forma de la curva de percolación	1 a 4
Pfree	-	Porcentaje de percolación directa hacia zonas más profundas	0 a 0.6
LztlwMax	m	Capacidad de agua retenida por tensión en la zona inferior	0.05 a 0.40
LzfpMax	m	Capacidad máxima de agua libre primaria en la zona inferior	0.03 a 0.80
LzfsMax	m	Capacidad de agua libre secundaria en la zona inferior	0.01 a 0.40
Rserv	-	Proporción de agua no transferible entre reservorios inferiores	0 a 1
Lzpk	1/día	Tasa de agotamiento del almacenamiento primario inferior	0.001 a 0.03

Lzsk	1/día	Tasa de descarga del almacenamiento secundario inferior	0.02 a 0.3
Side	-	Fracción de percolación profunda que drena directamente	0 a 0.5

Fuente: (Foehn et al., 2014)

Tabla 3.

Condiciones iniciales del modelo SAC-SMA

Parámetro	Unidad	Descripción
AdimIni	m	Nivel inicial de agua en el área impermeable saturada
UztlwIni	m	Contenido inicial de agua por tensión en la zona superior
UzfwIni	m	Contenido inicial de agua libre en la zona superior
LztlwIni	m	Agua por tensión inicial en la zona baja
LzfpIni	m	Agua libre primaria inicial en la zona baja
LzfsIni	m	Agua libre secundaria inicial en la zona baja

Fuente: (Foehn et al., 2014)

2.1.6. Importancia de la simulación de caudales

La simulación de caudales es una herramienta fundamental en la gestión de los recursos hídricos, esta nos permite describir y anticipar el comportamiento hidrológico de una cuenca en diferentes condiciones climáticas y de uso del suelo. Mediante los modelos hidrológicos se pueden estimar los volúmenes de escorrentía, caudales medios y máximos, así como identificar periodos de estiaje o crecidas, lo cual resulta de gran utilidad para la planificación y el diseño de obras hidráulicas. De igual manera, la simulación hidrológica cumple un rol fundamental en la prevención y reducción de riesgos asociados a eventos extremos, tales como sequías e inundaciones, contribuyendo tanto a la protección de las comunidades como a la conservación de los ecosistemas. Asimismo, permite analizar escenarios futuros vinculados al cambio climático, brindando una base científica para una gestión sostenible de los recursos hídricos en el largo plazo. En el ámbito académico e investigativo, la simulación de caudales constituye un recurso

metodológico valioso que facilita la comprensión de los procesos hidrológicos en distintas escalas de tiempo y espacio, apoyando la validación de hipótesis y el perfeccionamiento de los modelos predictivos (Elaboración propia).

2.2. Marco conceptual

Caudal: El caudal se define como el volumen de agua que circula a través de una sección transversal de un río por unidad de tiempo, generalmente expresado en m^3/s . Es la variable fundamental para la evaluación del comportamiento hidrológico de un río, ya que refleja la disponibilidad de agua, la influencia de la precipitación, la contribución subterránea y las variaciones climáticas. El análisis de caudales permite interpretar la dinámica del sistema hídrico, identificar periodos de abundancia o escasez y sirve de base para planificación, gestión del recurso y obras hidráulicas (Singh & Woolhiser, 2002b).

Modelo hidrológico: Es una representación matemática que permite simular los procesos del ciclo hidrológico, transformando variables climáticas como la precipitación y la evapotranspiración en escorrentía y caudal. Estos modelos resultan fundamentales para evaluar la disponibilidad hídrica, proyectar escenarios y apoyar la planificación de infraestructuras hidráulicas.

Modelo Sacramento: El modelo Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA) es un modelo conceptual, determinístico y de simulación continua, agregado por naturaleza y aplicado de forma semidistribuida al subdividir la cuenca en subcuencas, desarrollado por el National Weather Service de los Estados Unidos. Representa el comportamiento del agua dentro del suelo mediante distintos depósitos de almacenamiento, diferenciando zonas superficiales y profundas. Simula procesos como infiltración, percolación, escorrentía directa y flujo subterráneo. Gracias a su estructura detallada y capacidad de representar adecuadamente el comportamiento

hidrológico en diversas condiciones, es uno de los modelos más utilizados a nivel internacional (Burnash, 1995).

Modelo GR4J (Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier): El modelo GR4J (Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier) es un modelo conceptual parsimonioso desarrollado por el Cemagref (actualmente INRAE) de Francia. Se caracteriza por su simplicidad, ya que utiliza únicamente cuatro parámetros principales para simular el proceso lluvia–escorrentía. A pesar de su estructura reducida, presenta alta eficiencia en simulación de caudales diarios, siendo ampliamente aceptado en investigaciones hidrológicas (Perrin et al., 2003).

Calibración del modelo: La calibración consiste en ajustar los parámetros del modelo hasta lograr que los caudales simulados se asemejen lo más posible a los caudales observados. Se realiza usualmente en un período determinado de la serie histórica y requiere técnicas estadísticas que permitan evaluar la calidad del ajuste (Moriassi et al., 2007). Una calibración adecuada garantiza que el modelo represente correctamente la dinámica hidrológica de la cuenca.

Validación del modelo: Luego de calibrado, el modelo debe ser validado utilizando un periodo distinto al empleado anteriormente. Este proceso permite comprobar si el modelo mantiene su capacidad predictiva bajo condiciones diferentes (Moriassi et al., 2007). Si los resultados son satisfactorios, se considera que el modelo es confiable para simulaciones.

PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and hydrological Observations): Base de datos nacional de precipitación y caudales interpolados del SENAMHI, utilizada como insumo para modelos hidrológicos.

Nasa Power: Es una plataforma de datos climáticos obtenidos mediante observaciones satelitales y modelos de reanálisis de la NASA. Proporciona información continua de variables

como precipitación, temperatura y radiación, especialmente útil en zonas con escasa disponibilidad de estaciones meteorológicas. En estudios hidrológicos, se emplea como fuente complementaria para completar series climáticas y alimentar modelos cuando no existen datos locales validados.

Precipitación: La precipitación es el proceso mediante el cual el agua en estado líquido o sólido cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve o granizo. Representa la fuente principal de recarga hídrica en las cuencas y es una variable fundamental en cualquier proceso de modelación hidrológica debido a su influencia directa en la generación de escorrentía (Chow et al., 1994).

Temperatura: La temperatura es una variable climática determinante dentro del ciclo hidrológico. Influye en la evaporación, evapotranspiración, humedad del suelo y, en consecuencia, en la cantidad de agua que finalmente se convierte en escorrentía. En algunas cuencas también está asociada a procesos de fusión de nieve, afectando la disponibilidad hídrica temporal. Su incorporación en estudios hidrológicos permite una mejor comprensión del balance hídrico (Mediero Orduña, 2021).

Evapotranspiración: La evapotranspiración combina la evaporación del suelo y cuerpos de agua con la transpiración vegetal. Representa una de las principales pérdidas del sistema hidrológico y está influenciada por clima, temperatura, humedad del suelo y tipo de vegetación. Es un parámetro esencial para la simulación hidrológica, especialmente en estudios de balance hídrico (Singh & Woolhiser, 2002b).

Infiltración: La infiltración corresponde al ingreso del agua desde la superficie hacia el suelo. Parte del agua infiltrada permanece almacenada como humedad del suelo, mientras otra fracción continúa hacia capas más profundas alimentando acuíferos. La infiltración controla la

proporción de agua que se convierte en escorrentía superficial y depende de la textura del suelo, pendiente y cobertura vegetal (Chow et al., 1994).

Escorrentía superficial: La escorrentía superficial es el agua que fluye sobre el terreno cuando el suelo no puede infiltrar más agua o cuando las precipitaciones son intensas. Se desplaza hacia cauces naturales formando corrientes de agua temporales o permanentes. Tiene relación directa con inundaciones, erosión y transporte de sedimentos (Mediero Orduña, 2021).

Flujo subterráneo (Baseflow): El flujo subterráneo es el movimiento del agua a través de acuíferos subterráneos que posteriormente alimenta los ríos. Representa la fuente principal del caudal en periodos secos, garantizando la estabilidad de corrientes naturales. Su comprensión es vital para evaluar la disponibilidad hídrica a largo plazo (Villón Bejar, 2002).

Balance hídrico: El balance hídrico es la relación entre las entradas (precipitación), salidas (evaporación, escorrentía) y almacenamiento del agua en un sistema. Permite evaluar la disponibilidad hídrica y analizar el comportamiento de la cuenca bajo diferentes condiciones climáticas (Villón Bejar, 2002).

Humedad del suelo: La humedad del suelo corresponde al agua almacenada en los poros del terreno. Es clave para procesos agrícolas, infiltración y recarga subterránea. Controla la cantidad de escorrentía generada ante un evento de lluvia (Chow et al., 1994).

Tiempo de concentración: Es el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida. Determina el comportamiento del hidrograma y la rapidez de respuesta de la cuenca ante una tormenta (Ponce, 1989).

Hidrograma: Es la representación gráfica del caudal de un río en función del tiempo. Permite analizar caudales máximos, caudales base y comportamiento hidrológico de la cuenca ante lluvias intensas (Chow et al., 1994).

Modelación hidrológica: La modelación hidrológica consiste en representar matemáticamente los procesos lluvia–escorrentía para simular caudales y analizar el comportamiento de la cuenca. Constituye una herramienta fundamental para la planificación hídrica y diseño de infraestructura (Singh & Woolhiser, 2002).

Cuenca hidrográfica: Una cuenca hidrográfica es un territorio delimitado naturalmente por divisorias topográficas que captan el agua de precipitación y la conducen hacia un cauce principal y finalmente a un punto de salida común. Constituye la unidad básica para la gestión y estudio del recurso hídrico, pues dentro de ella interactúan procesos como infiltración, escorrentía, evaporación y almacenamiento. Las características físicas de la cuenca, como su área, pendiente, altitud, morfología y uso de suelo, influyen directamente en la generación de caudales y en la respuesta hidrológica ante eventos de precipitación. Por ello, el análisis hidrológico se realiza principalmente a escala de cuenca (Torres & Aragón, 2018; Chow, Maidment & Mays, 1994).

Coefficiente de Eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE): El coeficiente Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) es uno de los indicadores más utilizados en modelación hidrológica. Mide la eficiencia del modelo comparando los caudales simulados con los observados, evaluando qué tan bien las simulaciones replican la variabilidad temporal del caudal. Su valor varía generalmente entre $-\infty$ y 1, donde 1 representa un ajuste perfecto, valores cercanos a 0 indican que el modelo no es mejor que el promedio observado y valores negativos muestran un mal desempeño del modelo (Nash & Sutcliffe, 1970). Debido a su interpretación clara y amplio uso, es considerado un estándar en evaluación de modelos hidrológicos.

Coefficiente de Determinación (R^2): El coeficiente de determinación (R^2) refleja el grado de correlación entre los caudales observados y los simulados. Un valor cercano a 1 indica alta relación lineal entre ambos conjuntos de datos, mientras que valores bajos señalan escasa correspondencia. Aunque no mide directamente errores, es útil para analizar la capacidad del modelo para representar tendencias generales del comportamiento del río (Legates & McCabe, 1999).

2.3. Antecedentes empíricos de la investigación

2.3.1. Antecedentes locales

(Sánchez Bernardo, 2023) realizó la investigación titulada “Modelo hidrológico semidistribuido GR4J para implementar el pronóstico de inundaciones en las subcuencas del río Vilcanota, Cusco”, con el objetivo de evaluar el desempeño del modelo hidrológico GR4J en la simulación de caudales y su aplicación en el pronóstico de inundaciones. El estudio comprendió subcuencas del río Vilcanota y utilizó información hidrometeorológica proporcionada por el SENAMHI, conformada por registros diarios de precipitación, temperatura y caudales.

El modelo fue calibrado para el periodo 1999–2011 y validado para el periodo 2011–2020, empleando registros hidrológicos observados para evaluar su capacidad predictiva. Los resultados evidenciaron una alta concordancia entre los caudales observados y simulados, obteniéndose un coeficiente de eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE) de 0.85 durante la calibración y un valor cercano a 0.80 en la validación.

Con base en los caudales máximos simulados, se establecieron umbrales de alerta para diferentes periodos de retorno (2.33, 5 y 10 años), permitiendo definir niveles de alerta para las subcuencas evaluadas. Finalmente, el autor concluyó que el modelo GR4J constituye una herramienta confiable para la simulación hidrológica y el pronóstico de inundaciones en cuencas

andinas, siendo una alternativa adecuada para el desarrollo de sistemas de alerta temprana y la gestión del riesgo por inundaciones.

2.3.2. Antecedentes nacionales

(Aliaga Araujo, 2017) desarrolló un estudio de modelación hidrológica en la cuenca del río Huallaga, aguas arriba del punto de control Santa Lorenza, con la finalidad de evaluar y cuantificar los recursos hídricos en términos de cantidad y oportunidad. La cuenca fue dividida en subcuencas y bandas altitudinales, permitiendo una representación semidistribuida del comportamiento hidrológico. Para la simulación se utilizó el sistema informático RS-MINERVE, aplicando los modelos hidrológicos de precipitación–escorrentía SAC-SMA, SOCONT, HBV y GR4J, a partir de información pluviométrica, climatológica e hidrométrica proveniente de estaciones del SENAMHI y la Autoridad Nacional del Agua. La calibración de los modelos se efectuó utilizando caudales diarios registrados en la estación hidrométrica Santa Lorenza, mientras que la validación se realizó con caudales mensuales de la estación Puente Raquia. El desempeño de los modelos fue evaluado mediante indicadores estadísticos como el coeficiente de Nash-Sutcliffe, la correlación de Pearson y la eficiencia Kling-Gupta. Los resultados evidenciaron que los modelos GR4J y HBV presentaron los mejores ajustes entre los caudales simulados y observados, obteniendo valores de Nash superiores a 0.68 y coeficientes de correlación mayores a 0.88. Finalmente, se seleccionó el modelo GR4J debido a su estructura sencilla, menor número de parámetros y facilidad de implementación, empleándolo para la estimación de la disponibilidad hídrica mensual de la cuenca, lo que permitió determinar un caudal medio y caudales característicos para diferentes niveles de persistencia

2.3.3. Antecedentes internacionales

(López Guerrero, 2020) desarrollo la investigación Modelación hidrológica utilizando el software RS MINERVE en la subcuenca del río Villalobos enfocado a la gestión de riesgo, en esta investigación se desarrolló la modelación hidrológica de la subcuenca del río Villalobos (Guatemala) empleando el software RS MINERVE, con el propósito de aportar a la gestión del riesgo por inundaciones y crecidas súbitas. El estudio partió de la recopilación de información hidrometeorológica (precipitación, temperatura, caudales observados) y cartográfica (DEM, uso del suelo y cobertura vegetal). En la investigación se incluyó la calibración y validación del modelo hidrológico en base a registros históricos, obteniendo parámetros que reflejan de manera aceptable la respuesta hidrológica de la cuenca frente a diferentes eventos de lluvia. Se simularon escenarios de tormentas extremas para determinar la capacidad de respuesta de la subcuenca y se evaluaron zonas vulnerables a inundación. En sus resultados demostró que el modelo RS MINERVE es una herramienta eficaz para el análisis hidrológico en cuencas urbanizadas, ya que permite identificar picos de caudal, tiempos de concentración y áreas críticas expuestas a riesgo hídrico. Asimismo, se resaltó la utilidad de la modelación como insumo técnico para la planificación territorial, prevención de desastres y diseño de infraestructura hidráulica. También nos mostró que la aplicación del RS MINERVE en la subcuenca del río Villalobos constituye un antecedente relevante en Latinoamérica, ya que evidencia la pertinencia de los modelos hidrológicos como apoyo en la gestión integrada del riesgo de inundaciones y en la toma de decisiones para la reducción de la vulnerabilidad.

Capítulo III: Hipótesis y variables

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

H.G: El análisis y simulación de los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J presentan un desempeño diferenciado en la simulación de caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025.

3.1.2. Hipótesis Específicas

H.E.01: El modelo hidrológico Sacramento presenta un nivel de ajuste satisfactorio entre los caudales simulados y los observados en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

H.E.02: El modelo hidrológico GR4J presenta un nivel de ajuste satisfactorio entre los caudales simulados y los observados en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

H.E.03: Los parámetros de calibración de los modelos Sacramento y GR4J muestran una sensibilidad diferenciada, influyendo de manera significativa en la simulación de caudales en la estación Km 105, Cusco 2025.

H.E.04: El modelo GR4J ofrece una mejor capacidad de correlación de los caudales respecto al modelo Sacramento en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.

3.2. Identificación de Variables e Indicadores

3.2.1. Variables independientes

En el contexto de una investigación científica con enfoque cuantitativo, la variable independiente es el factor que el investigador decide modificar, controlar o seleccionar de forma voluntaria para analizar cómo incide esta manipulación en otras variables que dependen de ella. Es, por tanto, el elemento experimental que se considera la causa o el desencadenante de un posible

efecto dentro del sistema de estudio. Su rol es esencial dentro del diseño metodológico, ya que permite establecer relaciones de causalidad verificables entre fenómenos, según lo plantea la filosofía científica de Karl Popper (1962), en la que las hipótesis deben ser contrastables. La adecuada elección y control de esta variable resulta imprescindible para garantizar la validez interna del experimento y para realizar inferencias sobre el comportamiento de las variables dependientes. A través de esta manipulación controlada, se evalúa si existe una relación significativa, directa o indirecta, entre los factores intervenidos y los resultados observables, permitiendo la construcción o refutación de teorías que explican procesos naturales, como los del ciclo hidrológico.

X: Parámetros del modelo GR4J y SAC-SMA

Los parámetros del modelo representan las constantes internas que controlan los procesos hidrológicos simulados por GR4J y SAC-SMA, tales como almacenamiento de agua en el suelo, intercambio hídrico, capacidad de retención, descarga superficial y flujo base. Estos parámetros permiten caracterizar el comportamiento físico de la cuenca dentro del modelo, influyendo directamente en la generación de caudales simulados y en la respuesta del sistema frente a la precipitación. Su correcta estimación mediante calibración es fundamental para garantizar la estabilidad, eficiencia y confiabilidad de las simulaciones hidrológicas (Burnash, 1995; Perrin, Michel & Andréassian, 2003).

3.2.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son aquellas cuyo valor o comportamiento cambia como consecuencia de la influencia de una o más variables independientes; es decir, representan el efecto, resultado o respuesta dentro de un estudio científico. Según Hernández, Fernández y

Baptista (2014), la variable dependiente es la que se pretende explicar o predecir, y cuyos cambios se observan en función de la variable independiente.

Y1: Caudal observado:

Es el caudal real registrado en estaciones hidrométricas, el cual representa la respuesta natural de la cuenca frente a los aportes de precipitación. Constituye la referencia principal para evaluar el desempeño de los modelos hidrológicos, ya que refleja el comportamiento real del sistema (Chow et al., 1994).

Y2: Caudales simulados empleando el modelo hidrológico GR4J y Sacramento

Esta variable representa los caudales que se obtienen a partir de la simulación computacional del modelo Sacramento y GR4J. Caudales del modelo **Sacramento**, que es un modelo conceptual de balance hídrico diario que toma en cuenta procesos clave como la precipitación, evapotranspiración, almacenamiento de agua en el suelo, escorrentía superficial y subterránea, así como la interacción entre capas del subsuelo. A diferencia de una medición directa, los caudales generados a través de este modelo son producto de cálculos matemáticos basados en ecuaciones de conservación de masa y energía, ajustados con datos climáticos e hidrológicos históricos. Caracterizado por su capacidad para reproducir la respuesta hidrológica de una cuenca ante diferentes escenarios climáticos, siendo especialmente útil en estudios de predicción y gestión del recurso hídrico. Permite analizar cómo variaciones en la entrada (como la precipitación) afectan el comportamiento hidrológico de una cuenca, lo que resulta crucial para el diseño de obras de infraestructura, sistemas de alerta temprana y políticas de gestión integral del agua. Y caudales del modelo Génie Rural Á 4 Paramètres journalier (**GR4J**), estimados mediante el uso del modelo hidrológico francés, el cual es un modelo conceptual y parsimonioso desarrollado para representar

la transformación lluvia-escorrentía a escala diaria. Se basa en cuatro parámetros calibrables que permiten simular el almacenamiento en el suelo, las pérdidas por evapotranspiración, y el flujo diferido a través de rutas rápidas y lentas de escurrimiento. Su simplicidad estructural lo hace adecuado para cuencas con datos limitados, y es ampliamente utilizado en estudios hidrológicos de predicción y análisis de eventos extremos como inundaciones o sequías. Los caudales obtenidos con este modelo son valores simulados que permiten evaluar el comportamiento hidrológico a partir de datos de precipitación y temperatura diaria. Esta variable es fundamental para validar el desempeño del modelo y compararlo con otras herramientas de simulación hidrológica, contribuyendo así a la mejora en la toma de decisiones en el manejo de recursos hídricos

Y3: Indicadores de desempeño

Esta variable corresponde al conjunto de métricas estadísticas empleadas para cuantificar el grado de concordancia entre los caudales simulados y los caudales observados durante los procesos de calibración y validación. Se consideraron la eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE) y su variante logarítmica (NSE-ln), que evalúan el ajuste global de la simulación con énfasis en caudales altos y bajos, respectivamente (Nash & Sutcliffe, 1970); el coeficiente de correlación de Pearson, que mide la asociación lineal entre ambas series; la eficiencia de Kling–Gupta (KGE), que integra correlación, sesgo y variabilidad en un solo índice (Gupta et al., 2009); y el Bias Score, que cuantifica el sesgo volumétrico de la simulación. La interpretación cualitativa del NSE se realizó según la escala propuesta por Moriasi et al. (2007), presentada en la Tabla 19. Estos indicadores constituyen la evidencia empírica sobre la cual se contrastan las hipótesis de la investigación, al expresar de forma objetiva el nivel de ajuste alcanzado por cada modelo.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 4.

Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
X: Parámetros del modelo GR4J y SAC-SMA	Conjunto de coeficientes que sintetizan y representan procesos hidrológicos agregados (almacenamientos superficiales y profundos, percolación, fracciones impermeables, tiempos de vaciado) y que se estiman mediante calibración para reproducir la dinámica de la cuenca (Sánchez, 2023, p.23).	Valores numéricos (ej.: UZTWM, UZFWM, ZPERC, LZFPM, LZFSM, PCTIM; X1–X4 en GR4J) ingresados en RS-Minerve; definidos por calibración sobre el período 1981–2005 y verificados en validación (2006–2016); mantenidos para las simulaciones complementarias (2017–2024).	Precipitación	Precipitación diaria, mensual y anual	mm/día, mm/mes, mm/año
			Temperatura	Temperatura media diaria, máxima diaria y mínima diaria	°C
			Ajuste y sensibilidad	Valor numérico de cada parámetro; rango explorado en calibración	Según parámetro
Y: Caudal observado	Caudal real medido en estaciones de aforo que constituye la medida empírica de la respuesta hidrológica de la cuenca y la referencia para calibración/validación del modelo (serie diaria) (Sánchez, 2023, p.8).	Serie diaria de caudales registrados en estaciones hidrométricas seleccionadas; datos preprocesados y usados como benchmark durante calibración/validación.	Frecuencia y Variabilidad	Caudal diario	m³/s
Y: Caudal simulado (GR4J y SAC-SMA)	Resultado diario que produce el modelo hidrológico en respuesta a los forzantes y parámetros; salida cuyo ajuste con Q_obs cuantifica la fidelidad del modelo (Sánchez, 2023, p.8).	Series diarias generadas por GR4J y SAC-SMA dentro de RS-Minerve para cada subcuenca; se comparan con Qobs para evaluar desempeño.	Ajuste y Variabilidad	Caudal diario simulado	m³/s
Y: Indicadores de desempeño	Métricas estadísticas que cuantifican la concordancia y sesgo entre la simulación y la observación (bondad de ajuste y desviación), empleadas rutinariamente en tesis peruanas (NSE, NSE-ln, KGE, Pearson, Bias Score) (Sánchez, 2023, p.25).	Cálculo de NSE, NSE-ln, KGE, coeficiente de Pearson y Bias Score, para los periodos de calibración/validación; y para la sección exploratoria 2017–2024.	Ajuste y Desviación	NSE, NSE-ln, KGE, r (Pearson), Bias Score	Adimensional

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV: Metodología

4.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica

La cuenca del río Vilcanota se ubica en el departamento del Cusco y abarca las provincias de Canas, Canchis, Acomayo, Quispicanchis, Paucartambo, Cusco, Anta, Urubamba, Calca y La Convención. Geográficamente, se extiende entre los paralelos 13°04' y 14°40' de latitud sur, y los meridianos 72°34' y 70°48' de longitud oeste. Su superficie aproximada es de 9,647 km² y forma parte de la vertiente del Amazonas. La cuenca está conformada por nueve subcuencas. El área específica de análisis corresponde al sector Vilcanota–Urubamba, hasta la estación hidrométrica de EGEMSA, ubicada en Lucumachayoc, en el kilómetro 105 de la vía férrea Cusco–Machupicchu.

Tabla 5.

Ubicación política de las cuencas del río Vilcanota

Cuenca	Departamento	Provincia	Distrito
Vilcanota	Cusco	Calca	Lares (1.24 %), Yanatile (3.39 %)
		Canas	Layo (0.72 %)
		Canchis	San Pablo (0.89 %), Marangani (0.74 %), Sicuani (1.10 %), Pitumarca (1.86 %), Checacupe (1.59 %)
		La Convención	Santa Ana (0.66 %), Echarate (36.17 %), Vilcabamba (2.89 %), Ocobamba (1.47 %), Santa Teresa (1.59 %), Huayopata (0.90 %), Quellouno (3.34 %)
		Paucartambo	Colquepata (0.78 %), Paucartambo (0.82 %), Challabamba (1.21 %)
		Quispicanchi	Ocongate (1.61 %), Quiquijana (0.60 %)
		Urubamba	Ollantaytambo (0.98 %), Machupicchu (0.61 %)
		Atalaya	Raymondi (13.07 %), Sepahua (13.13 %)

Fuente. Elaboración propia

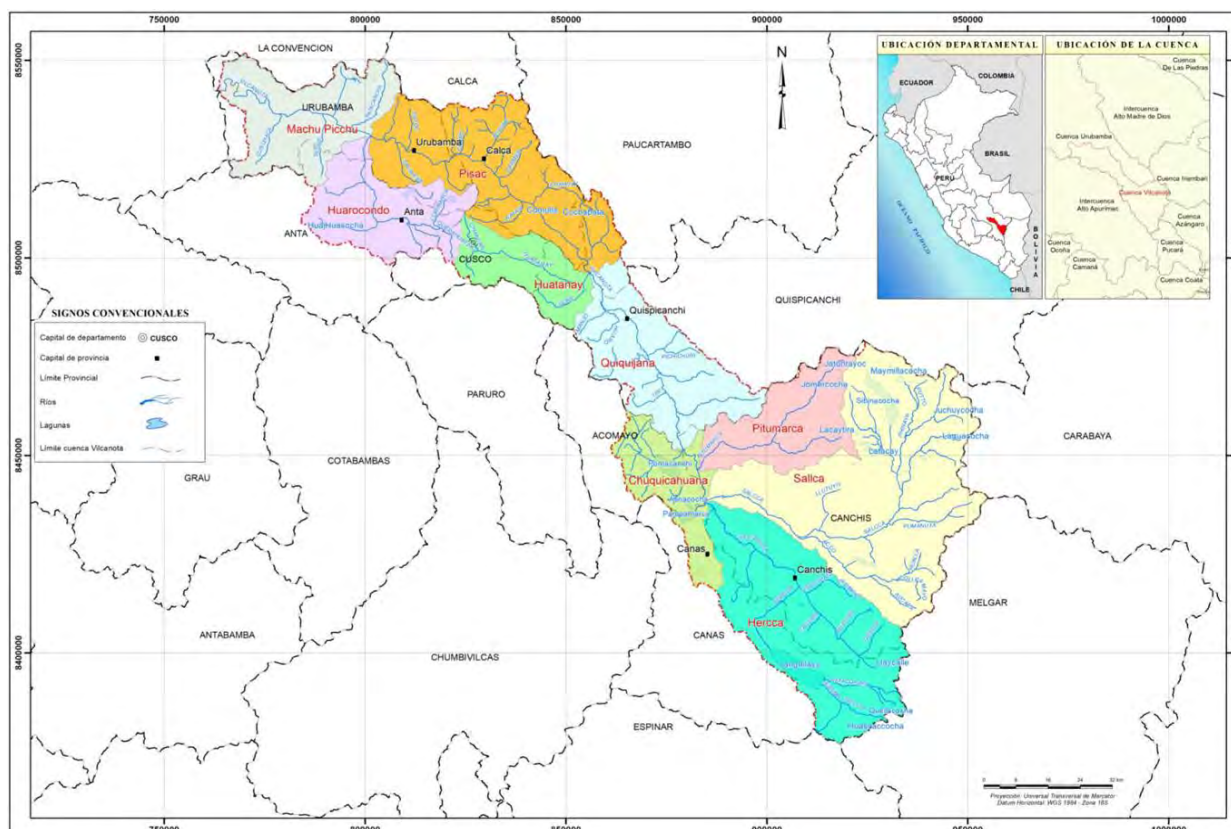
Tabla 6.

Subcuencas en la cuenca del río Vilcanota

Subcuencas	Área (km ²)	%
Machu Picchu	797.79	8%
Huarocondo	754.79	8%
Pisac	1406.16	15%
Huatanay	483.18	5%
Quiquijana	998.35	10%
Chuquicahuana	355.23	4%
Pitumarca	681.68	7%
Sallca	2322.55	24%
Hercca	1733.89	18%
Total	9533.62	100%

Fuente. Elaboración propia

Figura 11. *Subcuencas de estudio*



Fuente. Tomado de (ANA 2018)

4.2. Tipo y nivel de investigación

4.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca en un modelo cuantitativo, el cual se caracteriza por su orientación hacia la recolección de información numérica, estructurada y verificable. Este enfoque se sustenta en el uso riguroso de herramientas estadísticas, modelos matemáticos y técnicas analíticas que permiten examinar fenómenos naturales u observables mediante datos concretos y objetivos. El propósito central del enfoque cuantitativo es establecer patrones, relaciones entre variables y comportamientos recurrentes a través de mediciones sistemáticas, favoreciendo así la generalización de los resultados a contextos más amplios. Esta modalidad investigativa busca eliminar la subjetividad en el análisis, garantizando la reproducibilidad y validez de las conclusiones mediante protocolos replicables (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

En el caso de esta tesis, el enfoque cuantitativo resulta pertinente y necesario debido a que se realiza un análisis comparativo de dos modelos hidrológicos: el modelo Sacramento y el modelo Génie Rural á 4 Paramètres journalier. Ambos modelos son empleados para simular caudales diarios a partir de registros históricos extraídos de la estación hidrométrica ubicada en el kilómetro 105 de la región Cusco. Los datos trabajados abarcan información de tipo hidrometeorológica, como precipitaciones diarias, temperatura media diaria, evapotranspiración y caudales históricos, con el fin de evaluar el rendimiento de las simulaciones generadas por ambos modelos. La validación se realizó a través de análisis estadísticos comparativos que permitieron conocer el nivel de concordancia con los datos observados.

Además, el tratamiento de los datos sigue una lógica matemática basada en el procesamiento digital de información obtenida a través de sensores, estaciones meteorológicas y fuentes secundarias confiables. Todo el conjunto de datos será manipulado en entornos computacionales como Excel y plataformas compatibles con los modelos hidrológicos mencionados. La aplicación del enfoque cuantitativo también implica el uso de técnicas gráficas y numéricas para interpretar los resultados y estructurar las conclusiones, destacando la precisión y rigurosidad metodológica en cada etapa del proceso investigativo.

4.2.2. Nivel de estudio y alcance de la investigación

La investigación aquí desarrollada se sitúa en un nivel descriptivo–correlacional, lo cual implica que no solo se pretende mostrar cómo se comportan ciertas variables hidrológicas en un contexto específico, sino también establecer qué tipo de vínculo estadístico existe entre ellas. Desde el plano descriptivo, se busca presentar un panorama claro y detallado de las características que definen el comportamiento de los caudales simulados en la estación de estudio, haciendo énfasis en su magnitud, frecuencia, tendencia y variabilidad a lo largo del tiempo. Esta descripción permite comprender cómo responden los modelos: Sacramento y Génie Rural á 4 Paramètres journalier, a los parámetros hidrometeorológicos ingresados.

Por otro lado, el componente correlacional de esta investigación cobra importancia al buscar establecer relaciones estadísticas significativas entre los caudales simulados por los modelos y los caudales reales registrados. En ese sentido, se utilizaron herramientas como el coeficiente de correlación de Pearson y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), los cuales permitieron evaluar el grado de ajuste del modelo a los datos observados. La correlación no implica causalidad, pero sí brinda indicios relevantes sobre la validez de las simulaciones y la utilidad práctica de los modelos en contextos hidrológicos similares.

Según (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018), los estudios de este nivel son útiles para establecer la dirección y magnitud de las asociaciones entre variables, lo cual resulta indispensable para estudios que, como este, tienen un enfoque comparativo. En consecuencia, se busca analizar si los modelos presentan una relación directa o inversa con los caudales empíricos y determinar cuál de los dos modelos ofrece un mayor nivel de precisión y confiabilidad. Esta comparación permite extraer conclusiones aplicables a futuros estudios hidrológicos o proyectos de gestión de recursos hídricos en cuencas similares.

4.2.3. Diseño de la investigación

El diseño para esta investigación es de tipo no experimental, longitudinal y comparativo, centrado en el análisis estadístico de series temporales de caudales diarios. No se manipulan variables de forma intencionada; más bien, se trabaja con información ya existente, que ha sido recogida durante varios años por instituciones oficiales como SENAMHI. La naturaleza longitudinal del diseño permite analizar la evolución de los caudales a lo largo del tiempo y evaluar la estabilidad de los modelos bajo diferentes condiciones hidrometeorológicas. La dimensión comparativa del diseño radica en la evaluación conjunta del rendimiento de dos modelos hidrológicos con enfoques distintos, ambos aplicados sobre una misma base de datos.

Para garantizar la confiabilidad de los datos de entrada, se implementó un proceso de validación estadística de las series climáticas del producto PISCO. Esto se realizó mediante un Análisis de Doble Masa para verificar la consistencia temporal y la detección de sesgos, complementado con el cálculo del coeficiente de correlación utilizando el software Statgraphics, con el fin de cuantificar la asociación lineal con datos observados. Este procedimiento permitió fundamentar sólidamente la idoneidad de los forzantes meteorológicos antes de su uso en la modelación hidrológica con los modelos SAC-SMA y GR4J.

Las series de datos se integrarán en los modelos Sacramento y Génie Rural á 4 Paramètres journalier, a fin de simular los caudales y compararlos con los registros reales del Km 105. El objetivo final es determinar cuál de los dos modelos presenta un mejor ajuste y puede ser utilizado con mayor eficacia en la predicción del comportamiento hidrológico de la zona. Este diseño garantiza que cada etapa del análisis tenga coherencia interna, que los resultados obtenidos sean verificables y que la metodología pueda replicarse en otras investigaciones similares.

4.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación está enfocada en el registro de los caudales diarios de la estación hidrométrica Km 105. Esta estación es el punto de control donde se mide y valida los caudales tomados para la investigación, también el espacio geográfico de la cuenca (Elaboración propia).

4.4. Población de estudio

De acuerdo con (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018), la población corresponde al conjunto total de casos que comparten determinadas características y sobre el cual se busca generalizar los resultados. En el presente trabajo, la población está conformada por los registros históricos de caudales diarios obtenidos en la estación hidrométrica del Kilómetro 105, ubicada en la región del Cusco.

Esta estación se encuentra dentro de una cuenca andina con características hidro climáticas variables, donde los registros de caudal representan la base fundamental para evaluar y simular el comportamiento hidrológico mediante modelos matemáticos. La importancia de esta población radica en que proporciona datos confiables y continuos que permiten aplicar y comparar los modelos Sacramento y Génie Rural á 4 Paramètres Journalier, contribuyendo así a la mejora del conocimiento sobre la dinámica hídrica local y a una futura gestión sostenible del recurso hídrico.

La población de estudio está constituida por los registros de caudales diarios recopilados entre los años 1981 y 2024, en la estación hidrométrica del Km 105. Esta base de datos hidrológica fue seleccionada por su integridad, continuidad temporal y ausencia de errores sistemáticos o vacíos significativos.

Si bien la estación hidrométrica del Km 105 cuenta con registros desde 1958, la muestra de análisis fue delimitada al período 1981–2016, condicionada por la disponibilidad del producto de precipitación validada PISCO (SENAMHI), cuya cobertura inicia en 1981. El período 2017–2024 fue incorporado como análisis complementario con datos climáticos de NASA POWER, no sujeto a validación formal.

4.5. Tamaño de muestra

Según (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018), la muestra es un subconjunto representativo de una población que permite realizar inferencias válidas sobre el universo de estudio. En esta investigación, la muestra está constituida por los registros históricos de caudales diarios en la estación hidrométrica ubicada en el kilómetro 105 del departamento de Cusco, correspondiente al periodo aproximado de 1981 a 2024.

Además, la muestra incluye los caudales simulados utilizando dos modelos hidrológicos: el modelo Sacramento y el modelo Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier. Ambos modelos se aplican a años específicos con datos completos y confiables, seleccionados intencionalmente por su calidad y continuidad en los registros. Esto permite evaluar y comparar la precisión de cada modelo respecto a los datos históricos observados.

4.5.1. Cuantificación de la muestra

La muestra cuantificada se compone de tres conjuntos de datos:

- Datos registrados: caudales diarios históricos disponibles en la estación hidrométrica del Km 105, entre los años 1981 y 2024, obtenidos de fuentes oficiales como SENAMHI y ANA
- Datos simulados con el modelo Sacramento: generados para los años seleccionados mediante el uso de parámetros calibrados según las condiciones hidroclimáticas de la zona.
- Datos simulados con el modelo Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier: también desarrollados para los mismos años y bajo criterios de simulación estandarizados.

Este enfoque mixto entre datos observados y simulados permite realizar comparaciones válidas que sustentan el análisis longitudinal y comparativo del estudio.

4.6. Técnicas de selección de muestra

En el presente proyecto de investigación se utilizó un muestreo sistemático temporal, el cual asegura la representatividad de los períodos empleados en la calibración y validación de los modelos hidrológicos.

Se aplicó el muestreo sistemático temporal dividiendo la serie de datos históricos de caudales diarios (1981-2024) en cuatro bloques consecutivos.

- Período para el calentamiento: 3 años (1981 al 1983)
- Período para la calibración: 25 años (01/01/1981 al 31/12/2005). Los primeros 3 años (1981–1983) se emplearon como período de calentamiento (warm-up) para estabilizar las condiciones iniciales de los reservorios del modelo; el conjunto del

período se utilizó para el ajuste de parámetros y el cálculo de los indicadores de desempeño.

- Periodo para la validación: 11 años (2006 al 2016)
- Periodo para análisis complementario: 08 años (2017 al 2024)

Debido a que el análisis se limita a dicho periodo, los resultados no necesariamente reflejan todas las posibles variaciones hidrológicas que podrían manifestarse fuera de ese intervalo temporal. Cabe señalar que los indicadores de desempeño se calcularon sobre el período completo de calibración (1981–2005), incluyendo los tres años de calentamiento. Esta decisión responde a que el período de estabilización representa únicamente el 12 % de la serie de calibración, por lo que su influencia sobre los indicadores globales es marginal; en consecuencia, los valores de eficiencia reportados constituyen una estimación conservadora del ajuste real del modelo, dado que incorporan los años en que los reservorios internos aún se encontraban en proceso de estabilización.

Empleo de parámetros específicos: Aunque RS Minerve dispone de una amplia variedad de modelos hidrológicos y parámetros para la simulación, en este estudio únicamente se calibraron y validaron los parámetros señalados en cada uno de los escenarios descritos. En consecuencia, los resultados obtenidos representan el comportamiento del modelo bajo la calibración de dichos parámetros, sin incorporar la influencia de otros factores hidrológicos o ambientales.

Condiciones particulares de la cuenca: El presente estudio no pretende contemplar la totalidad de las condiciones hidrológicas de la cuenca, sino centrarse en aquellas representadas por los datos de entrada y los parámetros utilizados. Aspectos como modificaciones en el uso del suelo,

eventos climáticos extremos o procesos geohidrológicos no considerados podrían afectar el comportamiento real de la corriente en la cuenca, pero no fueron incorporados en este análisis.

Puesto que el estudio se llevó a cabo en la estación hidrométrica del Km 105 (Urubamba), los resultados y conclusiones obtenidos no necesariamente pueden extrapolarse de manera directa a otras zonas de la misma cuenca ni a cuencas con características distintas (Guillén et al., 1997).

4.7. Técnicas de recolección de información

4.7.1. Obtención de datos

4.7.1.1. Información cartográfica

Se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) que constituye una de las principales fuentes cartográficas para la caracterización de cuencas hidrográficas, ya que permite representar la topografía de la superficie terrestre en formato ráster con valores de altitud en cada celda.

La selección del DEM de 12.5 m se justificó por su capacidad para representar con mayor detalle la topografía compleja de la cuenca, caracterizada por fuertes pendientes y una densa red de drenaje. Esta resolución facilita una adecuada delimitación de subcuencas y la estimación de parámetros hidrológicos, como la dirección de flujo y el tiempo de concentración, que resultan esenciales en la simulación de caudales. Estudios previos en cuencas andinas (Ortiz, 2024) evidencian que este nivel de resolución reduce significativamente los errores en la estimación de caudales frente a resoluciones más bajas. Asimismo, su escala espacial es coherente con los datos de suelo y cobertura vegetal (Copernicus), lo que asegura consistencia en el proceso de modelación.

Para la presente investigación se utilizó el conjunto de datos ALOS PALSAR con una resolución espacial de 12.5 metros, descargado desde el portal del Earth Data - Alaska Satellite

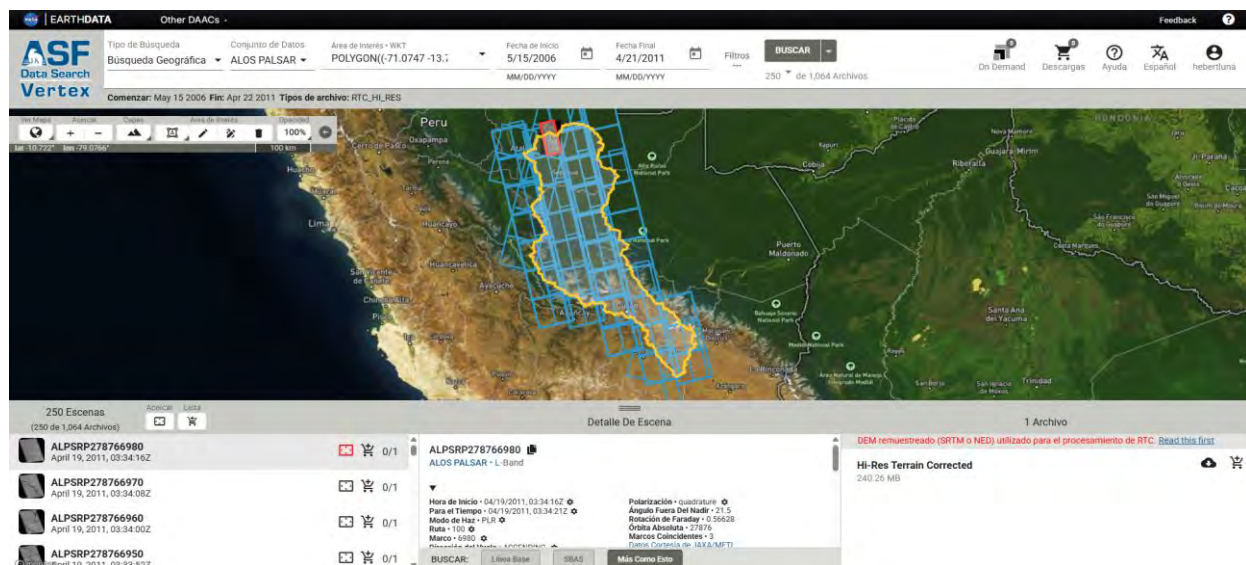
Facility de la NASA. Este DEM fue elegido por su elevada resolución, amplia cobertura y mínima presencia de errores en áreas de relieve montañoso.

Este insumo es procesado en un Sistema de Información Geográfica (SIG), específicamente en QGIS, mediante los siguientes pasos: Seleccionar el sistema de datos de donde se descargará, delimitar la cuenca en Google Earth, descargar los DEMs, integrarlas en QGIS y generar un único modelo de elevación digital.

Es preciso indicar que el Modelo Digital de Elevación empleado representa la topografía estructural permanente de la cuenca, divisorias de agua, red de drenaje principal, franjas de pendiente y morfología general del relieve, la cual está controlada por procesos geológicos y geomorfológicos de largo plazo (escala de siglos a milenios) y no experimenta variaciones significativas en el horizonte temporal de la investigación (1981–2024). En consecuencia, la utilización de un único DEM de referencia es la práctica estándar y metodológicamente correcta en estudios de modelación hidrológica histórica de largo plazo, toda vez que los parámetros morfométricos derivados (área, pendiente media, tiempo de concentración, dirección de flujo) se mantienen esencialmente constantes durante el período analizado. Introducir DEMs de distintas fechas contaminaría la consistencia del proceso de calibración, el cual exige parámetros morfométricos fijos a lo largo de toda la serie histórica, tal como lo establecen los modelos GR4J y SAC-SMA en su formulación conceptual. Este criterio es consistente con el adoptado por estudios hidrológicos de largo plazo en cuencas andinas de similar complejidad (Aliaga Araujo, 2017; Sánchez Bernardo, 2023).

Figura 12.

Servidor Earth Data



Fuente: Tomado de (Earth Data - Alaska Satellite Facility de la NASA, 2025)

Figura 13.

DEM de la cuenca Vilcanota-Urubamba



Fuente. Tomado de (Earth Data - Alaska Satellite Facility de la NASA, 2024)

4.7.1.2. Información de tipo de suelos

Esta investigación empleó el Mapa Digital de Suelos del Mundo (DSMW) de la FAO/UNESCO, obtenido de su plataforma oficial. Este recurso brinda datos globales sobre clasificación y distribución de suelos, incluyendo parámetros edáficos fundamentales como textura

y conductividad hidráulica, validados mediante muestreos de campo y bases de datos internacionales. Aunque su escala 1:5,000,000 representa una generalización, investigaciones en cuencas andinas (Daneshvar et al., 2021) confirman su utilidad para modelación hidrológica. El DSMW, de acceso libre, permite la descarga de información geoespacial compatible con sistemas SIG.

Figura 14. Portal oficial de suelos de la FAO/UNESCO

FAO SOILS PORTAL

FAO/UNESCO Soil Map of the World

The **International Union of Soil Science (IUSS)** - at its Seventh Congress, at Madison, Wisconsin, USA, in 1960 - recommended that soil maps of continents and large regions be published. As a follow-up **FAO and Unesco decided in 1961 to prepare a Soil Map of the World at 1:5 000 000 scale**. The project was completed over a span of twenty years. It was the fruit of **world-wide collaboration between innumerable soil scientists and remained until recently the only global overview of soil resources**.

	English	Spanish	French	Russian
Legend	Report	Report	Report	Report
	Legend			
World	Digital Soil Map of the World (Geonetwork)			

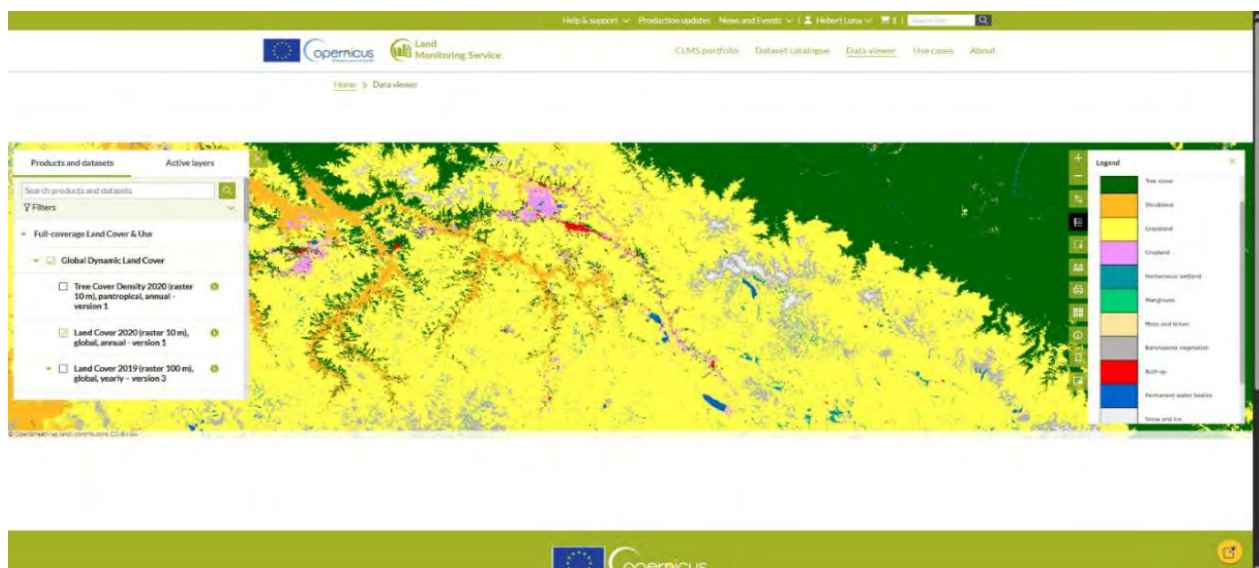
Fuente. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025)

4.7.1.3. Información de cobertura y uso de suelos

La caracterización de la cobertura y uso de suelo se realizó mediante el mapa Global Land Cover de Copernicus (100 m de resolución), seleccionado por su capacidad para captar la heterogeneidad de la cobertura vegetal en la cuenca, que incluye bosques fragmentados, áreas de

cultivo y pastizales montañosos. Esta resolución espacial equilibra detalle topográfico y eficiencia computacional, optimizando la representación de áreas homogéneas para el cálculo hidrológico. La plataforma integra datos de Sentinel-1 (con capacidad de penetración nubosa) y Sentinel-2, procesados mediante algoritmos de fusión temporal que garantizan cobertura continua incluso en condiciones tropicales lluviosas. Estudios en ambientes andinos (Valencia et al., 2024) confirman que esta resolución mejora la precisión en simulaciones de caudal comparado con productos de menor detalle. La información obtenida permite parametrizar de manera confiable la cobertura vegetal en RS Minerve, asegurando una representación precisa de la relación precipitación-escorrentía durante la calibración del modelo.

Figura 15. *Página oficial de Copernicus-Land Monitoring Service*



Fuente. Tomado de (Global Land Cover, 2025)

4.7.1.4. Información de campo

La información de campo permite obtener datos cercanos y actualizados sobre las condiciones hidrológicas, geomorfológicas y ambientales de la cuenca correspondiente a la

estación hidrométrica del Km 105, Cusco; importantes para hacer una comparativa con los valores aproximados de los parámetros que usan los modelos hidrológicos GR4J y SAC-SMA. Las actividades de campo se orientan a la verificación de una correcta data para la calibración y validación de los modelos Sacramento y Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier.

a) Reconocimiento del área de estudio

- Se realizó una visita de reconocimiento general a la cuenca para identificar características generales de la cuenca.
- Se registraron coordenadas geográficas, altitud, uso del suelo, tipo de vegetación, y tipo de suelo.
- Se tomaron fotografías georreferenciadas para documentar el estado actual del cauce y zonas aledañas.
- Se visualizaron muestras de suelo en diferentes sectores de la cuenca para inferir su textura, permeabilidad y capacidad de infiltración.
- Se realizó la verificación de la cobertura vegetal y uso del suelo.

La finalidad principal fue contrastar la información satelital con observaciones de campo, así tener valores iniciales para los parámetros de los modelos hidrológico Sacramento y GR4J.

b) Aforamiento de caudales en campo

- Se llevaron a cabo aforos puntuales en varios puntos representativos de la cuenca utilizando un correntómetro. Durante estas mediciones se documentaron las condiciones del cauce. Asimismo, se cotejaron cualitativamente los caudales medidos con los registros históricos disponibles.

- No obstante, estos aforos puntuales, aunque permiten estimar caudales instantáneos, tienen un alcance muy limitado: corresponden solo a momentos y secciones específicas del río, sin capturar la variabilidad interanual ni los procesos de almacenamiento a largo plazo. Por ello, la serie histórica de caudales diarios (EGEMSA, 1981–2024) sigue siendo la fuente principal del análisis. Dicha serie es estadísticamente robusta, ya que abarca 43 años de datos continuos, superando con creces los mínimos recomendados por la Organización Meteorológica Mundial para calibración (6 años) y validación (4 años) de modelos hidrológicos.
- En este contexto, la incorporación de mediciones de aforo puntuales adicionales (realizadas en el marco de esta investigación y limitadas a pocas semanas) no modificaría estadísticamente los parámetros calibrados ni mejoraría los indicadores de desempeño del modelo, dado que representarían una fracción despreciable del registro histórico disponible y solo reflejarían las condiciones hidrológicas del momento específico de medición, no la variabilidad climática interanual de cuatro décadas que los modelos deben representar.

Por lo tanto, constituyen una verificación puntual complementaria que permite contrastar la coherencia de los caudales simulados con las condiciones reales observadas en campo, manteniéndose la serie histórica de EGEMSA (1981–2024) como fuente principal para la calibración y validación.

Se muestran las fotografías y evidencia del análisis de campo en el ***ANEXO C – FOTOGRAFÍAS***.

4.7.1.5. Información hidrometeorológica

La información hidrológica es la base fundamental para el análisis y la simulación de caudales en la cuenca de estudio. Para la presente investigación se recopilaron los registros de caudales observados provenientes de la estación hidrométrica ubicada en el Km 105 (Cusco), administrada por la empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. - EGEMSA. Estos datos, expresados en caudales medios diarios (m^3/s), constituyen la variable dependiente utilizada en los procesos de calibración y validación de los modelos Sacramento y GR4J.

La información meteorológica utilizada para el estudio fue obtenida del Producto PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations), una base de datos desarrollada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Este producto integra observaciones de estaciones meteorológicas a nivel nacional con técnicas de interpolación geoestadística, generando series continuas y consistentes de variables hidrometeorológicas como precipitación, temperatura y evapotranspiración. PISCO es ampliamente empleado en estudios hidrológicos y climáticos debido a su alta resolución espacial y temporal, lo que permite representar con mayor precisión la variabilidad hidro climática en regiones complejas como los Andes peruanos (SENAMHI, 2021). Se debe señalar que, para la etapa complementaria, donde el objetivo es evaluar de forma comparativa si las simulaciones presentan desviaciones cuantitativas relevantes respecto a las métricas de referencia (1981–2016): se usó la data de NASA POWER-DAV para los valores de precipitación y temperatura de los años 2017 al 2024.

El software *R* se empleó para el procesamiento y análisis de los datos de precipitación, temperatura y evapotranspiración obtenidos del producto PISCO, constituyendo una herramienta estadística de código abierto ampliamente utilizada en hidrología. Su versatilidad permite la

manipulación de series temporales, la aplicación de funciones específicas para procesos hidrológicos y la generación de representaciones gráficas de alta calidad. En este estudio, R fue utilizado para la preparación de archivos de entrada requeridos por los modelos hidrológicos Sacramento y Génie Rural. Asimismo, su ecosistema de paquetes especializados como Raster y RGDal facilita el manejo de datos climáticos y geoespaciales, asegurando una integración eficiente entre información cartográfica y variables hidrológicas. Estudios previos en los Andes (Zambrano-Bigiarini, 2020) resaltan la utilidad de R para la calibración y validación de modelos hidrológicos, lo cual respalda su aplicación en la presente investigación.

El Producto PISCO proporcionó información climática confiable y homogénea para la cuenca de estudio, mientras que el software R permitió procesar y analizar dichos datos de manera eficiente. La integración de ambos recursos aseguró insumos de calidad para la simulación hidrológica, mejorando la precisión y confiabilidad de los modelos aplicados.

Debido a la limitación de la serie oficial PISCO (disponible hasta 2016), se incorpora un análisis complementario de simulación de caudales para el periodo 2017–2024 usando productos climáticos alternativos no validados. Este análisis se presenta en sección separada y tiene carácter complementario: su único objetivo es verificar si las simulaciones con forzantes no validados mantienen comportamientos e indicadores razonablemente próximos a los del periodo validado. No se pretende, ni se realiza, la validación ni la recalibración de parámetros sobre esa serie no homologada.

Tabla 7.

Estación hidrológica de la cuenca del rio Vilcanota

Estación	Variable	Longitud (X)	Latitud (Y)	Altitud (msnm)
----------	----------	--------------	-------------	----------------

Km-105	Q	72° 33' 50.5"	13° 10' 25.8"	1795
--------	---	---------------	---------------	------

Fuente. Elaboración propia

Tabla 8.

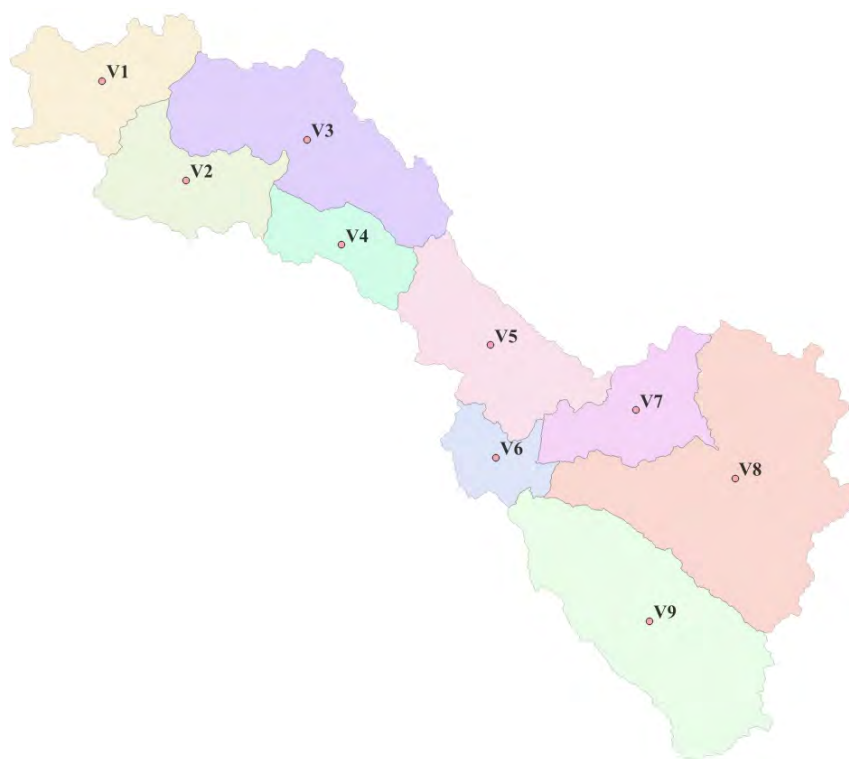
Estaciones virtuales meteorológicas de la cuenca del rio Vilcanota

Estaciones	Variable	Longitud (X)	Latitud (Y)	Altitud (msnm)
V1	T, P y Evap.	-72.356101	-13.236479	4034.525771
V2	T, P y Evap.	-72.182925	-13.442610	3785.746411
V3	T, P y Evap.	-71.932438	-13.358421	3911.732105
V4	T, P y Evap.	-71.860132	-13.575879	3733.580711
V5	T, P y Evap.	-71.552616	-13.783456	4053.164523
V6	T, P y Evap.	-71.541384	-14.015793	3989.741095
V7	T, P y Evap.	-71.251735	-13.918020	4694.679692
V8	T, P y Evap.	-71.046364	-14.058923	4757.010765
V9	T, P y Evap.	-71.222767	-14.355242	4227.094762

Fuente. Elaboración propia

Figura 16.

Ubicación de las estaciones virtuales



Fuente. Elaboración propia

Tabla 9.

Tipos de dato, resolución, fuente y enlace

Tipo de dato	Resolución	Fuente	Enlace
Datos Hidrometereológicos	Diaria (1981-2016)	SENAMHI / EGEMSA	http://www.senamhi.gob.pe/
Datos Hidrometereológicos	Diaria (2017-2024)	NASA POWER DAV	https://power.larc.nasa.gov/
DEM	30 m x 30 m	NASA	https://search.asf.alaska.edu/
Uso de suelo	100 m	Copernicus - Land Monitoring Service	https://land.copernicus.eu/en/
Tipo de suelo	1:5 000 000	FAO	https://www.fao.org/soils-portal/

Fuente. Elaboración propia

4.7.2. Softwares utilizados

4.7.2.1. Software R

Utilizado para el procesamiento estadístico de los datos climáticos y la verificación de consistencia. Se emplearon librerías especializadas en análisis hidrológico y tratamiento de series temporales, lo que permitió filtrar, depurar y organizar la información proveniente del producto PISCO.

Uso específico en la investigación

- Lectura de los archivos de PISCO de precipitaciones y temperaturas en la cuenca.
- Creación de gráficos de tendencias y visualización de series temporales.
- Preparación de datos para su ingreso a los modelos Sacramento y Génie Rural.

4.7.2.2. RS Minerve

RS MINERVE es un software libre desarrollado por CREALP, HydroCosmos SA, y la EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne), entre otras instituciones, permite la simulación hidrológica e hidráulica de cuencas, integrando modelos y procesos del ciclo hidrológico como precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y flujo en cauces. Su interfaz facilita la construcción de esquemas y la calibración de parámetros, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para la gestión de recursos hídricos y la investigación académica. En este estudio se emplea para la generación y simulación de los modelos hidrológicos GR4J y SAC-SMA.

4.7.2.3. HEC-HMS

El software HEC-HMS se empleó en esta investigación exclusivamente para el preprocesamiento geomorfológico y la preparación de la estructura espacial del modelo hidrológico. Se hizo la delineación y subdivisión de la cuenca a partir del Modelo Digital de

Elevación (DEM), se utilizó el módulo de Basin Model de HEC-HMS para delimitar automáticamente la cuenca de estudio y subdividirla en las 9 subcuencas que constituyen las unidades de análisis, generando la red de drenaje y los elementos del modelo, que son componentes esenciales para la estructura de un modelo distribuido.

Uso específico en la investigación:

- Delimitación inicial de la cuenca
- Extracción y definición de la red hidrográfica principal y los puntos de confluencia

4.7.2.4. QGIS

Herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizada para el procesamiento de la cartografía base: Modelo Digital de Elevación (MDE), mapas de suelos y cobertura terrestre. Su uso permitió complementar la delimitación de la cuenca y la obtención de parámetros fisiográficos.

Uso específico en la investigación:

- Complemento para la delimitación de la cuenca
- Cálculo de pendientes
- Preparación de datos para modelos hidrológicos
- Análisis espacial adicional

4.7.2.5. Microsoft Excel

Empleado para la organización de bases de datos hidrometeorológicas, la elaboración de gráficos comparativos y la estructuración de tablas de resultados intermedios.

Uso específico en la investigación

- Organización, creación de gráficas y tablas de: series hidrológicas y climáticas
- Análisis de doble masa
- Preparación de datos para modelos

4.7.2.6. Google Earth Pro

Delineación de cuencas, visualización de áreas y perímetros, obtención de coordenadas geográficas, visualización de terrenos y pendientes.

Uso específico en la investigación

- Visualización (reconocimiento) de la cuenca del río Vilcanota.
- Extracción de datos generales de la cuenca (anchos de ríos, elevaciones, etc.)
- Visualización de cambios históricos

4.7.2.7. Statgraphics

Statgraphics es un software estadístico desarrollado para el análisis, interpretación y presentación de datos. Permite aplicar métodos descriptivos e inferenciales, realizar pruebas de hipótesis, análisis de regresión, correlación, series temporales y generar gráficos de alta calidad. Su objetivo principal es facilitar la toma de decisiones basadas en evidencia estadística, brindando herramientas accesibles tanto para investigación académica como para aplicaciones profesionales.

Uso específico en la investigación

- Análisis descriptivo: obtener medidas estadísticas (media, mediana, varianza, desviación estándar) de los caudales observados y simulados.

- Coeficiente de correlación de Pearson (r): evaluar la relación lineal entre los caudales simulados por los modelos y los caudales observados.
- Regresión lineal simple: determinar la pendiente, el intercepto y el coeficiente de determinación (R^2), que indican el grado de ajuste del modelo.
- Representación gráfica: generar diagramas de dispersión, histogramas y gráficos de residuales que faciliten la interpretación visual de los resultados.

4.7.2.8. Microsoft Word

Se trata de un procesador de texto de uso extendido que permite redactar, editar y dar formato a documentos. Entre sus funciones se incluyen la inserción de tablas, gráficos, referencias y citas bibliográficas, lo que facilita la elaboración de informes académicos. En este trabajo se utilizará para la redacción del documento final, organizando el contenido en capítulos e incorporando figuras, tablas y referencias.

4.8. Técnicas de análisis e interpretación de la información

4.8.1. Determinación del Modelo digital de elevación

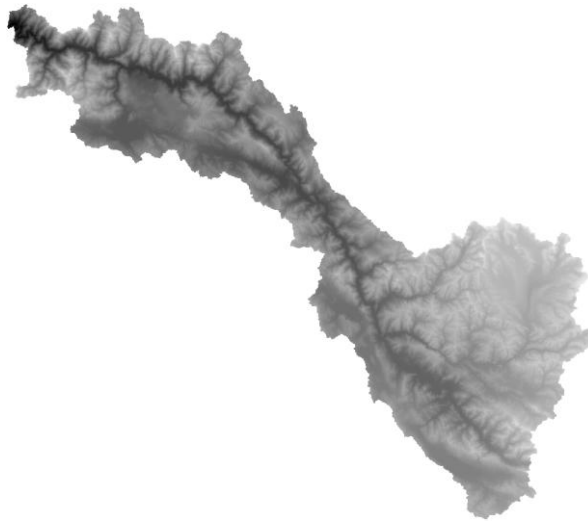
Para la presente investigación se comienza con el modelamiento hidrológico, se llevó a cabo la integración del modelo con HEC-HMS y QGIS, lo que permitió gestionar de manera eficiente la información geoespacial y realizar un análisis hidrológico detallado de la cuenca.

Se incorporó el Modelo Digital de Elevación (DEM) de la cuenca Vilcanota-Urubamba, con una resolución de 12.5 m x 12.5 m, el cual define la topografía y los límites de la cuenca. Este DEM es fundamental, ya que representa con precisión la morfología del terreno y posibilita determinar los límites de la cuenca según la dirección del flujo superficial. Durante este proceso,

se generó una máscara espacial que limita el análisis únicamente al área de estudio, lo que optimiza el uso de los recursos computacionales y reduce los tiempos de procesamiento.

Figura 17.

Modelo de DEM de 12.5 m

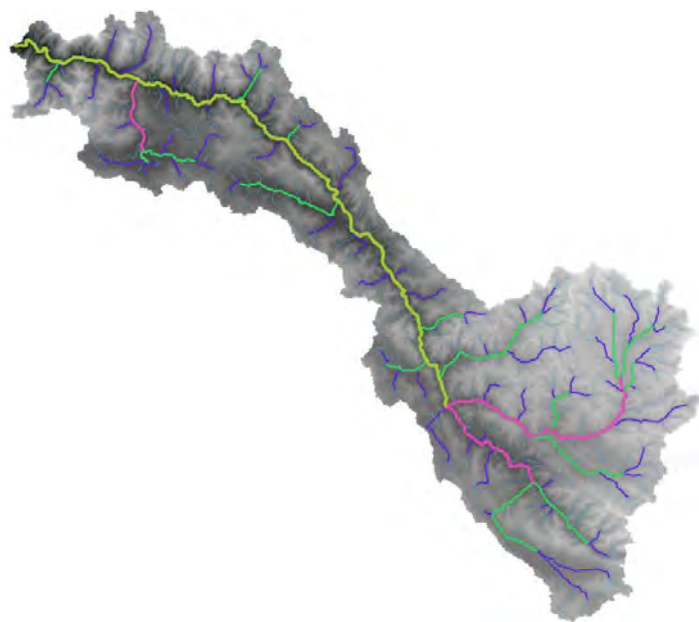


Fuente. Elaboración propia

Se procedió a generar la red de drenaje de la cuenca, utilizando un umbral de área de 100 000 ha, lo que permitió segmentarla en 9 subcuencas. Este paso es esencial para definir la estructura hidrológica y facilitar la modelización del flujo superficial.

Figura 18.

Red de drenaje elaborada en QGIS



Fuente. Elaboración propia

Figura 19.

Delimitación de subcuencas

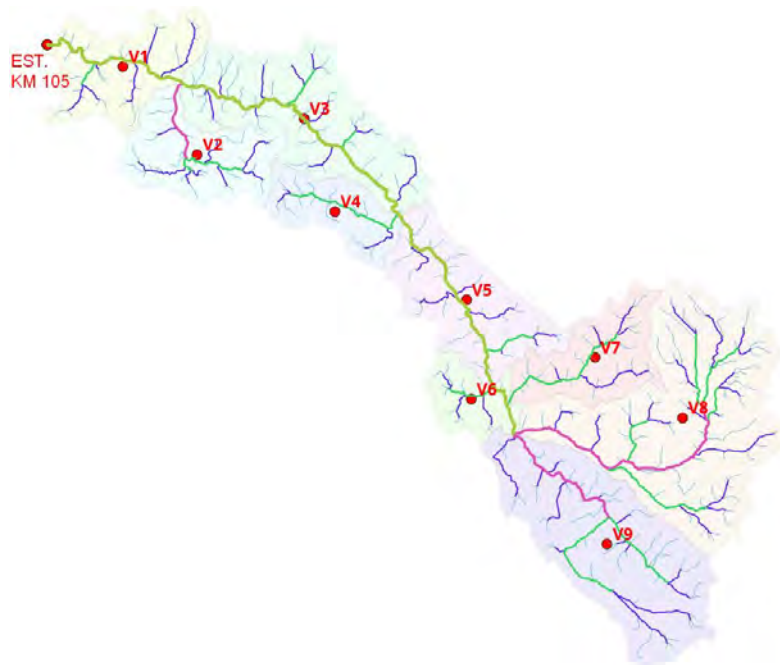


Fuente. Elaboración propia

El punto de salida se ubicó en el Km 105 ($13^{\circ}10'00''$ S, $72^{\circ}32'00''$ O), donde se encuentra la estación hidrométrica de EGEMSA, seleccionada por su relevancia como sitio de control. Esto permite evaluar el comportamiento del caudal en toda la cuenca Vilcanota-Urubamba. Con el punto de salida establecido, se consolidó la delimitación de la cuenca, permitiendo caracterizar sus parámetros hidrológicos y sentando las bases para el modelo hidrológico mediante la plataforma RS Minerve.

Figura 20.

Delimitación de la cuenca de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Subcuencas de la Cuenca de Estudio

La cuenca de estudio se subdividió en 9 subcuencas. La cual se generó un cuadro resumen con áreas, elevaciones medias de cada subcuenca.

Tabla 10.

Áreas y elevaciones medias de cada subcuenca

Nro. de subcuenca	Área (km ²)	Altitud media (msnm)
Subcuenca 1	797.79	4034.53
Subcuenca 2	754.79	3785.75
Subcuenca 3	1406.16	3911.73
Subcuenca 4	483.18	3733.58
Subcuenca 5	998.35	4053.16
Subcuenca 6	355.23	3989.74
Subcuenca 7	681.68	4694.68
Subcuenca 8	2322.55	4757.01
Subcuenca 9	1733.89	4227.09

Fuente. Elaboración propia

Punto de aforo

Se georreferenció la estación hidrométrica del Km 105 en coordenadas WGS84 y se incorporó como punto de salida, vinculando los datos observados de caudal necesarios para la calibración del modelo.

Figura 21.

Punto de aforo



Fuente: Elaboración propia

Parámetros del cauce

Longitud del cauce mayor (L): Corresponde a la distancia horizontal medida a lo largo del trayecto del río principal, desde su origen o cabecera hasta el punto de desagüe en la estación de control hidrométrica.

Pendiente del curso principal (S): Este índice se calcula como la relación entre el desnivel total (diferencia de altitud entre los extremos del cauce) y la longitud horizontal de dicho tramo. La pendiente constituye un factor hidráulico crítico, ya que ejerce una influencia directa sobre la velocidad del flujo y, en consecuencia, sobre los valores de descarga máxima que puede transportar el río.

Figura 22.

Cauces principales de la delimitación



Fuente. Elaboración propia

Tabla 11.

Longitud y pendiente de los cauces principales

Nombre	Longitud del cauce (m)	Pendiente del cauce
fr1	50166.57	0.0141
fr2	92192.48	0.0027
fr3	64004.02	0.0050
fr4	8668.16	0.0046
fr5	10052.93	0.0030
Total =	225084.1566	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 12.

Clasificación de la pendiente según D.S. N° 017-2009-AG

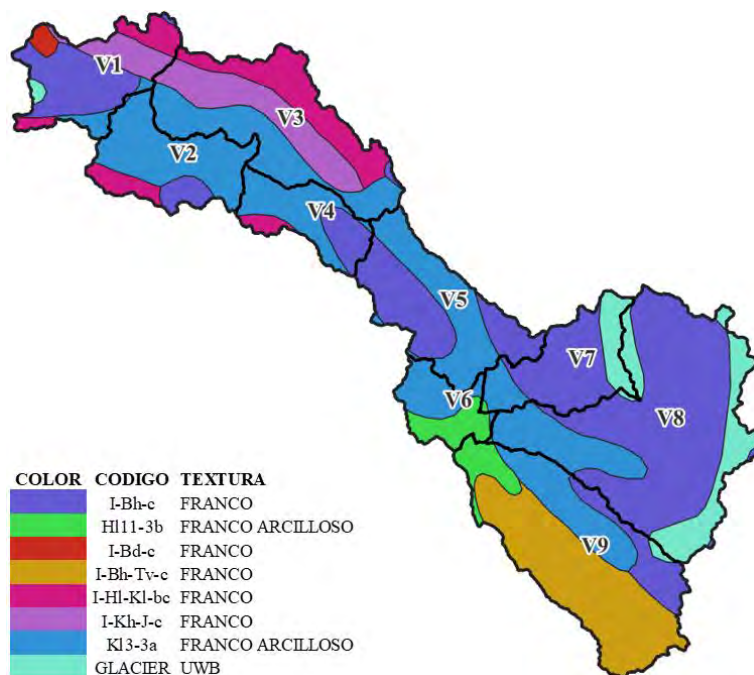
RANGO	TERMINO DESCRIPTIVO
0 – 2 %	Plano o casi a nivel
2 – 4 %	Ligeramente inclinado
4 – 8 %	Moderadamente inclinado
8 – 15 %	Fuertemente inclinado
15 – 25 %	Moderadamente empinado
25 – 50 %	Empinado
50 – 75 %	Muy empinado
> 75 %	Extremadamente empinado

Fuente. El peruano, 2009

4.8.2. Determinación de parámetros relacionados con el Tipo de suelos

Durante el análisis se determinó que la textura dominante de la cuenca es suelo franco; esta clase textural combina arena, limo y una fracción de arcilla de modo que presenta capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua moderada: permite que el agua penetre con relativa facilidad, pero también retenga humedad utilizable por las plantas y para recarga profunda. En la práctica hidrológica esto implica respuestas mixtas, menor escorrentía instantánea que en suelos arcillosos, pero picos más rápidos que en suelos muy francos/arenosos, y una capacidad razonable para sostener caudal base en recesión. Desde la óptica de parametrización para SAC-SMA, la presencia de suelos francos sugiere comenzar con valores medios de UZTWM/UZFWM (mayor almacenamiento en la zona superior) y calibrar LZFPK/LZFSPM a valores que permitan recargas profundas suficientes para explicar el flujo base observado; además, las tasas de vaciado del LZPK/LZSK deberían reflejar recesiones lentas.

Figura 23. *Determinación del tipo de suelos en la cuenca del río Vilcanota*



Fuente: Elaboración propia

4.8.3. Determinación de parámetros relacionados con Cobertura y Uso de suelos

Durante el análisis de coberturas y usos del suelo se constató una cuenca dominada por vegetación herbácea, seguido de áreas agrícolas; esta distribución condiciona directamente la partición precipitación-escorrentía, la interceptión, la evapotranspiración y la capacidad de infiltración y recarga. En términos prácticos, la cobertura herbácea indica baja interceptión y evapotranspiración moderada, por tanto, PCTIM tiene que tener valores medios; las áreas agrícolas, según su manejo, tienden a aumentar escorrentía puntual y disminuir infiltración superficial, por lo que conviene elevar localmente PCTIM y reducir UZTWM/UZFWM; las zonas construidas aumentan la fracción impermeable efectiva y producen picos rápidos (PCTIM alto) y menores capacidades de almacenamiento superficial. Para la parametrización en SAC-SMA estas inferencias se traducen en reglas iniciales, específicamente relacionado con el parámetro relacionado con el uso y cobertura de suelo, el PCTIM, el cual debe calibrarse inicialmente con bajo con incrementos puntuales por las áreas agrícolas.

Figura 24. *Determinación del uso de suelos en la cuenca del rio Vilcanota*



Fuente: Elaboración propia

4.8.4. Determinación de parámetros relacionados con el trabajo en campo

Las observaciones de infiltración, tipo, cobertura y uso del suelo, junto con la presencia de flujo base, permitieron relacionar las condiciones físicas del terreno con los parámetros del modelo SAC-SMA asociados a la retención, percolación y almacenamiento del agua en el suelo. De igual modo, el análisis de coberturas y pendientes facilitó la estimación de los parámetros del modelo GR4J vinculados al flujo superficial y subterráneo. En síntesis, los valores iniciales fueron definidos según las características predominantes de la cuenca, suelos franco y franco-arcillosos y cobertura herbácea, sirviendo como punto de partida para la calibración.

Tabla 13.

Parámetros SAC-SMA determinados con el Tipo de suelo

PARÁMETROS SAC-SMA DETERMINADOS CON EL TIPO DE SUELO					
PARÁMETRO	DEFINICIÓN	FORMA DE MEDICIÓN	RANGO	VEleg.	Und
UZWmax	Capacidad de Agua de Tensión en la Zona Superior	Prueba de infiltración (parte intermedia) y textura (franco/franco-arcilloso)	0.01-0.15	0.01	m
UZFmax	Capacidad de Agua Libre en la Zona Superior	Prueba de infiltración (respuestas rápidas)	0.005-0.1	0.05	m
LZWmax	Capacidad de Agua de Tensión en la Zona Inferior	Profundidad del suelo, evidencia de recarga y volumen infiltrado lento	0.05-0.4	0.05	m
LZFPmax	Capacidad de Agua Libre Primaria en la Zona Inferior	Presencia de flujo base en estiaje; infiltración residual lenta	0.03-0.8	0.5	m
LZFSmax	Capacidad de Agua Libre Secundaria en la Zona Inferior	Infiltración muy lenta y recuperación lenta del caudal	0.01-0.4	0.010	m
Pfree	Fracción de percolación que va directamente a almacenamientos de Agua Libre Inferior	Estructura del suelo, infiltración inicial muy alta	0-0.6	0.60	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14.*Parámetros SAC-SMA determinados con la Cobertura-Usa de suelo*

PARÁMETROS SAC-SMA CON LA COBERTURA/USO DE SUELO					
PARÁMETRO	DEFINICIÓN	FORMA DE MEDICIÓN	RANGO	Veleg	Und
PCTIM	Fracción de área impermeable permanente	Observación cobertura (urbana, industrial, calles, rocas, cuerpos de agua)	0-0.05	0.050	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 15.*Parámetros GR4J determinados con Tipo de suelo*

PARÁMETROS GR4J CON EL TIPO DE SUELO					
PARÁMETRO	DEFINICIÓN	FORMA DE MEDICIÓN	RANGO	Veleg	Und
X3	Capacidad del almacén de routing	Presencia y magnitud de flujo base	0.01-0.5	0.5	m

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16.*Parámetros GR4J determinados con la Cobertura-Usa de suelo*

PARÁMETROS GR4J CON LA COBERTURA/USO DE SUELO					
PARÁMETRO	DEFINICIÓN	FORMA DE MEDICIÓN	RANGO	Veleg	Und
X4	Tiempo base del hidrograma unitario	Cobertura, pendiente, estado del suelo (compactación)	1.1-2.9	2.1	d

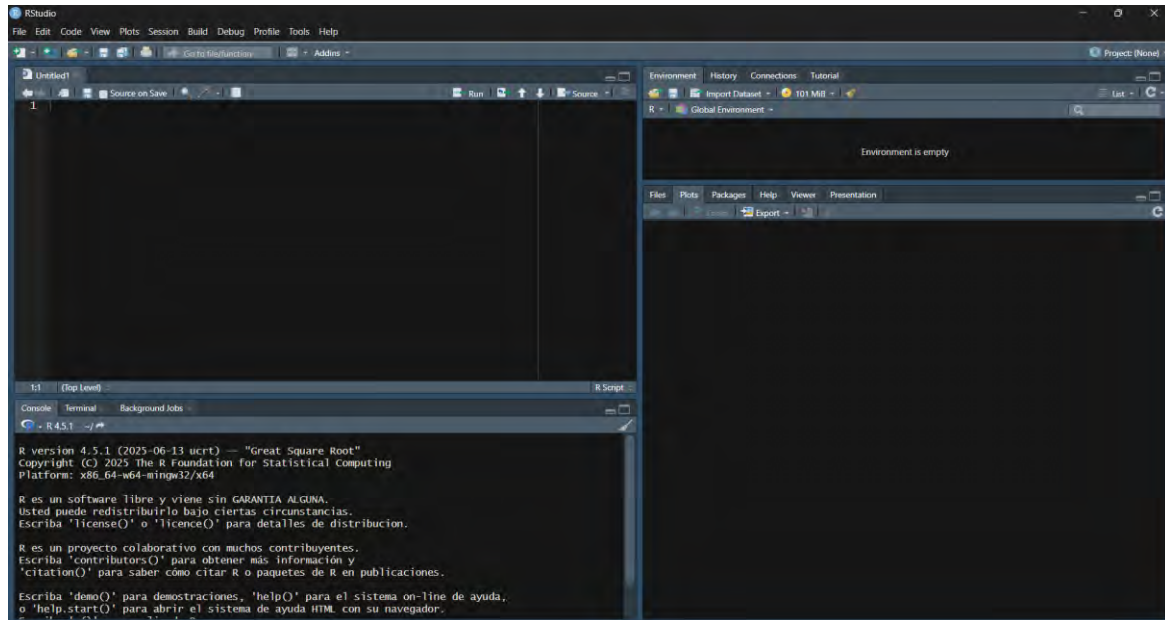
Fuente. Elaboración propia

4.8.5. Determinación de datos climatológicos

Se utilizó el software RStudio para el procesamiento y transformación de los datos de precipitación, temperatura mínima y máxima obtenidos del producto PISCO. Esta información es fundamental para el cálculo de la escorrentía y el balance hídrico de la cuenca.

Figura 25.

Interfaz del software RStudio

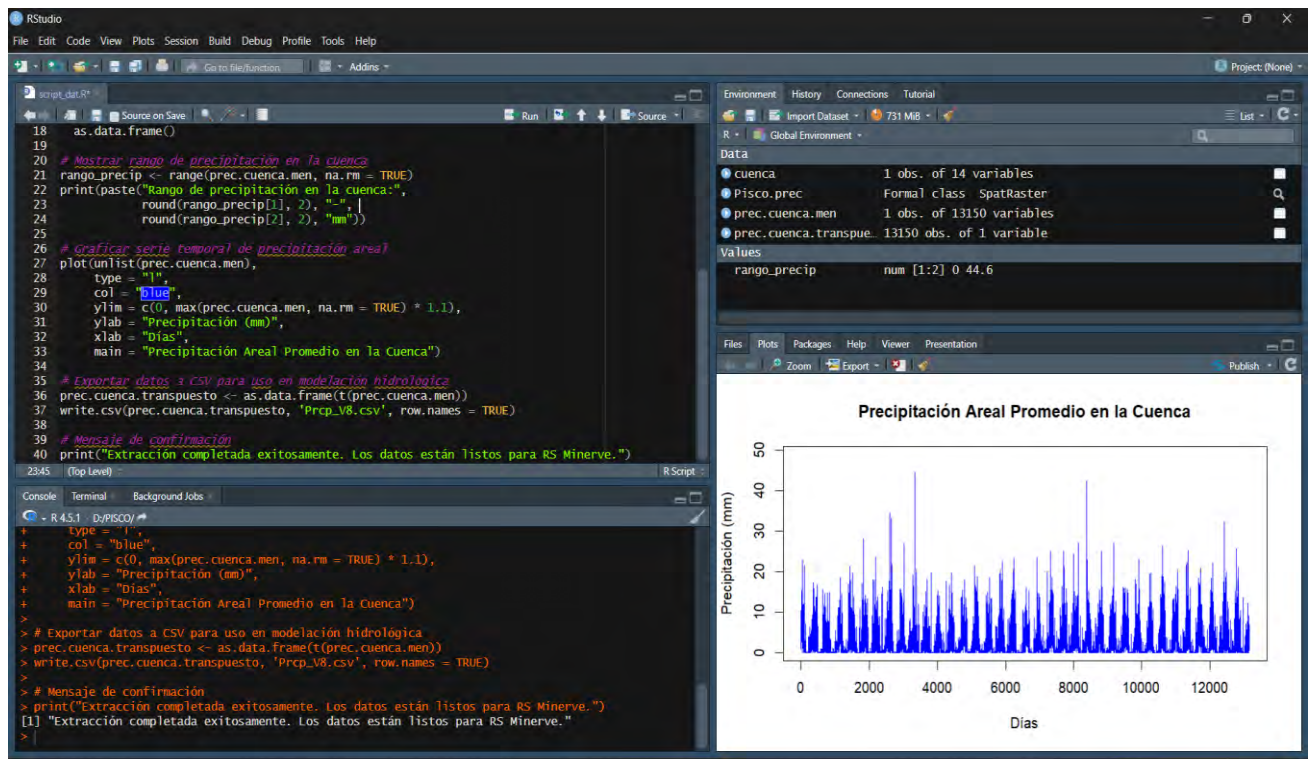


Fuente: Elaboración propia

Los datos climáticos en su formato original fueron trabajados mediante scripts en R, asegurando su compatibilidad con los requisitos de entrada del modelo de RS Minerve. Asimismo, se generaron series temporales de precipitación y temperatura para cada una de las 9 subcuencas, utilizando el shapefile de delimitación hidrológica como referencia. Este proceso incluyó interpolación espacial y la creación de series temporales continuas, permitiendo así una integración eficiente de los datos climáticos en el modelo para su posterior análisis y simulación. Se hicieron cálculos de precipitaciones y temperaturas medias de toda el área de la cuenca, no de un punto en específico, este análisis ayuda a tener un valor óptimo para el modelamiento.

Figura 26.

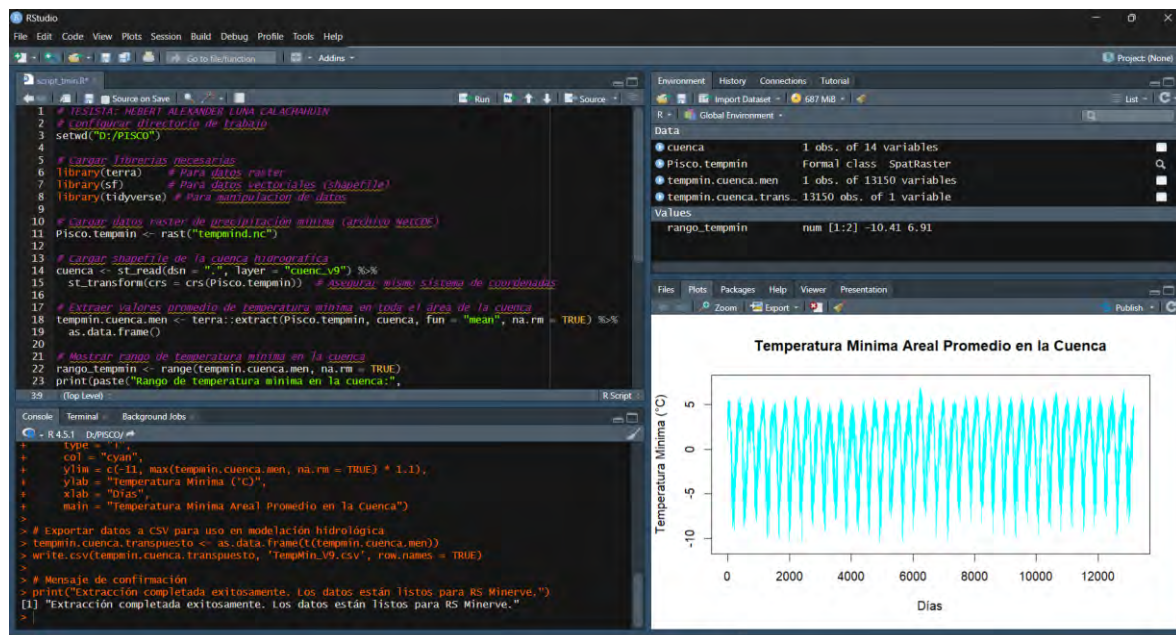
Script para precipitación media



Fuente: Elaboración propia

Figura 27.

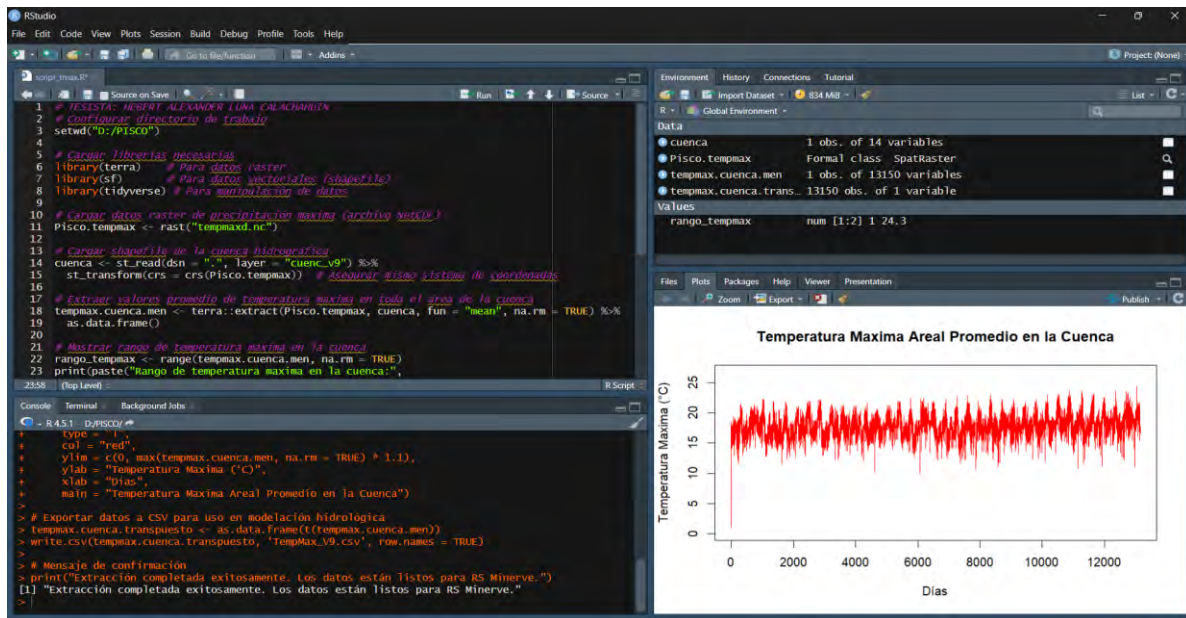
Script para temperatura mínima media



Fuente. Elaboración propia

Figura 28.

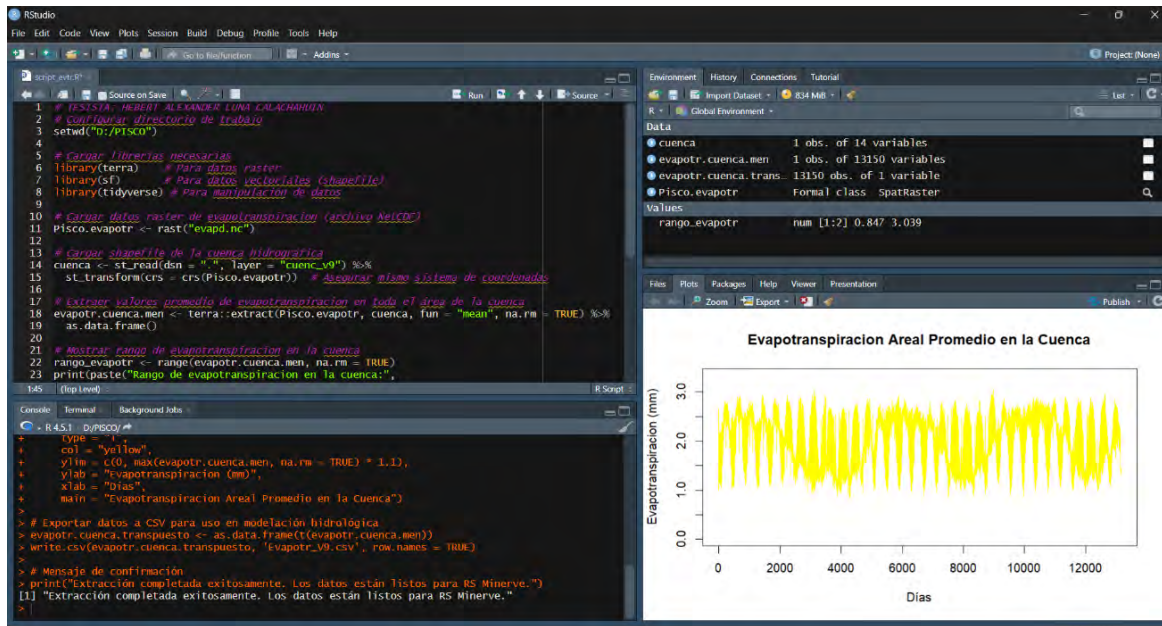
Script para temperatura máxima media



Fuente. Elaboración propia

Figura 29.

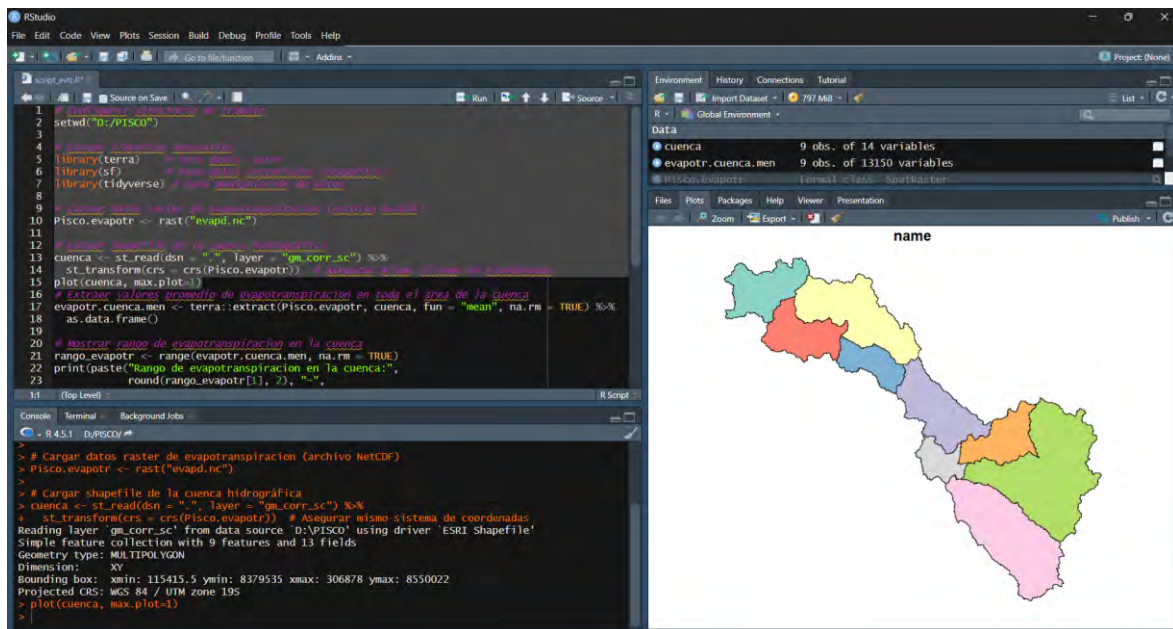
Script para evapotranspiración potencial media



Fuente. Elaboración propia

Figura 30.

Script para trabajo con subcuencas en R



Fuente. Elaboración propia

Los modelos GR4J y SAC-SMA requieren como forzantes meteorológicas la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración potencial, esta última estimada a partir de las series de

temperatura mediante los scripts desarrollados en R. Al no depender de variables adicionales como humedad relativa, radiación solar o velocidad del viento, este enfoque disminuye la dependencia de datos externos y facilita la aplicación de los modelos en zonas con información limitada. Una vez procesados, los datos se organizan en tablas estructuradas compatibles con RS Minerve, garantizando una integración eficiente y precisa en el modelo.

Los datos meteorológicos se incorporaron para un período histórico comprendido entre el 01/01/1981 y el 31/12/2016, abarcando 36 años que permiten capturar la variabilidad climática de la zona de estudio. Los datos de caudal se configuraron con resolución diaria, asegurando un análisis detallado de la dinámica hidrológica. Además, se implementó un período de calentamiento (warm-up) de 3 años, necesario para estabilizar las condiciones iniciales del modelo y reducir posibles sesgos, garantizando que las simulaciones reflejen con precisión los procesos hidrológicos. Para el periodo complementario (2017–2024) se utilizó únicamente la data de NASA POWER, al ser un análisis donde solo se evalúa de forma comparativa y limitada si las simulaciones con forzantes no validados presentan desviaciones cuantitativas relevantes respecto a las métricas de referencia (1981–2016).

4.8.6. Determinación de la consistencia de los datos de entrada

4.8.6.1. Análisis de Regresión Simple

El análisis de la regresión lineal simple aplicada entre la precipitación real y la precipitación PISCO mostró un coeficiente de correlación de 0.95, lo que evidencia una relación lineal positiva y muy fuerte entre ambas variables. El coeficiente de determinación ($R^2 = 90.89 \%$) indica que la mayor parte de la variabilidad de la precipitación PISCO es explicada por la precipitación real, lo que refleja un nivel de ajuste satisfactorio. La pendiente (0.85) cercana a la unidad señala que el

producto PISCO representa adecuadamente los valores de precipitación real, aunque tiende a subestimar ligeramente los valores altos. El intercepto (0.22) indica un sesgo positivo pequeño.

Figura 31.

Regresión Simple – Prec. PISCO vs. Prec. Real

Regresión Simple - Prec. PISCO vs. Prec. Real

Variable dependiente: Prec. PISCO

Variable independiente: Prec. Real

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.22067	0.011618	18.9937	0.0000
Pendiente	0.853489	0.00241248	353.781	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	179528.	1	179528.	125161.05	0.0000
Residuo	17995.7	12546	1.43438		
Total (Corr.)	197524.	12547			

Coefficiente de Correlación = 0.953359

R-cuadrada = 90.8894 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 90.8886 por ciento

Error estándar del est. = 1.19765

Error absoluto medio = 0.402686

Estadístico Durbin-Watson = 1.81777 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0910455

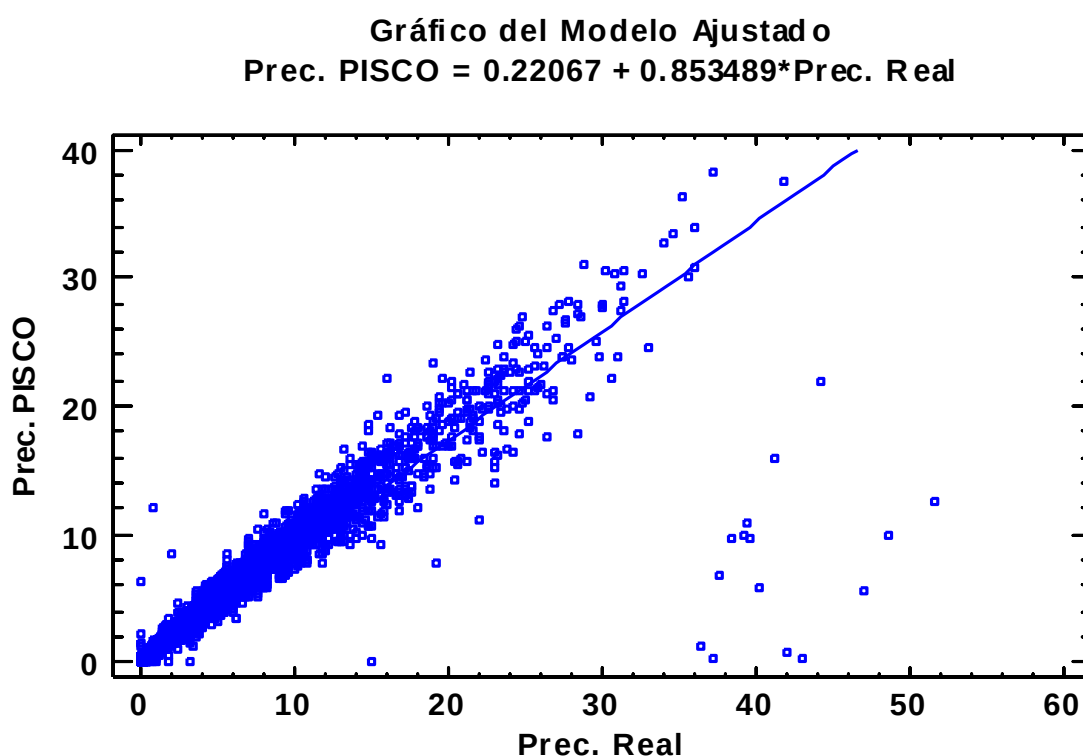
Fuente. Elaboración propia

El modelo resultó estadísticamente significativo ($F = 125161$; $p < 0.05$), confirmando la confiabilidad de la relación establecida. Asimismo, los errores fueron bajos: error estándar de la estimación (1.19) y error absoluto medio (0.40), lo que respalda la precisión del ajuste. El estadístico Durbin-Watson (1.81) sugiere además que los residuos no presentan autocorrelación significativa, validando la robustez del modelo. En conjunto, estos resultados permiten concluir que el producto PISCO constituye una fuente de información confiable para la representación de la precipitación real en la zona de estudio, con un desempeño estadísticamente sólido y con márgenes de error aceptables (Elaboración propia).

En conjunto con la ausencia de autocorrelación significativa, la elevada correlación y la significancia estadística permiten considerar al producto PISCO como un insumo consistente y válido para la calibración del modelo hidrológico RS Minerve. Cabe precisar que, como serie de precipitación observada de referencia para este análisis, se emplearon los registros de la estación K'ayra.

Figura 32.

Gráfico del modelo ajustado - Prec. PISCO vs. Prec. Real



Fuente. Elaboración propia

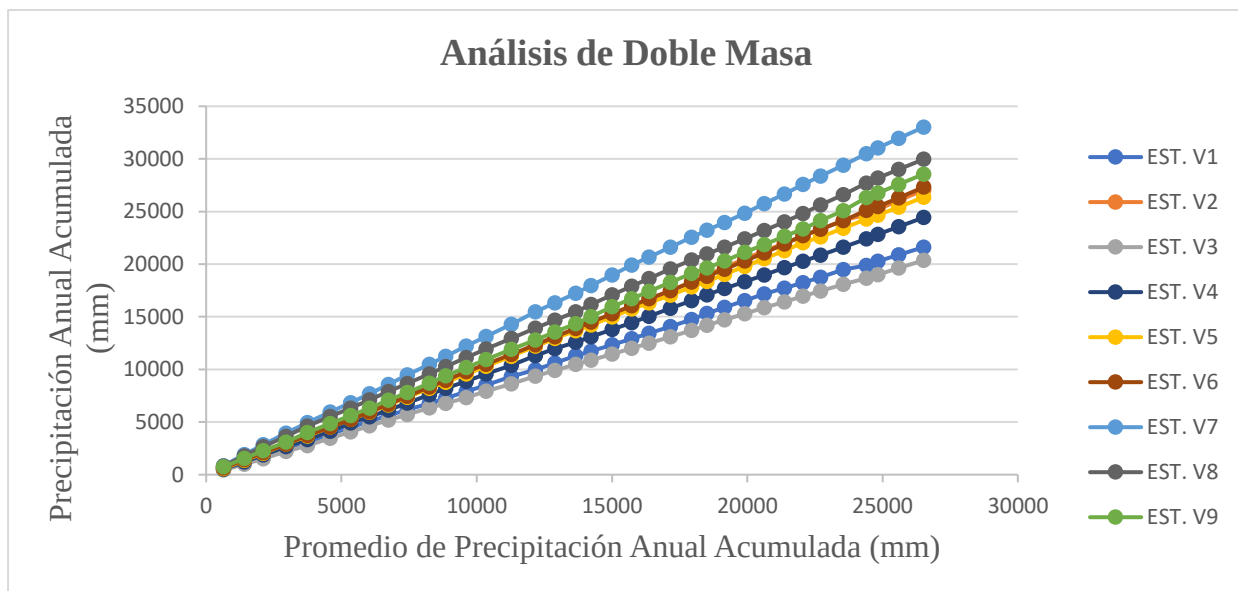
4.8.6.2. Análisis de Doble Masa

El análisis de doble masa realizado muestra que las curvas acumuladas de las estaciones evaluadas presentan una tendencia lineal y una alineación prácticamente recta a lo largo del

período analizado. Esta constancia en la pendiente de la recta indica que la relación entre las series en estudio y la serie de referencia se mantiene estable en el tiempo, lo que descarta la presencia de rupturas sistemáticas atribuibles a cambios en instrumentación, ubicación de la estación o errores de registro. Si bien se observan pequeñas dispersiones puntuales esperables por la variabilidad interanual natural, no se detectan cambios abruptos en la inclinación de la doble masa que requieran corrección. En consecuencia, las series se consideran homogéneas y aptas para su uso como forzantes en la modelación hidrológica (SAC-SMA y GR4J) realizada en RS Minerve; cualquier incertidumbre residual será abordada en el análisis de sensibilidad del modelo.

Figura 33.

Gráfico del análisis de doble masa de precipitación



Fuente. Elaboración propia

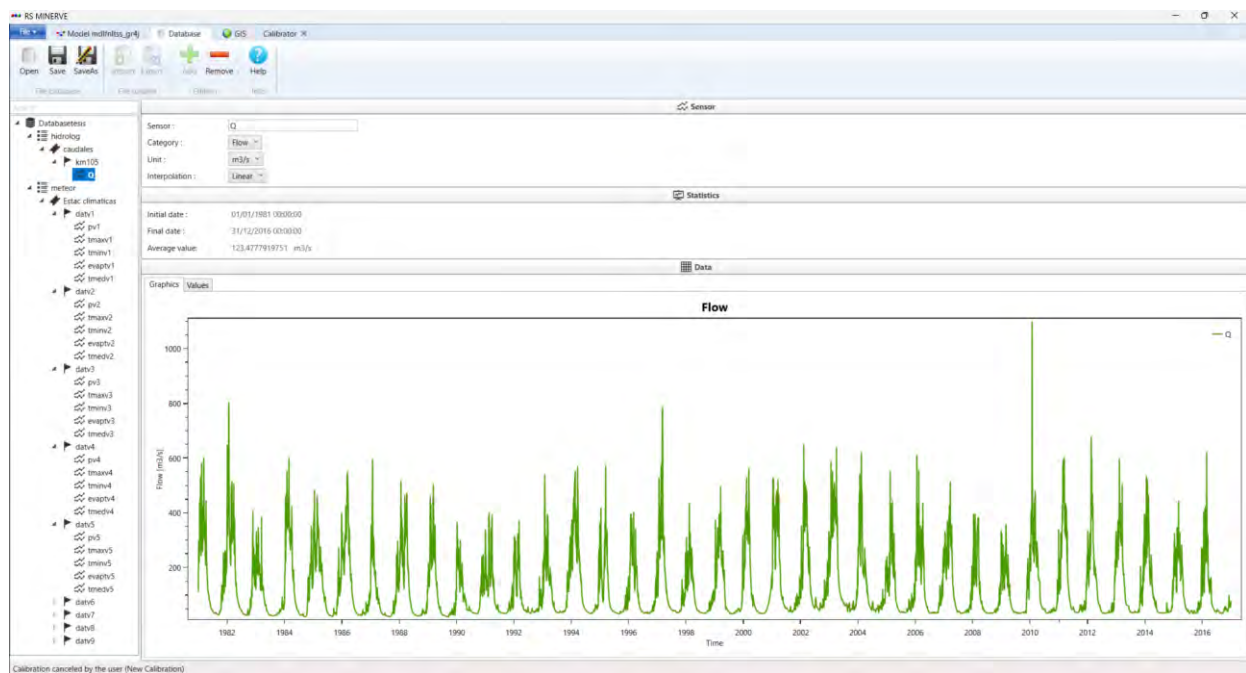
4.8.7. Sistema de Modelación Hidrológica a RS Minerve

Se estableció el período de simulación, incluyendo las etapas de calentamiento y calibración, así como los métodos de enrutamiento hidrológico, configurando los parámetros

iniciales en las tablas de parámetros de los modelos GR4J y SAC-SMA. Tras completar la preparación, validación y verificación de los datos de entrada, el modelo quedó listo para su ejecución. Con ello, la plataforma RS Minerve puede realizar simulaciones hidrológicas integrales, permitiendo evaluar el comportamiento de la cuenca bajo distintas condiciones climáticas.

Figura 34.

Importación de data hidrometereológica



Fuente. Elaboración propia

Se estableció el período de simulación del modelo GR4J y SAC-SMA comprendiendo los años 1981-2016, asignando los años de 1981-1983 como fase de calentamiento para minimizar la influencia de condiciones iniciales desconocidas. Los registros de descarga media diaria de la estación hidrológica “KM 105” se utilizaron como referencia para la calibración del modelo durante 1981-2005 (con los años 1981-1983 como fase de calentamiento) y su posterior validación en el período 2006-2016.

Estación meteorológica virtual

El objeto denominado «estación virtual» (definido a partir de las coordenadas X, Y, Z) facilita la representación espacial de variables meteorológicas como la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración de referencia (ET_o), ya sea obtenidas o estimadas de una base de datos, dentro de un marco de referencia métrico.

En el software se identifican dos métodos para la distribución espacial de estas variables: **Thiessen** y **Shepard**. El método de Thiessen asigna cada valor meteorológico a la estación más próxima, mientras que el de Shepard considera todas las estaciones ubicadas dentro de un radio de influencia, aplicando un cálculo basado en la ponderación por la distancia inversa.

Para el presente estudio se optó por la interpolación Shepard, dado que permitió integrar la información de todas las estaciones de ambas cuencas, lo que proporcionó una mayor diversidad de datos meteorológicos. En la Tabla a continuación se detallan los parámetros y condiciones iniciales empleados, junto con los rangos de valores correspondientes para la estación virtual.

Tabla 17.

Parámetros y condiciones iniciales para la estación virtual

Objeto	Nombre	Unidad	Descripción	Rango de Valores
Estación	X, Y, Z	-	Coordenadas de la estación virtual	-
	Radio de búsqueda	m	Radio de búsqueda de estaciones meteorológicas	> 0

	N° mínimo de estaciones	-	Número mínimo de estaciones utilizada para la interpolación	≥ 1
	Gradiente P	m/s/m	Gradiente Precipitación	-
	Gradiente T	°C/m	Gradiente Temperatura	-0.007 a -0.004
	Gradiente ETP	m/s/m	Gradiente Evapotranspiración	-
	Coeff P	-	Coefficiente de corrección Precipitación	0.5 – 2
	Coeff T	°C	Coefficiente de corrección Temperatura	-2 – 2
	Coeff ETP	-	Coefficiente de corrección Evapotranspiración	0.5 – 2

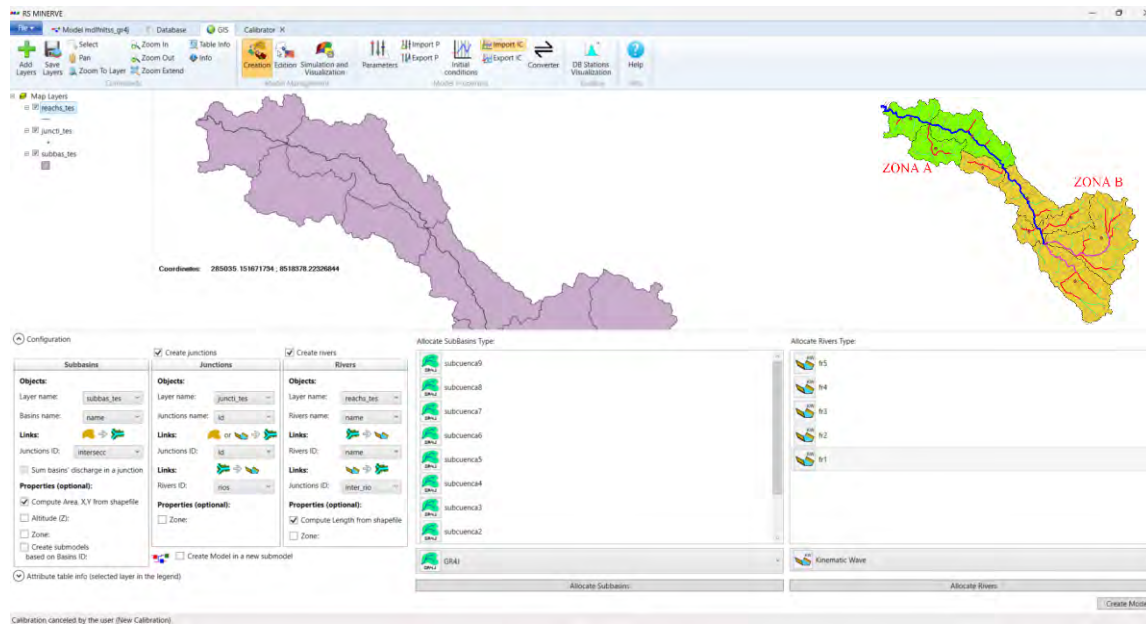
Fuente. Manual técnico RS-Minerve, 2014

Ejecución de la simulación

Se importo la información creada en QGIS para la aplicación del módulo GIS que ofrece la plataforma RS Minerve, esto nos ayuda a transferir de manera directa los parámetros geomorfológicos de las subcuencas (área, longitud del río e intersecciones)

Figura 35.

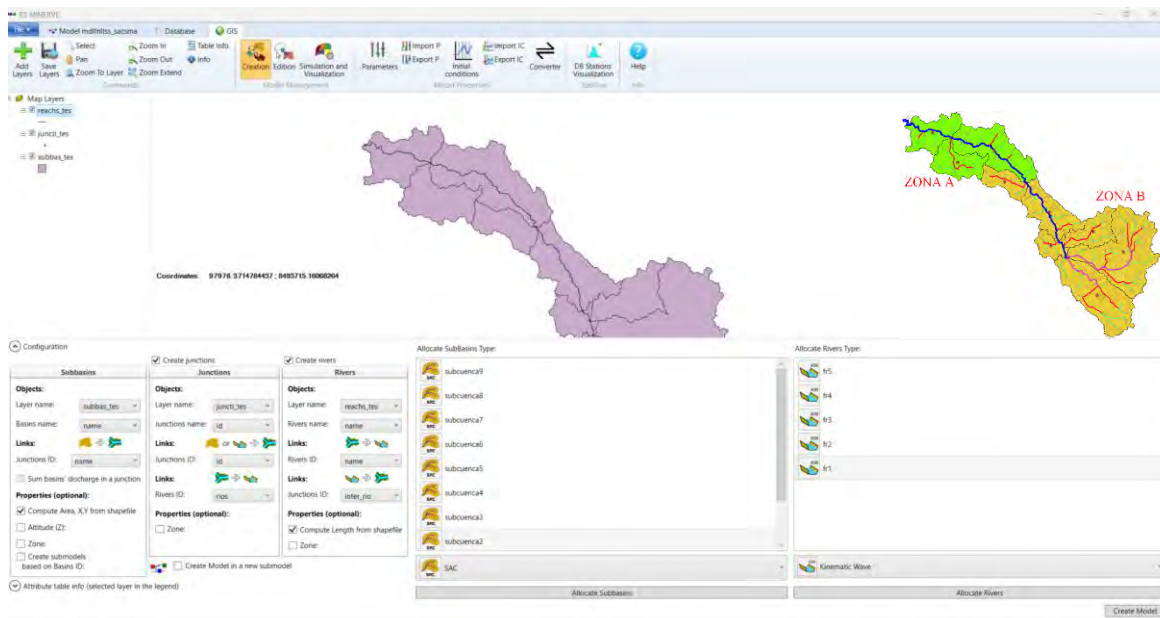
Creación del modelo GR4J en RS Minerve



Fuente. Elaboración propia

Figura 36.

Creación del modelo SAC-SMA en RS Minerve

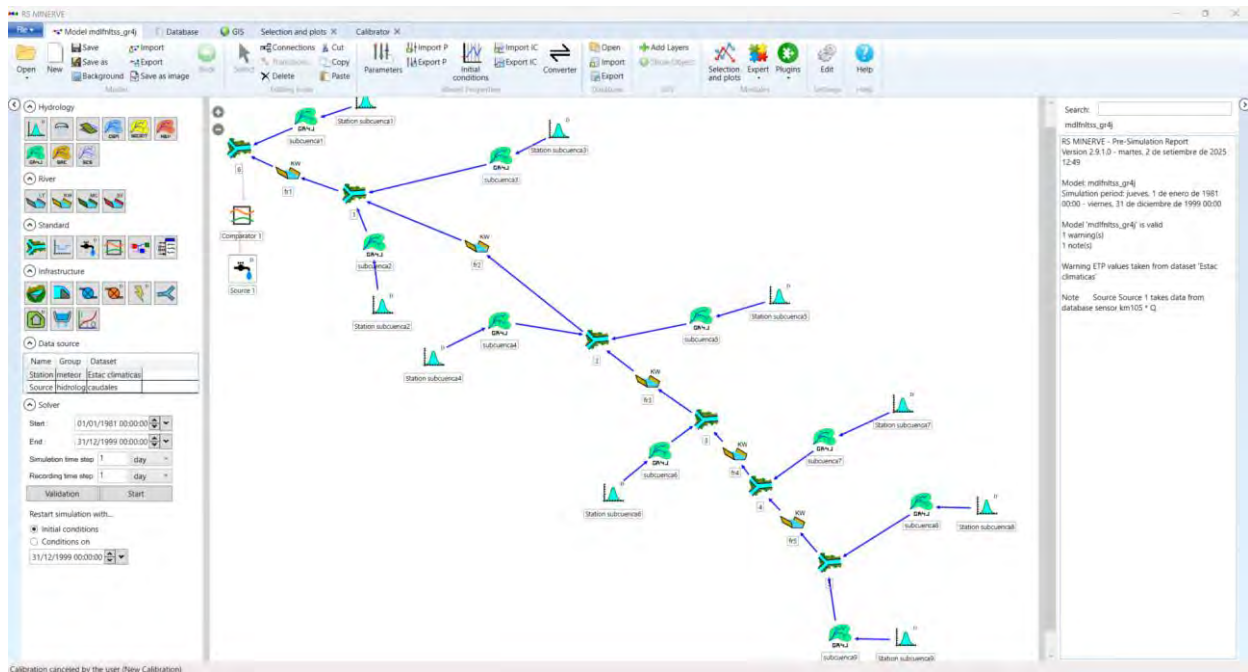


Fuente. Elaboración propia

Como resultado se obtuvo un modelo hidrológico que represente a la cuenca a partir de un modelo GIS, asegurando esto una correcta interpretación de la interacción de los elementos de la plataforma.

Figura 37.

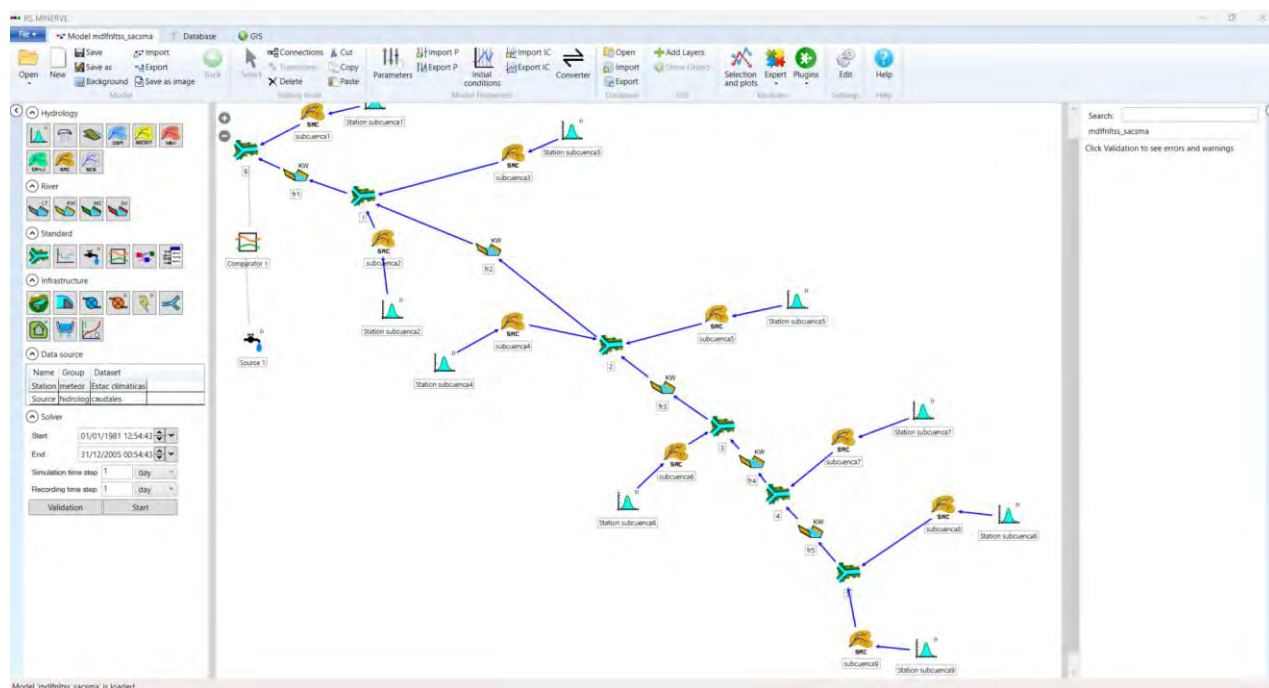
Representación del modelo GR4J de la cuenca de estudio



Fuente. Elaboración propia

Figura 38.

Representación del modelo SAC-SMA de la cuenca de estudio



Fuente. Elaboración propia

4.8.8. Salida de datos de simulación del modelo

Para la ejecución del modelo GR4J y SAC-SMA, se monitoreo cuidadosamente los archivos de salida para detectar posibles errores. Como resultado, se obtuvieron datos brutos de caudal y otros parámetros hidrológicos necesarios para el análisis posterior.

Figura 39.

Simulación inicial con valores por defecto del modelo GR4J y SAC-SMA

⬆ Data source

Name	Group	Dataset
Station	meteor	Estac climaticas
Source	hidrolog	caudales

⬆ Solver

Start : 01/01/1981 00:00:00

End : 31/12/2005 00:00:00

Simulation time step: 1 day

Recording time step: 1 day

Computing... 2%

Stop

Restart simulation with...

☒ Initial conditions

☐ Conditions on

31/12/1999 00:00:00

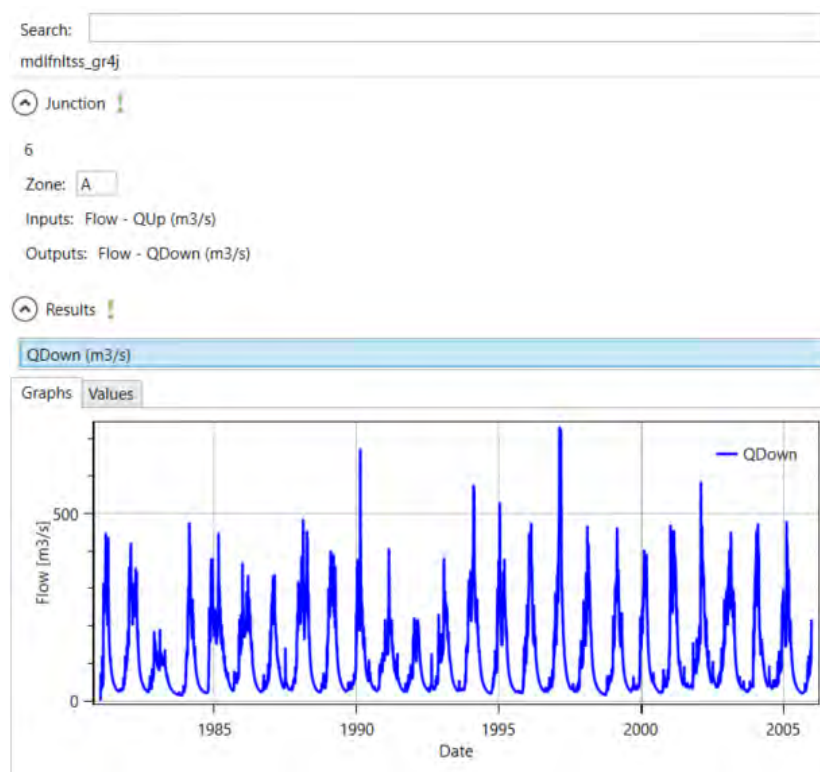
Fuente. Elaboración propia

Para evaluar los resultados obtenidos del modelo GR4J y SAC-SMA, se selecciona a cada uno de los elementos que representan a la cuenca, pudiendo así visualizar y procesar eficientemente los archivos de salida generados por el modelo. Tras la ejecución de los modelos, los resultados se importaron al programa, donde se realizó una visualización detallada de los caudales en cada subcuenca definida.

Se prestó especial atención a la subcuenca donde se ubica la estación hidrométrica del Km 105, la cual registra caudales observados de manera continua. Estos datos sirvieron como referencia para comparar y validar los caudales simulados, asegurando que los resultados del modelo fueran representativos de las condiciones reales de la cuenca.

Figura 40.

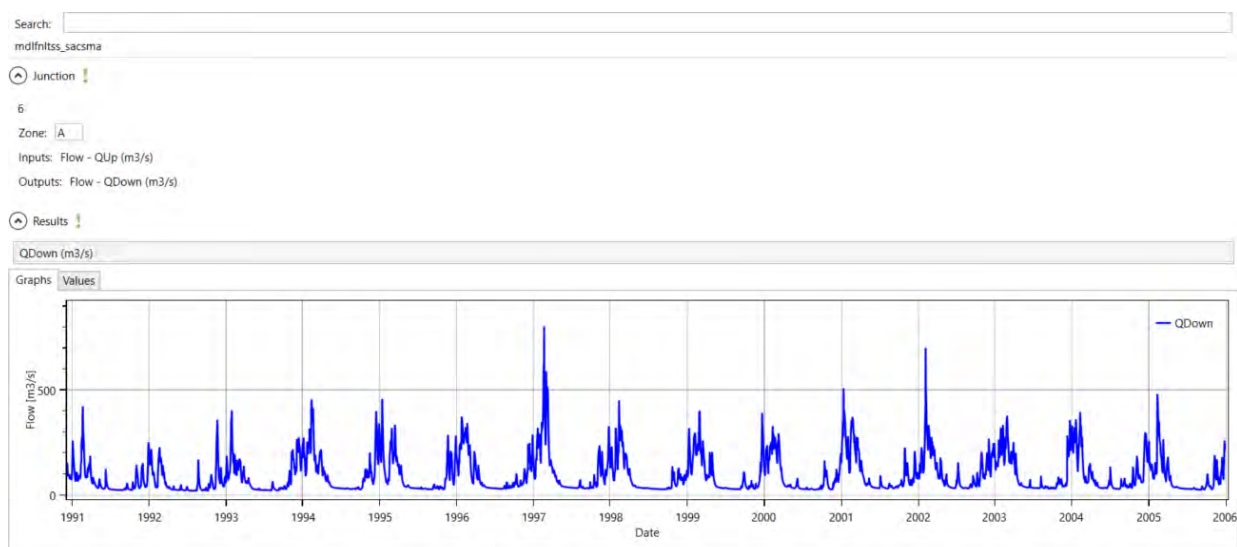
Caudales simulados del modelo GR4J



Fuente: Elaboración propia

Figura 41.

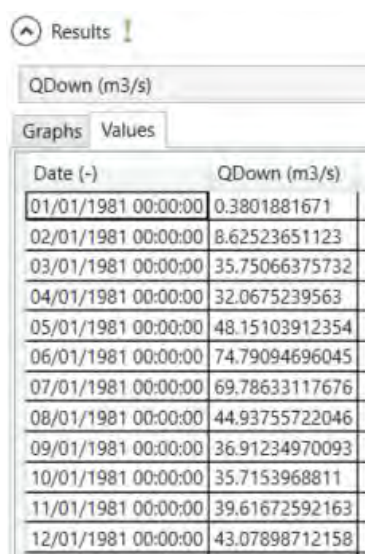
Caudales simulados del modelo SAC-SMA



Fuente. Elaboración propia

Figura 42.

Valores del caudal diario simulado inicial del modelo GR4J

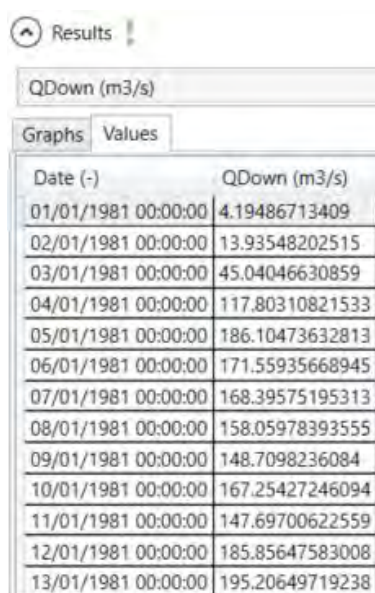


Date (-)	QDown (m3/s)
01/01/1981 00:00:00	0.3801881671
02/01/1981 00:00:00	8.62523651123
03/01/1981 00:00:00	35.75066375732
04/01/1981 00:00:00	32.0675239563
05/01/1981 00:00:00	48.15103912354
06/01/1981 00:00:00	74.79094696045
07/01/1981 00:00:00	69.78633117676
08/01/1981 00:00:00	44.93755722046
09/01/1981 00:00:00	36.91234970093
10/01/1981 00:00:00	35.7153968811
11/01/1981 00:00:00	39.61672592163
12/01/1981 00:00:00	43.07898712158

Fuente. Elaboración propia

Figura 43.

Valores del caudal diario simulado inicial del modelo SAC-SMA

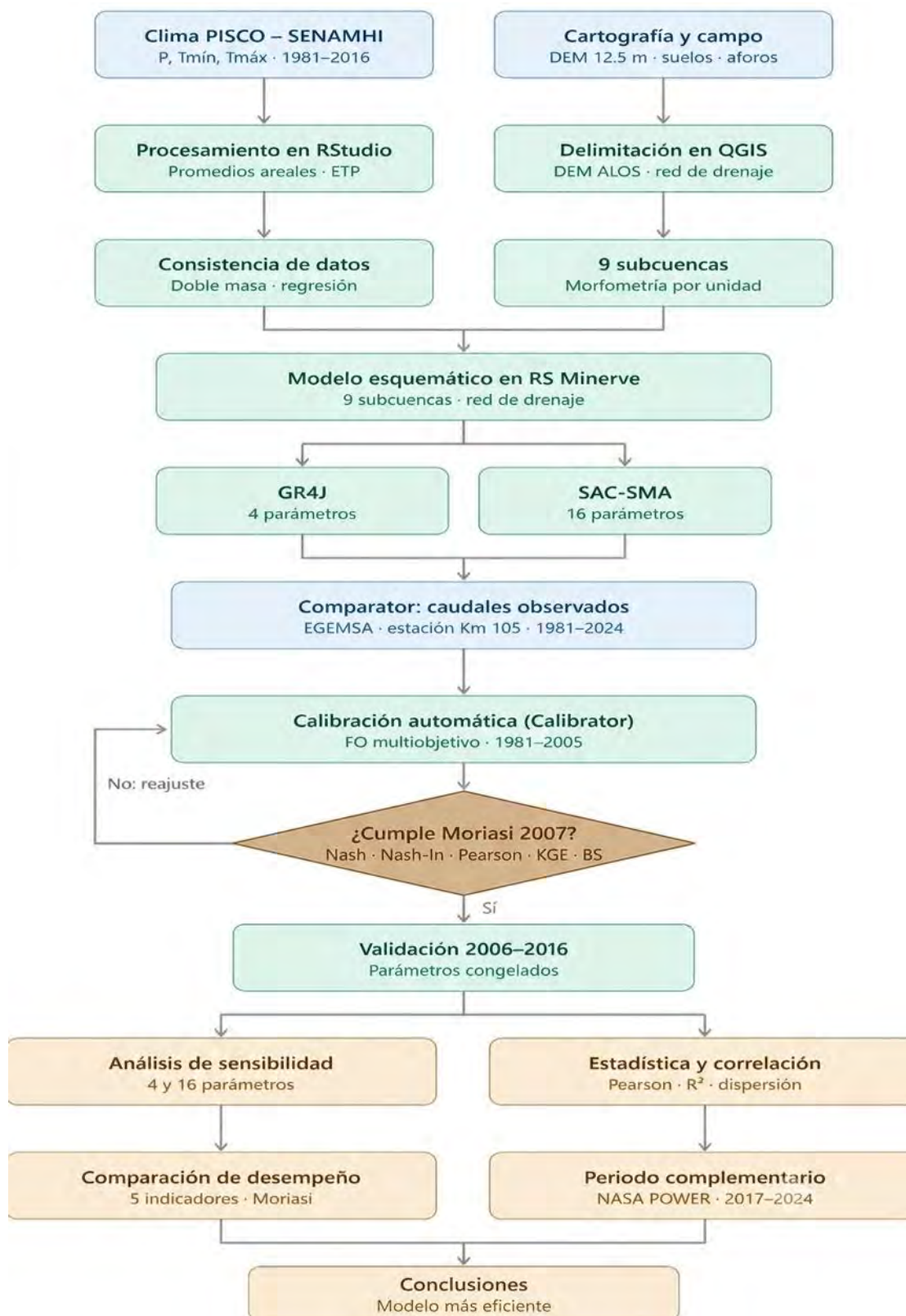


Date (-)	QDown (m3/s)
01/01/1981 00:00:00	4.19486713409
02/01/1981 00:00:00	13.93548202515
03/01/1981 00:00:00	45.04046630859
04/01/1981 00:00:00	117.80310821533
05/01/1981 00:00:00	186.10473632813
06/01/1981 00:00:00	171.55935668945
07/01/1981 00:00:00	168.39575195313
08/01/1981 00:00:00	158.05978393555
09/01/1981 00:00:00	148.7098236084
10/01/1981 00:00:00	167.25427246094
11/01/1981 00:00:00	147.69700622559
12/01/1981 00:00:00	185.85647583008
13/01/1981 00:00:00	195.20649719238

Fuente. Elaboración propia

Una vez obtenidos los caudales simulados de la subcuenca de interés, estos se exportaron en formato de texto y se organizaron en una hoja de cálculo de Excel, junto con los caudales observados registrados por la estación hidrométrica del Km 105. Esta integración permitió realizar una comparación directa entre valores simulados y observados, facilitando un análisis cuantitativo de la precisión del modelo y su capacidad para reproducir el comportamiento hidrológico de la cuenca.

4.8.9. Flujograma de la investigación



4.9. Calibración y Validación

La calibración y validación constituyen etapas esenciales para asegurar que los modelos hidrológicos reproduzcan con precisión el comportamiento real de la cuenca. Para ello, antes de la calibración de los modelos GR4J y SAC-SMA, se hizo la comparativa con los caudales reales observados mediante la herramienta de *Comparator* que ofrece la plataforma RS Minerve.

La calibración se desarrolló en dos etapas. En una primera etapa se estableció un conjunto de parámetros iniciales a partir de los valores por defecto del modelo, ajustados por aproximación según las características físicas observadas en el análisis de campo. En una segunda etapa, tomando dichos valores como punto de partida, se aplicó la herramienta Calibrator de RS Minerve mediante iteraciones sucesivas, empleando como referencia los caudales observados de la estación del Km 105 cargados en la herramienta Comparator, hasta identificar los valores estadísticos de ajuste más adecuados que permiten disminuir la incertidumbre entre los caudales simulados y los observados. Para este proceso de la calibración, se consideraron los datos comprendidos entre enero de 1981 y diciembre de 2005, mientras que la etapa de validación se desarrolló con la información correspondiente a enero de 2006 – diciembre de 2016. Con el fin de evaluar la confiabilidad de la simulación en ambas fases, se emplearon cinco indicadores estadísticos: eficiencia de Nash-Sutcliffe, coeficiente de Nash-Sutcliffe aplicado a los valores logarítmicos, coeficiente de correlación de Pearson, Eficiencia de Kling-Gupta y Bias Score.

Figura 44.

Indicadores de eficiencia

Parámetros estadísticos	Rango de Valores	Valor Ideal
Nash	$-\infty$ to 1	1
Nash-ln	$-\infty$ to 1	1

4.9.1. Calibración

Se utilizó el período histórico de 1981 a 2005, durante el cual se ajustaron los parámetros de cada modelo para minimizar la diferencia entre los caudales simulados y los caudales observados registrados en la estación hidrométrica del Km 105.

Se emplearon criterios estadísticos como el coeficiente de eficiencia de Nash, Nash-In, Pearson Correlation Coeff, Kling-Gupta Efficiency y Bias Score, con la herramienta *Calibrator* de la plataforma de RS Minerve.

Eficiencia de Nash Sutcliffe: Propuesto por Nash y Sutcliffe (1970), este coeficiente cuantifica qué proporción de la variabilidad observada en los caudales logra ser reproducida por el modelo, por lo que constituye una de las medidas más difundidas de la aptitud predictiva en hidrología. Su formulación matemática se representa a través de la siguiente ecuación:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Donde:

$Q_{sim,i}$: Caudal simulado para el día i (m^3/s)

Q_i : Caudal observado para el día i (m^3/s)

$\bar{Q}$: Media del caudal (m^3/s)

Sus resultados se ubican en un rango que va desde $-\infty$ hasta 1: un valor de 1 corresponde al ajuste perfecto, mientras que un valor de 0 indica que la simulación no supera a la simple media de los datos observados.

Eficiencia de Nash Sutcliffe para los valores del logaritmo: Esta variante aplica la transformación logarítmica a los caudales antes de calcular el coeficiente de Nash-Sutcliffe (Nash-ln), lo que otorga mayor peso relativo a los caudales de estiaje y permite evaluar con más detalle el comportamiento del modelo en los períodos de aguas bajas. Su expresión matemática se presenta en la siguiente ecuación:

$$Nash - ln = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_{sim,i}) - \ln(Q_i))^2}{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_i) - \ln(\bar{Q}_i))^2}$$

Donde:

$Q_{sim,i}$: Caudal simulado para el día i (m^3/s)

Q_i : Caudal observado para el día i (m^3/s)

$\bar{Q}_i$: Media del caudal (m^3/s)

Al igual que el índice original, sus valores se extienden de $-\infty$ a 1, siendo 1 el resultado óptimo.

Coeficiente de correlación de Pearson: Mide la intensidad de la asociación lineal entre dos conjuntos de datos que, en este estudio, corresponden a los caudales observados y a los simulados. Su formulación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Pearson = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i) * (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim,i})}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2 * \sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim,i})^2}$$

Donde:

$Q_{sim,i}$: Caudal simulado para el día i (m^3/s)

Q_i : Caudal observado para el día i (m^3/s)

$\bar{Q}_i$: Media del caudal (m^3/s)

$\bar{Q}_{sim,i}$: Media de los caudales simulados (m^3/s)

El coeficiente toma valores comprendidos entre -1 y 1; conforme se aproxima a 1, mejor es la concordancia entre ambas series. Por su naturaleza, resulta más adecuado cuando se asume una relación de tipo lineal entre los caudales observados y los simulados.

Kling-Gupta Efficiency (KGE): Formulado por Gupta et al. (2009), este índice surge para corregir las limitaciones de métricas previas al descomponer el error del modelo en tres componentes —correlación, sesgo y variabilidad—, razón por la cual se ha extendido ampliamente en la evaluación de simulaciones hidrológicas frente a registros observados.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2}$$

Donde:

r : Coeficiente de correlación entre los valores simulados y de referencia

β : Razón de sesgo $\rightarrow \frac{\mu_s}{\mu_o}$

γ : Razón de variabilidad $\rightarrow \frac{CV_s}{CV_o} = \frac{\sigma_s/\mu_s}{\sigma_o/\mu_o}$

μ : Caudal medio (m^3/s)

CV: Coeficiente de variación

σ : Desviación típica del caudal (m^3/s)

s y o: Valores de caudal simulados y observados, respectivamente

Sus valores se sitúan entre 0 y 1, correspondiendo el 1 al desempeño ideal del modelo.

Bias Score (BS): Este indicador contrasta de forma simétrica el caudal promedio simulado con el promedio efectivamente registrado, ofreciendo así una medida del balance volumétrico global del modelo. Su valor se determina mediante la ecuación:

$$BS = 1 - \left(\max \left(\frac{\bar{Q}_{sim,i}}{\bar{Q}_i}, \frac{\bar{Q}_i}{\bar{Q}_{sim,i}} \right) - 1 \right)^2$$

Donde:

$\bar{Q}_i$: Media del caudal (m^3/s)

$\bar{Q}_{sim,i}$: Media de los caudales simulados (m^3/s)

Sus resultados oscilan entre 0 y 1, donde 1 representa la condición ideal.

Tabla 18.

Indicadores de calibración

Parámetros estadísticos	Rango de Valores	Valor Ideal
Nash	$-\infty$ to 1	1
Nash-ln	$-\infty$ to 1	1
Pearson Correlation Coeff	-1 to 1	1
Kling-Gupta Efficiency (KGE)	$-\infty$ to 1	1
Bias Score (BS)	$-\infty$ to 1	1

Fuente. Elaboración propia

Tabla 19.

Indicadores de eficiencia

INDICADOR	AJUSTE
$NSE \leq 0.50$	Insatisfactorio
$0.50 < NSE \leq 0.65$	Satisfactorio

INDICADOR	AJUSTE
$0.65 < NSE \leq 0.75$	Bueno
$NSE > 0.75$	Muy Bueno

Fuente. Moriasi, D.N. et al. (2007).

En la etapa de calibración se llevaron a cabo pruebas manuales producto del análisis de campo con el fin de generar los parámetros iniciales que sirvieron como insumo para los modelos. Posteriormente, se aplicaron procedimientos de calibración automática de tipo multiobjetivo, en los cuales la Función Objetivo (FO) busca maximizar los indicadores estadísticos de eficiencia de Nash, eficiencia Nash-ln y coeficiente de correlación de Pearson, eficiencia de Kling-Gupta (KGE) y Bias Score (BS); según lo establecido en la siguiente ecuación:

$$FO = \max(Nash.w_1 + Nash - ln.w_2 + Pearson.w_3 + KGE.w_4 + BS.w_5)$$

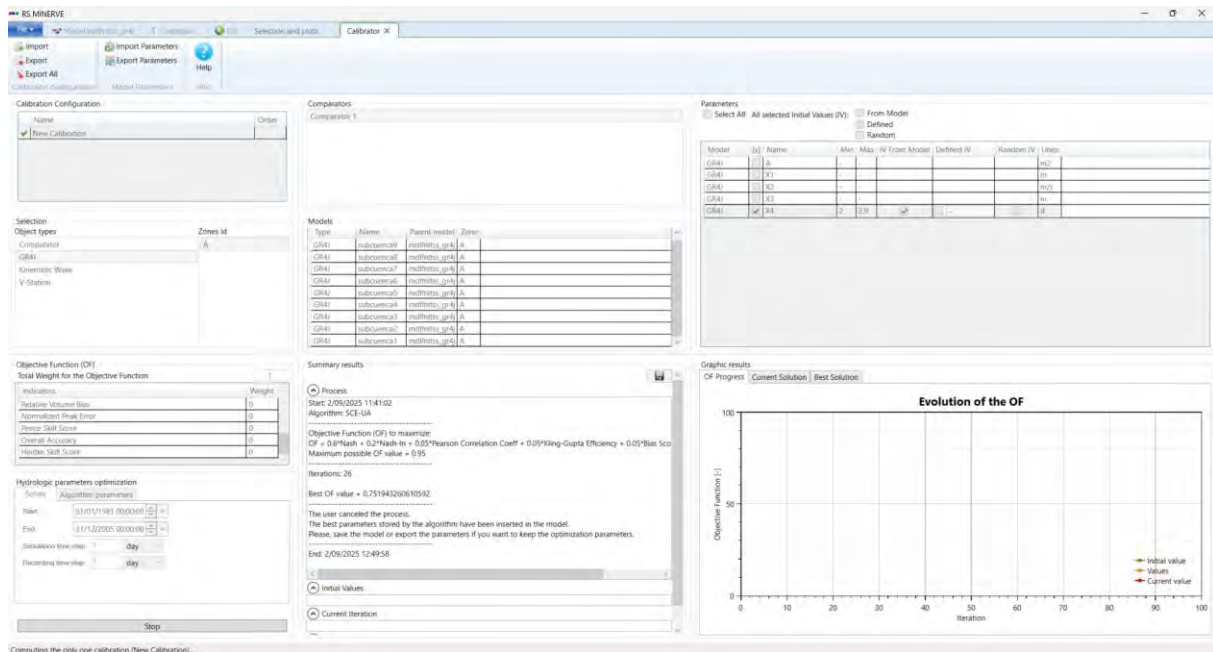
Donde la FO corresponde a la función objetivo, la cual integra y relaciona los cinco indicadores estadísticos de eficiencia considerados en el análisis.

4.9.1.1. Modelo GR4J

En el modelo Génie Rural Á 4 parámetros, se ajustaron los cuatro parámetros principales que controlan la generación de escorrentía y el comportamiento hidrológico global.

Figura 46.

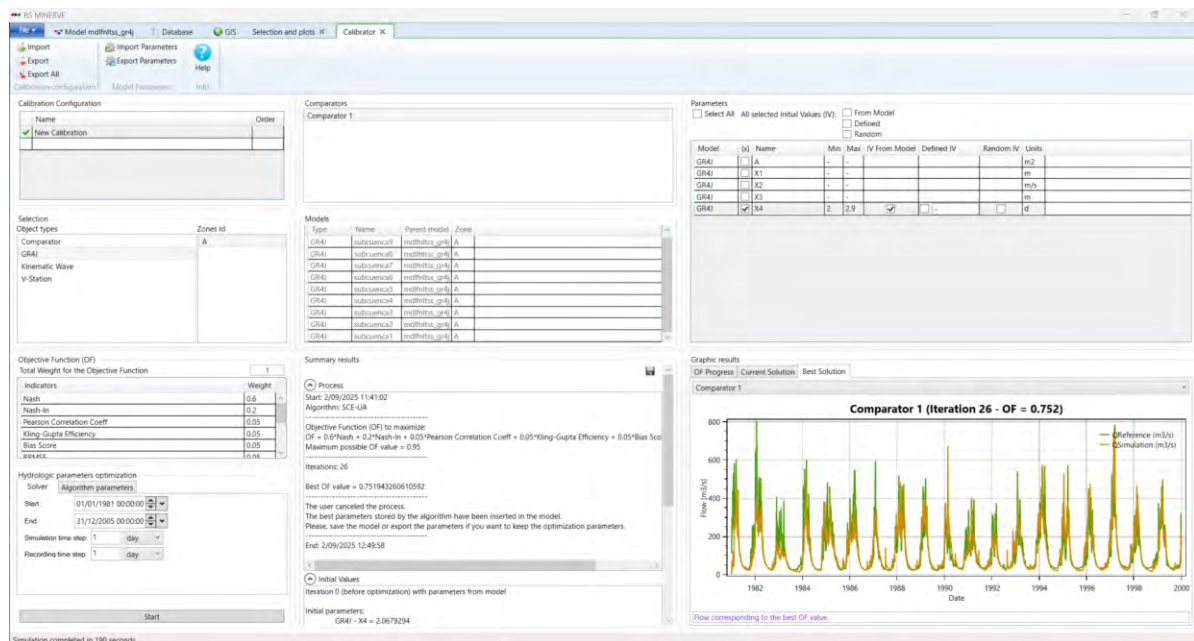
Inicio de simulaciones de la calibración



Fuente: Elaboración propia

Figura 47.

Finalización de las simulaciones de la calibración



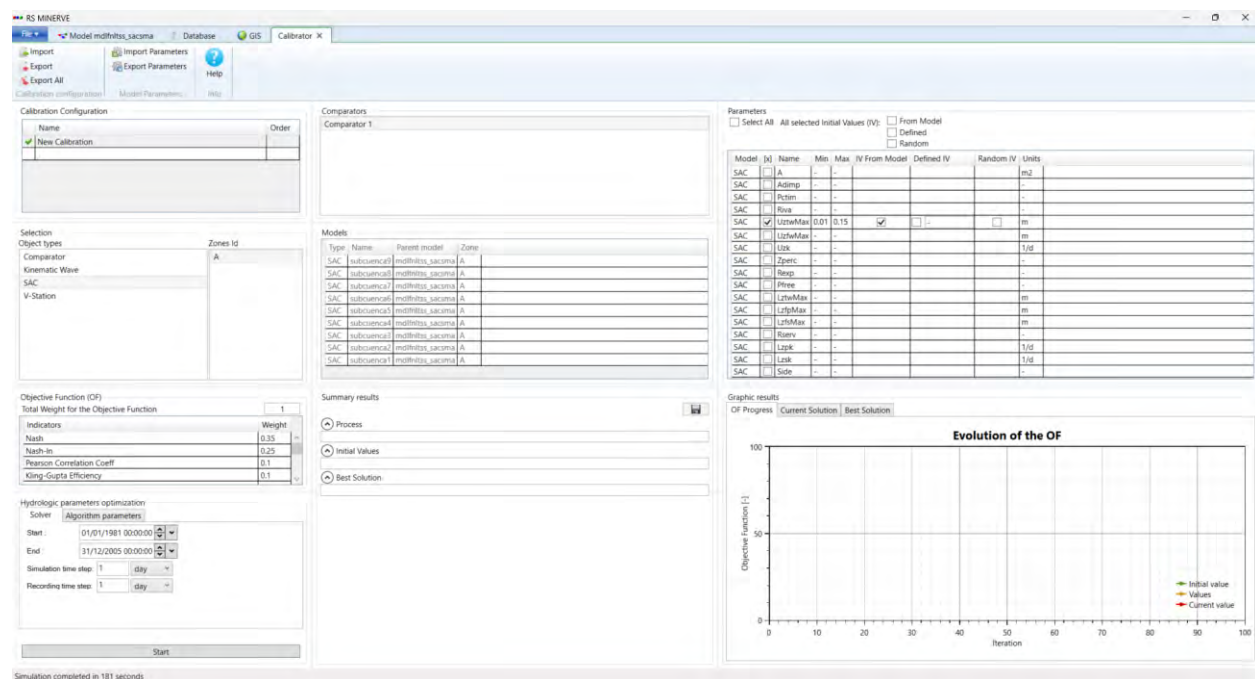
Fuente: Elaboración propia

4.9.1.2. Modelo SAC-SMA

En el modelo Sacramento (SAC-SMA), se ajustaron los dieciséis parámetros que controlan los procesos de almacenamiento de humedad del suelo, percolación y generación de flujo base y superficial.

Figura 48.

Inicio de simulaciones de la calibración



Fuente: Elaboración propia

Figura 49.

Finalización de las simulaciones de la calibración



Una vez calibrados los modelos, se realizó la validación con los datos del período 2006-2016, utilizando los mismos parámetros calibrados para evaluar la capacidad de los modelos de reproducir los caudales fuera del período de calibración.

4.10. Análisis de sensibilidad

124

4.11. Simulación de caudales complementaria (2017–2024)

Para la simulación complementaria se emplean series de precipitación y temperatura obtenidas de productos globales (NASA POWER). Para el periodo exploratorio 2017–2024 se utilizaron exactamente los mismos parámetros calibrados (sin recalibración) y se ingresaron los forzantes alternativos (precipitación y temperatura) únicamente para producir simulaciones comparativas. Se evalúa de forma comparativa y limitada si las simulaciones con forzantes no validados presentan desviaciones cuantitativas relevantes respecto a las métricas de referencia (1981–2016). No se emprendió validación ni ajuste de parámetros sobre 2017–2024. Las comparaciones se realizan a través de indicadores hidrológicos seleccionados y los resultados se presentan en un bloque separado dentro de ***Resultados*** para preservar la integridad del análisis principal.

4.12. Metodología para determinar la correlación entre caudales simulados

Para determinar la correlación entre los caudales simulados por los modelos Sacramento y Génie Rural Á 4 parámetros, se recopilaron los caudales diarios generados por ambos modelos para la misma subcuenca y período de análisis. Los datos se organizaron en una base de datos, asegurando que cada registro temporal coincidiera en ambos modelos. Posteriormente, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la fuerza y dirección de la relación lineal entre los caudales simulados. Además, se elaboraron diagramas de dispersión que permitieron visualizar patrones y discrepancias en la simulación de caudales. Este procedimiento facilitó la evaluación de la consistencia y confiabilidad de ambos modelos, identificando el grado en que los caudales simulados por Sacramento y Génie Rural Á 4 parámetros presentan comportamiento hidrológico similar.

Capítulo V: Resultados

5.1. Parámetros de la cuenca de estudio

5.1.1. Generalidades

La cuenca analizada se ubica en el departamento de Cusco y comprende varias provincias: Anta, Calca, Cusco, Paucartambo, Quispicanchis, Acomayo, Canas, así como gran parte de Canchis y Urubamba. Sus límites geográficos son los siguientes: al norte, con La Convención y Calca; al sur, con Espinar; al este, con Paucartambo, Quispicanchi, Carabaya y Melgar; y al oeste, con Anta, Paruro, Acomayo y Canas. La altitud en la zona varía entre 2,145 y 6,323 m s. n. m., con una media de 3,946 m s. n. m. El régimen climático se caracteriza por una precipitación promedio anual de 825 mm. Todo el territorio evaluado pertenece a la cuenca Vilcanota–Urubamba, integrada en la vertiente hidrográfica del Amazonas, y se encuentra bajo la administración de las Autoridades Locales del Agua de Sicuani (ALA Sicuani) y Cusco (ALA Cusco).

Desde el punto de vista altitudinal y de comportamiento hidrológico, la cuenca puede diferenciarse en dos grandes zonas funcionales, cuyas características se resumen en la siguiente tabla:

Característica	Zona Alta (Puna y Altoandino)	Zona Baja (Valle Interandino)
Rango altitudinal aprox.	3 800 – 6 323 m s. n. m.	2 145 – 3 800 m s. n. m.
Cobertura vegetal dominante	Pajonales, bofedales y afloramientos rocosos	Cultivos, pastizales y zonas urbanas
Régimen de precipitación	Mayor precipitación media anual (> 800 mm)	Precipitación moderada (600–800 mm)
Tipo de suelo predominante	Litsoles y suelos superficiales de baja permeabilidad	Suelos más profundos con mayor capacidad de retención
Respuesta hidrológica	Mayor escorrentía directa, menor tiempo de retención	Mayor infiltración y retención, respuesta más lenta
Subcuencas representativas	V8 (Sallca), V9 (Hercca), V7 (Pitumarca)	V1 (Machu Picchu), V2 (Huariocondo), V3 (Pisac)

Esta diferenciación interna no representa una limitación para la modelación realizada. Al contrario, el enfoque semidistribuido adoptado en la investigación mediante la división de la cuenca en nueve subcuencas individuales, cada una con sus propios parámetros morfométricos, de suelo y cobertura constituye precisamente el mecanismo metodológico diseñado para gestionar dicha heterogeneidad espacial. En cada subcuenca, los modelos GR4J y SAC-SMA actúan como unidades de respuesta hidrológica independientes, cuyos parámetros calibrados integran y compensan matemáticamente la variabilidad interna de cada unidad (Mendoza, 2015). Los resultados estadísticos obtenidos, con un Nash-Sutcliffe de 0.80 en calibración y 0.78 en validación para el modelo GR4J, corroboran que el esquema semidistribuido con nueve subcuencas captura adecuadamente el comportamiento hidrológico diferenciado de ambas zonas altitudinales sin requerir análisis independientes adicionales.

5.1.2. Parámetros fisiográficos

Área (A): La cuenca de estudio posee un área total de 9533 km². Debido a que la plataforma RS Minerve es un modelo hidrológico semi distribuido, se requirió segmentar la cuenca en 9 subcuencas mediante el software QGIS.

Tabla 20.

Área de las subcuencas

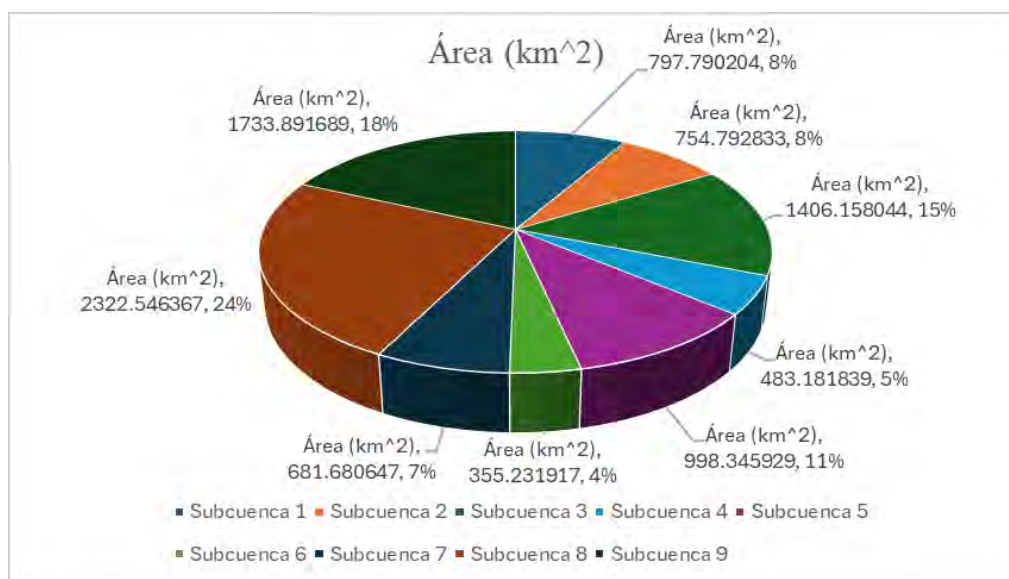
Nro. de subcuenca	Subcuencas	Área (km ²)	%
Subcuenca 1	Machu Picchu	797.79	8%
Subcuenca 2	Huarocondo	754.79	8%
Subcuenca 3	Pisac	1406.16	15%
Subcuenca 4	Huatanay	483.18	5%
Subcuenca 5	Quiquijana	998.35	10%
Subcuenca 6	Chuquicahuana	355.23	4%
Subcuenca 7	Pitumarca	681.68	7%

Nro. de subcuenca	Subcuencas	Área (km ²)	%
Subcuenca 8	Sallca	2322.55	24%
Subcuenca 9	Hercca	1733.89	18%
	Total	9533.62	100%

Fuente. Elaboración propia

Figura 50.

Diagrama del área de estudio de las 9 subcuencas

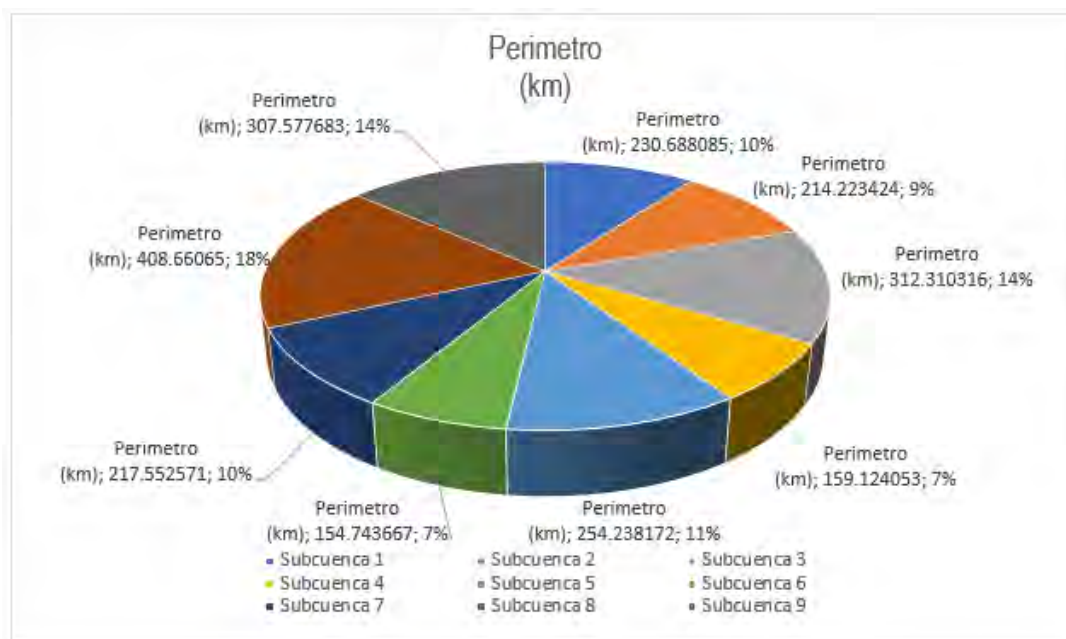


Fuente. Elaboración propia

Perímetro: El perímetro de la cuenca de estudio es de 1077.82 km

Figura 51.

Perímetro de las subcuencas



Fuente. Elaboración propia

Longitud axial de la cuenca (La): Corresponde a la máxima distancia desde el punto de desembocadura hasta el punto más lejano de la cuenca y en nuestra cuenca de estudio la longitud axial es de 227 km.

Ancho promedio (Ap): El ancho promedio de la cuenca de estudio es de 42.2 km.

Factor de forma (Ff): El factor de forma calculado es 0.19, lo que indica que la cuenca posee una morfología alargada. Esta característica implica un mayor tiempo de concentración del agua, reduciendo así la probabilidad de picos de caudal elevados durante lluvias intensas. En general, Una cuenca con un factor de forma reducido tiene menor susceptibilidad a crecidas en comparación con otra de igual superficie, pero con un factor de forma más elevado. Por el contrario, un factor de forma elevado sugiere una mayor capacidad de concentrar el escurrimiento generado por precipitaciones intensas, facilitando la formación de grandes crecidas (CIDHMA, s.f.).

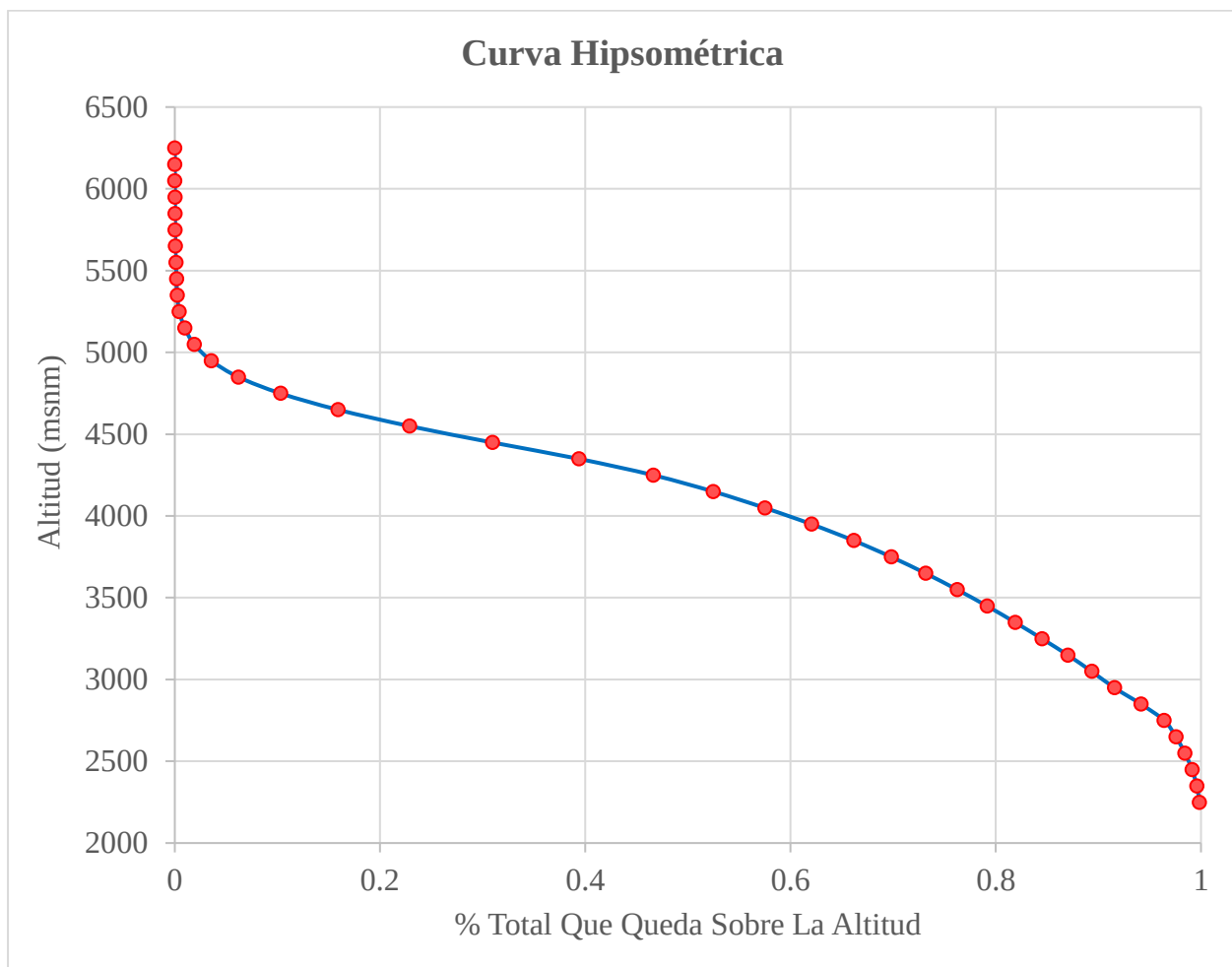
Coeficiente de compacidad o índice de Gravelious (K): El valor obtenido es de 3.10. Esto sugiere que, según la clasificación estándar del Coeficiente de Gravelius (Monsalve Sáenz, 1999), el valor $K_c = 3.10$ clasifica a la cuenca como de forma oval oblonga a rectangular alargada, lo que es consistente con su factor de forma $F_f = 0.19$

5.1.3. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Curva hipsométrica: Para el cálculo de la curva hipsométrica se dividió la cuenca en franjas de 100 metros.

Figura 52.

Curva hipsométrica

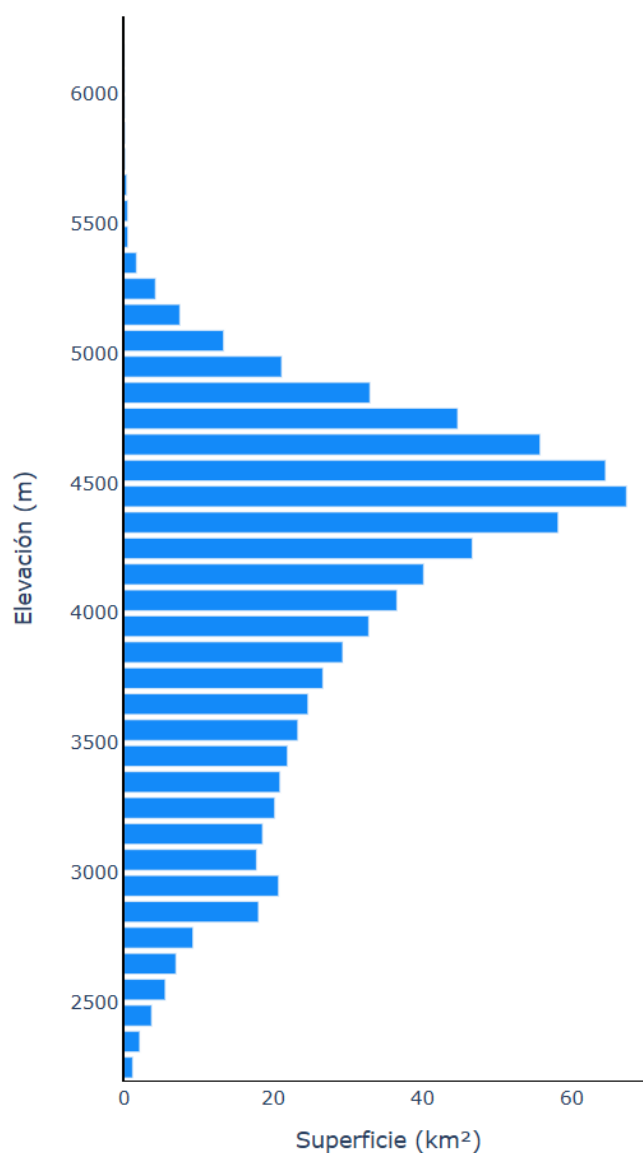


Fuente. Elaboración propia

Polígono de frecuencia de altitudes: En la figura de a continuación se observa que el intervalo que contiene la mayor superficie es el que se encuentra entre las altitudes 4000 y 4250 con 1548.69 km². Por otra parte, el intervalo entre 6000 y 6323 msnm posee la menor superficie con 0.06 km².

Figura 53.

Polígono de frecuencia de altitudes



Fuente. Elaboración propia

Altitud media de la cuenca (Hm): La altitud media es de 3946.46 msnm

Rectángulo Equivalente: Se tiene el lado mayor de 522.8 km y un lado menor de 18.3 km.

5.1.4. Parámetros de red de drenaje

Grado de ramificación: De acuerdo con la clasificación de Strahler, la cuenca en análisis presenta un grado de ramificación de 7.

Densidad de drenaje (Dd): El valor obtenido es de 0, lo que indica que la cuenca dispone de un drenaje eficiente. Esto significa que las distancias de escurrimiento superficial son cortas y que el agua tarda poco tiempo en llegar a los cauces principales.

Densidad de corrientes (Dc): La densidad de corrientes registrada en la cuenca es de 0.6.

Extensión media de escurrimiento (Es): Se determinó una extensión promedio de 0.3 km. En términos prácticos, la precipitación debe recorrer aproximadamente 300 metros en línea recta para alcanzar un curso de agua.

Resumen de parámetros de la cuenca de estudio: En la siguiente tabla se presentan los principales parámetros morfométricos determinados para la cuenca analizada.

Tabla 21.

Resumen de parámetros de la cuenca

Parámetro	Valor	Unidad	Interpretación
Área de la cuenca (A)	9,533.62	km ²	Cuenca extensa, alto potencial de esorrentía.
Perímetro (P)	1,077.82	km	Perímetro muy amplio; denota forma irregular y alargada.
Ancho promedio (Ap)	42.2	km	Ancho reducido, refleja su acusada elongación.

Parámetro	Valor	Unidad	Interpretación
Longitud axial (La)	227	km	Máxima extensión en sentido del cauce; cuenca muy alargada.
Factor de forma (Ff)	0.19	—	Cuenca muy alargada (lejos de 1), tiempo de concentración prolongado, crecidas amortiguadas.
Coef. de Gravelius (Kc)	3.1	—	Índice de compacidad muy alto (3.1), forma extremadamente irregular y elongada.
Altitud media (Hm)	3,946.46	msnm	Gran altitud media (~4,000 msnm), régimen frío con potencial influencia de nieve.
Altitud mínima	2,145	msnm	Cota de salida o nivel base local de la cuenca.
Altitud máxima	6,323	msnm	Punto más alto de la divisoria; refleja un relieve montañoso marcado.
Orden de ramificación (Strahler)	7	—	Red de drenaje de orden 7, altamente jerarquizada y compleja.
Densidad de corrientes (Dc)	0.6	—	Drenaje poco eficiente (baja densidad), escorrentía y respuesta hidrológica lentas.

Fuente. Elaboración propia

5.2. Datos de entrada climáticas

5.2.1. Estaciones meteorológicas

5.2.1.1. Precipitación

El producto PISCO del SENAMHI, por su elevada resolución espacial y su extensa serie temporal (1981–2016), hizo posible obtener una representación continua y detallada de la precipitación en la cuenca de estudio a partir de la interpolación de los registros provenientes de estaciones meteorológicas. Este insumo resultó clave para optimizar las etapas de calibración y validación del modelo GR4J y SAC-SMA. Para el análisis se consideraron datos procedentes de 9 estaciones virtuales meteorológicas

Tabla 22.*Ubicación de las 9 estaciones virtuales generadas en el producto PISCO*

Estaciones	Variable	Longitud (X)	Latitud (Y)	Altitud (msnm)
V1	T, P y Evap.	-72.356101	-13.236479	4034.525771
V2	T, P y Evap.	-72.182925	-13.442610	3785.746411
V3	T, P y Evap.	-71.932438	-13.358421	3911.732105
V4	T, P y Evap.	-71.860132	-13.575879	3733.580711
V5	T, P y Evap.	-71.552616	-13.783456	4053.164523
V6	T, P y Evap.	-71.541384	-14.015793	3989.741095
V7	T, P y Evap.	-71.251735	-13.918020	4694.679692
V8	T, P y Evap.	-71.046364	-14.058923	4757.010765
V9	T, P y Evap.	-71.222767	-14.355242	4227.094762

Fuente. Elaboración propia

Tabla 23.*Precipitaciones medias anuales del año 1981-2016 de las 9 estaciones*

AÑOS	EST-V1	EST-V2	EST-V3	EST-V4	EST-V5	EST-V6	EST-V7	EST-V8	EST-V9
1981	1.976	2.645	2.006	2.378	2.64	2.81	2.926	2.654	2.684
1982	1.735	2.331	1.697	2.023	2.05	2.274	2.49	2.223	2.299
1983	1.076	1.296	0.966	1.164	1.014	1.016	1.484	1.374	1.168
1984	1.054	1.684	1.587	2.139	2.398	2.65	3.019	2.957	3.403
1985	2.022	2.197	1.765	2.059	2.267	2.248	2.802	2.655	2.547
1986	1.373	1.782	1.341	1.655	1.525	1.683	2.194	2.25	2.218
1987	1.472	1.875	1.457	1.645	2.049	2.119	2.439	2.181	1.912
1988	1.455	1.992	1.504	1.873	2.076	2.336	2.542	2.216	2.143
1989	1.754	2.134	1.544	1.739	2.022	2.097	2.51	2.173	2.021
1990	1.786	2.166	1.58	1.793	2.071	2.172	2.409	2.157	2.246
1991	1.56	2.033	1.438	1.64	1.786	1.825	2.022	1.804	1.786
1992	1.55	1.787	1.313	1.541	1.483	1.514	1.761	1.565	1.462
1993	1.85	2.28	1.68	2	2.106	2.195	2.597	2.357	2.267
1994	1.779	2.376	1.71	2.095	2.026	2.145	2.593	2.463	2.332
1995	1.376	1.863	1.334	1.624	1.612	1.775	2.13	1.984	1.963
1996	1.588	2.068	1.444	1.712	2.041	2.06	2.557	2.271	2.082
1997	1.675	2.017	1.614	1.977	2.049	2.241	2.692	2.495	2.567
1998	1.161	1.338	1.083	1.361	1.572	1.631	2.04	1.876	1.861
1999	1.915	2.643	1.564	1.712	2.005	2.127	2.51	2.221	2.128
2000	1.72	2.14	1.538	1.831	1.966	2.078	2.357	2.084	2.063
2001	1.792	2.254	1.967	2.488	2.636	2.518	3.202	2.613	2.428

2002	2.192	2.802	1.942	2.223	2.573	2.588	3.183	2.797	2.697
2003	1.719	2.097	1.63	1.977	2.023	1.956	2.475	2.239	2.072
2004	1.767	1.979	1.507	1.808	2.149	2.25	2.673	2.307	2.132
2005	1.283	1.543	1.192	1.639	1.64	1.714	2.048	1.936	1.959
2006	1.677	2.161	1.692	2.214	2.304	2.388	2.822	2.464	2.379
2007	1.532	1.823	1.447	1.783	1.948	2.135	2.431	2.1	2.046
2008	1.463	1.845	1.533	1.748	1.94	1.933	2.479	2.177	2.009
2009	1.617	2.13	1.525	1.591	1.848	1.983	2.319	2.124	1.985
2010	1.764	2.428	1.714	2.171	2.011	1.985	2.397	2.198	2.079
2011	2.162	2.546	1.88	2.173	2.317	2.16	2.718	2.497	2.339
2012	1.751	2.124	1.526	1.783	2.094	2.265	2.731	2.639	2.446
2013	1.849	2.233	1.885	2.225	2.365	2.244	3.045	2.695	2.262
2014	1.529	1.776	1.392	1.776	1.887	1.814	2.59	2.426	1.971
2015	1.653	1.83	1.532	1.927	2.168	2.186	2.872	2.624	2.193
2016	1.559	1.792	1.224	1.404	1.531	1.691	2.328	2.248	2.049

Fuente. Elaboración propia

Figura 54.

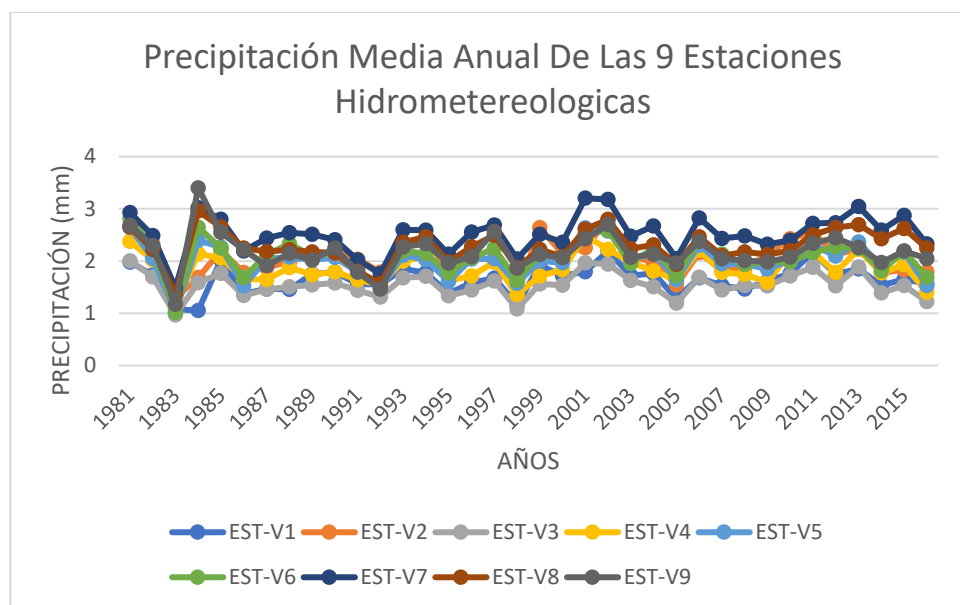
Histograma de precipitación media anual de las 9 estaciones del año 1981-2016



Fuente. Elaboración propia

Figura 55.

Diagrama de precipitación media anual las 9 estaciones de los años de 1981-2016



Fuente. Elaboración propia

5.2.1.2. Temperatura

Los datos de temperatura fueron recopilados de las 9 estaciones previamente mencionadas, las cuales se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 24.

Temperatura media anual de los años de 1981-2016 de las 9 estaciones

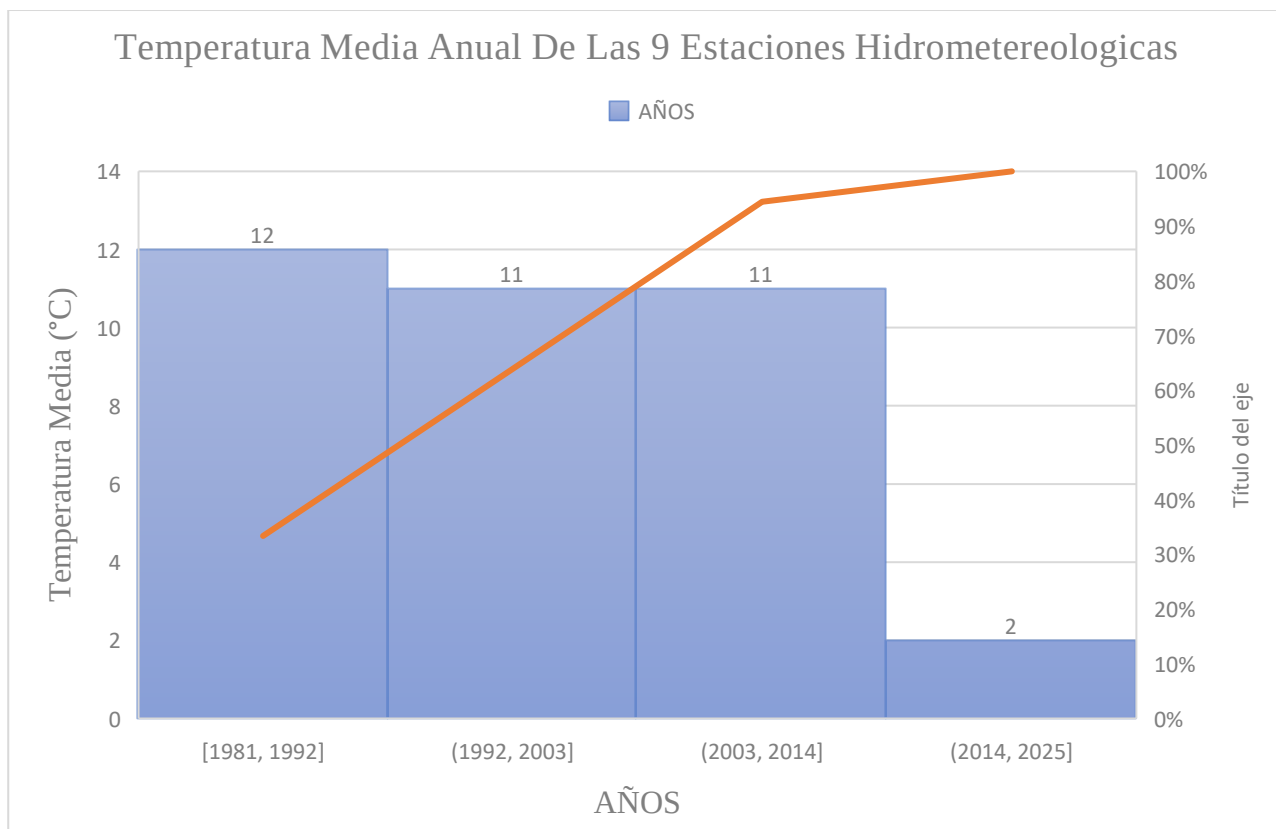
AÑOS	EST V-1	EST V-2	EST V-3	EST V-4	EST V-5	EST V-6	EST V-7	EST V-8	EST V-9
1981	11.059	12.092	12.004	12.545	10.956	9.985	6.666	6.591	8.589
1982	11.113	12.193	12.058	12.648	10.994	10.077	6.537	6.487	8.64
1983	11.657	12.89	12.704	13.348	11.667	10.758	7.1	7.069	9.292
1984	10.877	12.034	11.885	12.449	10.847	9.898	6.543	6.498	8.551
1985	10.879	11.96	11.815	12.338	10.742	9.786	6.489	6.437	8.476
1986	10.871	12.042	11.889	12.499	10.812	9.858	6.397	6.355	8.444
1987	11.582	12.685	12.542	13.111	11.466	10.525	7.101	7.042	9.095
1988	11.487	12.553	12.448	12.967	11.383	10.417	7.154	7.085	9.053
1989	10.843	12.057	11.889	12.469	10.835	9.9	6.484	6.439	8.526
1990	11.24	12.281	12.154	12.681	11.066	10.082	6.767	6.696	8.703
1991	11.237	12.252	12.137	12.649	11.033	10.062	6.704	6.632	8.646
1992	11.07	12.113	11.983	12.52	10.869	9.889	6.444	6.389	8.468
1993	11.025	12.141	12.011	12.592	11	10.07	6.611	6.601	8.737

1994	11.255	12.327	12.206	12.77	11.144	10.209	6.813	6.769	8.842
1995	11.611	12.615	12.5	12.942	11.35	10.37	7.07	6.964	9.012
1996	11.372	12.445	12.329	12.796	11.259	10.314	7.134	7.025	8.972
1997	11.222	12.346	12.24	12.829	11.208	10.26	6.741	6.707	8.844
1998	12.106	13.229	13.096	13.62	12.07	11.149	7.843	7.751	9.747
1999	11.131	12.18	12.071	12.58	11.031	10.088	6.843	6.789	8.775
2000	11.127	12.351	12.195	12.754	11.153	10.225	6.838	6.808	8.855
2001	11.322	12.374	12.24	12.763	11.187	10.26	6.928	6.914	8.968
2002	11.635	12.608	12.493	12.977	11.422	10.465	7.219	7.214	9.232
2003	11.629	12.622	12.516	13.016	11.438	10.511	7.175	7.145	9.173
2004	11.465	12.412	12.318	12.828	11.253	10.314	7.038	7.025	9.05
2005	11.758	12.79	12.684	13.182	11.596	10.654	7.331	7.254	9.249
2006	11.645	12.581	12.5	12.967	11.425	10.473	7.177	7.128	9.151
2007	11.732	12.737	12.621	13.078	11.568	10.624	7.454	7.407	9.358
2008	11.281	12.458	12.294	12.846	11.249	10.332	6.895	6.838	8.905
2009	11.753	12.779	12.673	13.194	11.614	10.681	7.381	7.317	9.31
2010	12.148	13.268	13.118	13.616	12.056	11.142	7.864	7.793	9.78
2011	11.546	12.767	12.599	13.138	11.551	10.624	7.245	7.204	9.281
2012	11.571	12.671	12.528	13.066	11.453	10.525	7.091	7.054	9.165
2013	11.867	12.932	12.785	13.261	11.694	10.763	7.51	7.432	9.446
2014	12.085	13.103	12.997	13.455	11.932	10.995	7.753	7.674	9.66
2015	12.107	13.055	12.957	13.427	11.859	10.914	7.557	7.507	9.56
2016	12.248	13.235	13.1	13.606	12.015	11.098	7.708	7.65	9.711

Fuente. Elaboración propia

Figura 56.

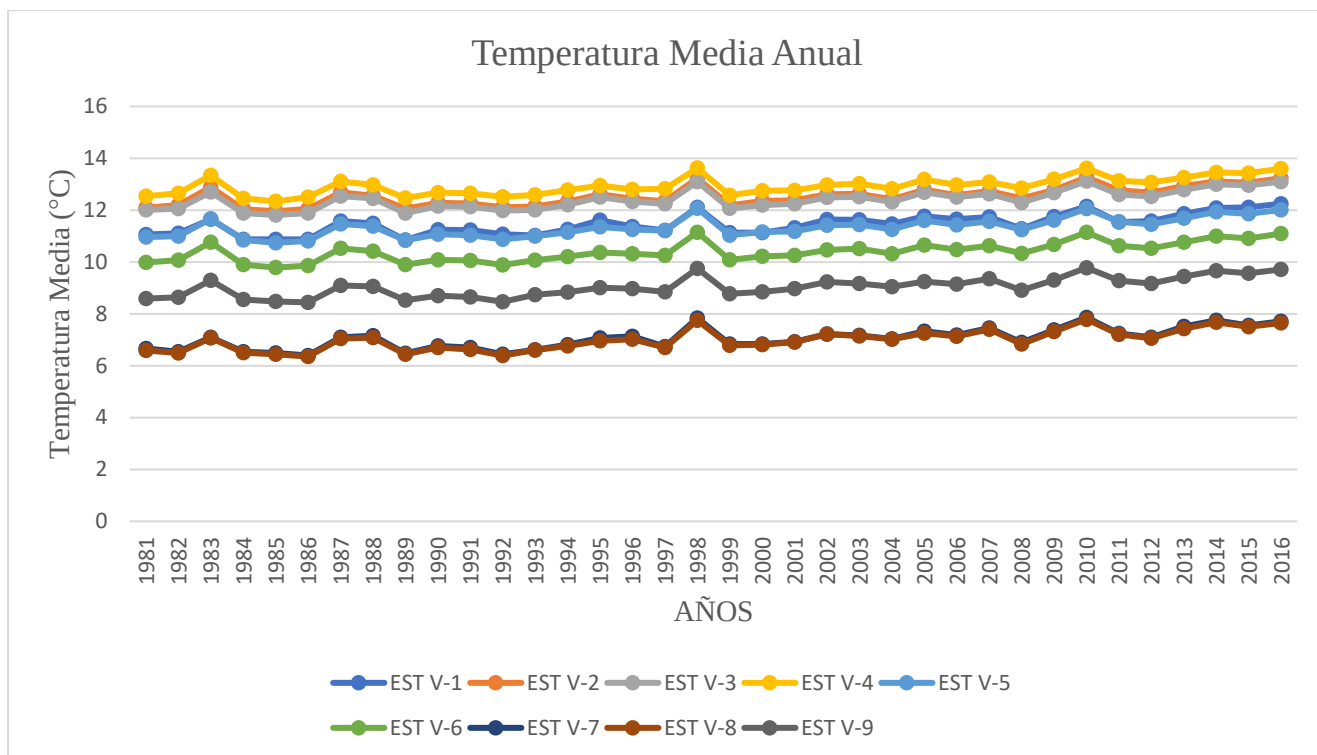
Histograma de temperatura media anual de las 9 estaciones del año 1981-2016



Fuente. Elaboración propia

Figura 57.

Diagrama de temperatura media anual las 9 estaciones de los años de 1981-2016



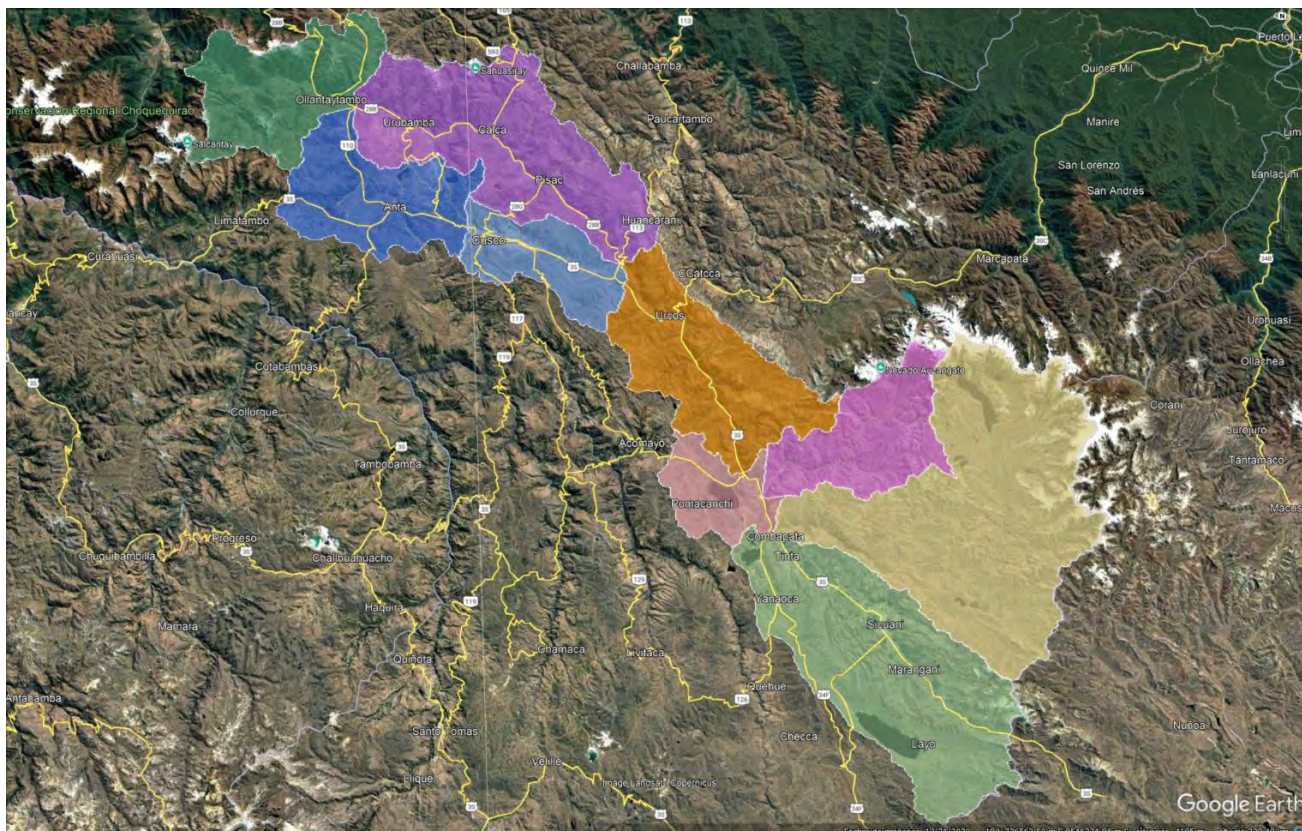
Fuente. Elaboración propia

5.3. Modelo esquemático

La Figura de a continuación muestra el modelo esquemático de la cuenca de estudio generado en QGIS donde se representa su delimitación y subdivisión en 9 subcuencas.

Figura 58.

Modelo esquemático de la cuenca de estudio



Fuente. Elaboración propia

5.4. Simulación del comportamiento hidrológico de las cuencas

Se realizó el proceso de calibración y validación del modelo utilizando diversos parámetros basados en el análisis del tipo, uso y cobertura de suelos, trabajados tanto en gabinete como en campo; también se llevó a cabo siguiendo las directrices del manual de RS Minerve.

5.4.1. Modelo GR4J

Los resultados de los parámetros estadísticos (Nash, Nash-In, Pearson, KGE y BS) obtenidos en la simulación sin calibración de la cuenca del río Vilcanota mediante el modelo GR4J muestran un desempeño inicial aceptable en términos de correlación (Pearson=0.80) y caudal medio (Bias=0.77), pero con eficiencias globales insatisfactorias (Nash=0.41, KGE=0.20) y una

reproducción deficiente de caudales bajos ($\text{Nash-In} = -1.90$). Estos resultados confirman la necesidad del proceso de calibración para mejorar sustancialmente el ajuste del modelo.

Figura 59.

Parámetros iniciales del modelo GR4J para la calibración

Parameters

Name	Value	Unit
A	799768124.999997	m2
X1	0.05	m
X2	0	m/s
X3	0.05	m
X4	1.7	d

Parameter info (X4)

Description: UH time base
 Default value: 1.7 d
 Regular range: [1.1 , 2.9] d

Initial conditions

Name	Value	Unit
Sini	0	m
Rini	0	m

Fuente. Elaboración propia

Tabla 25.

Parámetros estadísticos (indicadores) del modelo GR4J, sin calibración

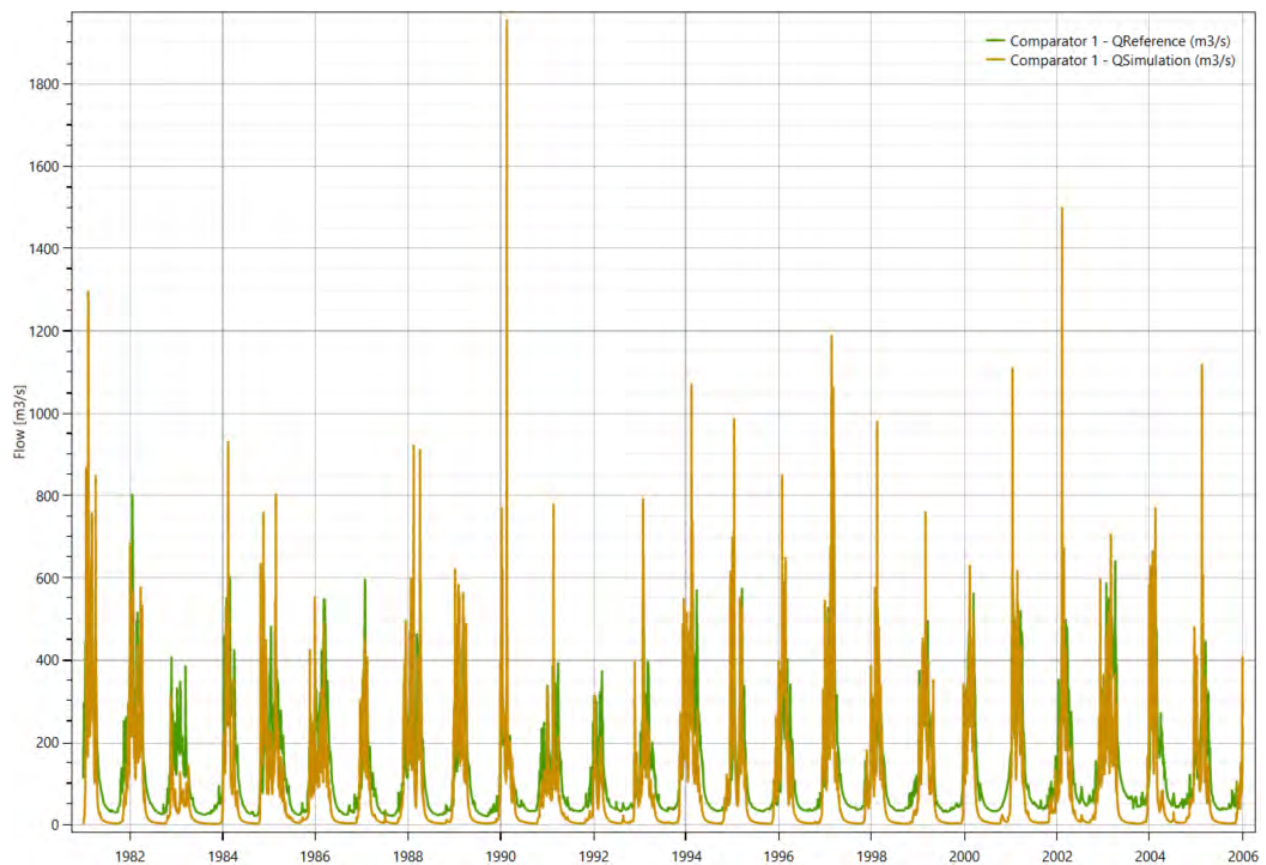
Parámetros estadísticos	Simulación (01/01/1981 – 31/12/2016)
Nash	0.41
Nash-In	-1.90
Pearson Correlation Coeff	0.80
Kling-Gupta Efficiency	0.20
Bias Score	0.77

Fuente. Elaboración propia

El modelo GR4J utiliza un total de cuatro parámetros; en esta simulación se identificó que los parámetros por defecto del modelo GR4J se acercan a los valores ideales. Esto indica un correcto modelamiento y caracterización de la cuenca; así como, su importación a la plataforma de RS Minerve. A continuación, se presentan los caudales simulados (sin proceso de calibración) junto con los caudales observados correspondientes al periodo 1981–2005.

Figura 60.

Caudales observados vs. Caudales simulados sin calibración



Fuente. Elaboración propia

Se realizaron diversas pruebas de calibración de los parámetros del modelo GR4J. Se alcanzó un Nash–Sutcliffe de 0.80 en calibración y 0.78 en validación, clasificando el desempeño global como muy bueno (Moriassi et al., 2007); el Nash-In alcanzó 0.87, reflejando un buen ajuste en caudales bajos. Los coeficientes de correlación de Pearson registraron valores de 0.90 y 0.89 para calibración y validación, respectivamente; el KGE presentó valores de 0.86 y 0.89, y el Bias Score alcanzó 0.99 y 1.00, evidenciando un sesgo volumétrico mínimo. Estos resultados reflejan la eficacia de una calibración concentrada en los parámetros de mayor sensibilidad del modelo (X3 y X1), para optimizar la representatividad hidrológica en cuencas con características similares a la estudiada. A continuación, en una tabla se presenta el resumen de las medidas de bondad de ajuste del modelo hidrológico aplicado a esta cuenca.

Tabla 26.

Parámetros estadísticos del modelo GR4J, calibrado

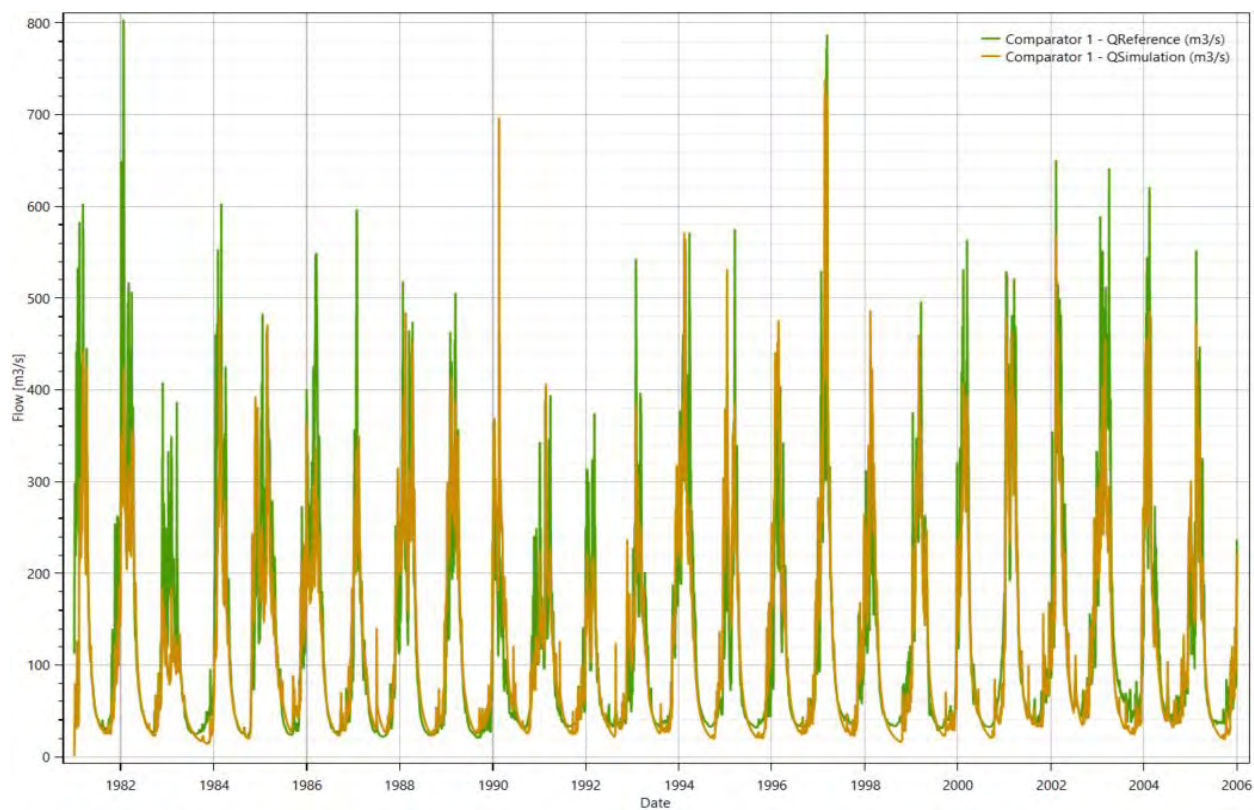
Parámetros estadísticos	Calibración (01/01/1981 – 31/12/2005)	Validación (01/01/2006 – 31/12/2016)
Nash	0.80	0.78
Nash-In	0.87	0.81
Pearson Correlation Coeff	0.90	0.89
Kling-Gupta Efficiency	0.86	0.89
Bias Score	0.99	1.00

Fuente. Elaboración propia

En la figura de a continuación, se comparan los caudales observados y simulados, evidenciándose que el modelo GR4J generó valores muy cercanos para todo el periodo evaluado, lo que confirma su funcionalidad para la cuenca del río Vilcanota.

Figura 61.

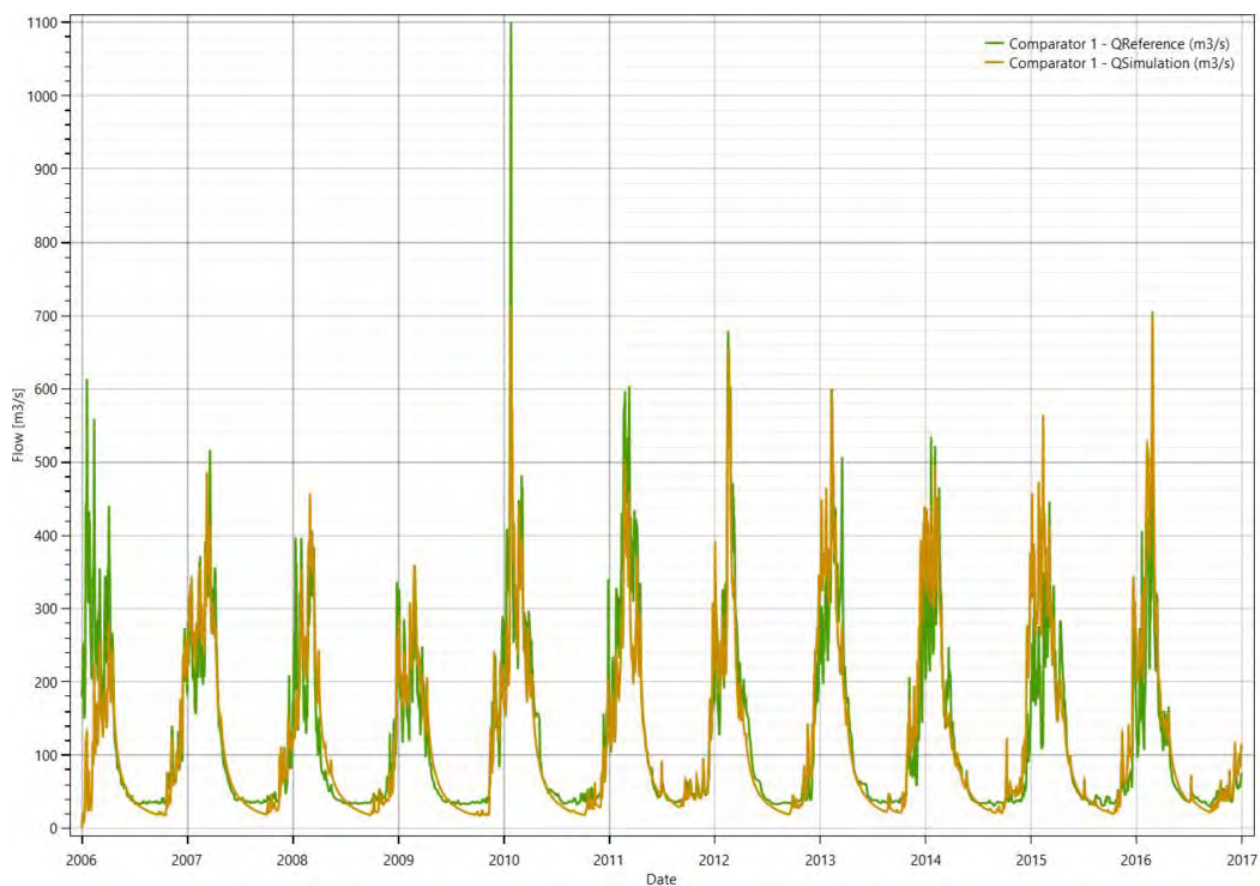
Caudales observados vs. Caudales simulados calibrados



Fuente. Elaboración propia

Figura 62.

Caudales observados vs. Caudales simulados validados



Fuente. Elaboración propia

Tabla 27.

Parámetros calibrados del modelo GR4J para la cuenca del río Vilcanota

Parámetros Calibrados	Unidad	Subcuencas
X1	m	0.0010003
X2	m/s	0
X3	m	0.4755246
X4	d	2.0679294

Fuente. Elaboración propia

5.4.1.1. Sensibilidad del modelo GR4J

En nuestro análisis, el orden de sensibilidad de los 4 parámetros resultó ser: **X3 > X1 > X2 > X4**. A continuación, se describe cada parámetro, su función hidrológica y cómo sus variaciones afectan principalmente los coeficientes de eficiencia:

X3 (Capacidad máxima diaria del depósito de enrutamiento): Esta capacidad define la cantidad de agua que puede almacenarse y luego liberarse al cauce en un día. El análisis de sensibilidad reveló que X3 es el parámetro más influyente. Al variar X3 se observaron cambios drásticos en los indicadores Nash y Nash-ln, evidenciando su papel crítico en los eventos de avenida y estiaje. La variación de X3 también afectó notablemente componentes del KGE (sesgo y correlación) y el coeficiente de Pearson, pues un X3 mayor permitió aumentar la correlación con los caudales observados y reducir el sesgo medio. Esto tiene sentido físico, ya que X3 regula cuánta agua fluye desde el depósito de ordenación cada día.

X1 (Capacidad del depósito de producción): Este parámetro controla cuánta lluvia efectiva se almacena en el suelo y cuánta se convierte en escorrentía inmediata. En el análisis, X1 resultó ser también muy sensible (ocupando el segundo lugar). Al aumentar X1 se incrementó la magnitud general de los caudales simulados, mejorando el coeficiente de correlación (Pearson) y reduciendo el sesgo medio (Bias) en el modelo. Estos cambios evidenciaron que X1 influye tanto en la tendencia central como en la magnitud de la serie de caudales (componentes del KGE). En resumen, la variación de X1 afectó significativamente indicadores como NSE y KGE, confirmando que este depósito de producción es clave en el comportamiento hidrológico modelado.

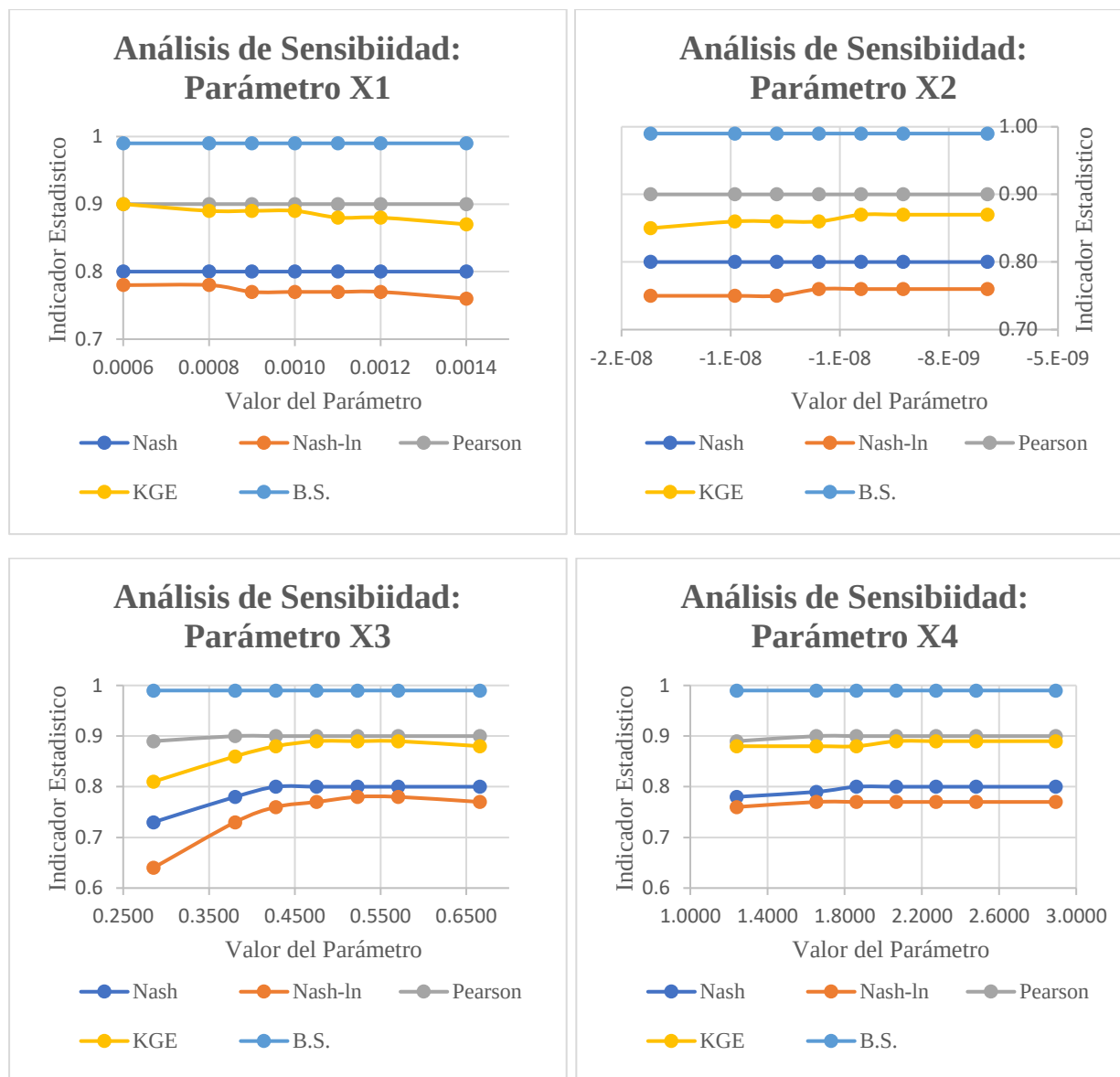
X2 (Coeficiente de intercambio base entre el depósito de enrutamiento y el acuífero): Físicamente, X2 regula la ganancia o pérdida de flujo desde el reservorio hacia el subsuelo (valores positivos indican ganancia de agua subterránea). En nuestra evaluación, X2 mostró sensibilidad

intermedia: la modificación de X2 produjo cambios moderados en los indicadores de eficiencia (especialmente en condiciones de caudal bajo, reflejadas en Nash-ln) pero menores que los ocasionados por X1 o X3. Un estudio anterior reportó alta sensibilidad de X2 junto con X3, pero aquí su impacto fue más discreto. Al variar X2 apenas se alteraron la correlación y la variabilidad relativa de los caudales (componentes del KGE), indicando que su influencia es secundaria; su ajuste afectó principalmente la estabilidad del flujo de base sin cambiar drásticamente la respuesta general del modelo.

X4 (Base de tiempo (días) del hidrograma unitario principal del depósito de ordenación): Este parámetro define el retardo con que el agua almacenada en el tanque de ordenación se descarga en el río: valores más altos alargan el hidrograma de salida. Sin embargo, X4 resultó el menos sensible de todos. Al modificar X4 apenas se modificó la eficiencia del modelo (Nash), pues la forma del hidrograma se logra principalmente con X1–X3. En la práctica, las variaciones de X4 solo provocaron efectos muy leves en el KGE y en el sesgo medio, indicando que la temporización del flujo puede ajustarse sin cambiar sustancialmente este parámetro.

Figura 63.

Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo GR4J



Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.*Variación de los parámetros del modelo GR4J*

Parámetro X1 (m)						Parámetro X2 (m)					
Valor	Nash	Nash-In	Pears.	KGE	B.S.	Valor	Nash	Nash-In	Pears.	KGE	B.S.
0.0006	0.80	0.78	0.90	0.90	0.99	-6.9E-09	0.80	0.76	0.90	0.87	0.99
0.0008	0.80	0.78	0.90	0.89	0.99	-9.3E-09	0.80	0.76	0.90	0.87	0.99
0.0009	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99	-1.0E-08	0.80	0.76	0.90	0.87	0.99
0.0010	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99	-1.2E-08	0.80	0.76	0.90	0.86	0.99
0.0011	0.80	0.77	0.90	0.88	0.99	-1.3E-08	0.80	0.75	0.90	0.86	0.99
0.0012	0.80	0.77	0.90	0.88	0.99	-1.4E-08	0.80	0.75	0.90	0.86	0.99
0.0014	0.80	0.76	0.90	0.87	0.99	-1.6E-08	0.80	0.75	0.90	0.85	0.99

Parámetro X3 (m)						Parámetro X4 (m)					
Valor	Nash	Nash-In	Pearson	KGE	B.S.	Valor	Nash	Nash-In	Pearson	KGE	B.S.
0.2853	0.73	0.64	0.89	0.81	0.99	1.2408	0.78	0.76	0.89	0.88	0.99
0.3804	0.78	0.73	0.90	0.86	0.99	1.6543	0.79	0.77	0.90	0.88	0.99
0.4280	0.8	0.76	0.90	0.88	0.99	1.8611	0.80	0.77	0.90	0.88	0.99
0.4755	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99	2.0679	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99
0.5231	0.8	0.78	0.90	0.89	0.99	2.2747	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99
0.5706	0.8	0.78	0.90	0.89	0.99	2.4815	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99
0.6657	0.8	0.77	0.90	0.88	0.99	2.8951	0.80	0.77	0.90	0.89	0.99

Fuente. Elaboración propia

5.4.2. Modelo SAC-SMA

Se alcanzó un Nash-Sutcliffe de 0.59 en calibración y 0.64 en validación, clasificando el desempeño global como satisfactorio (Moriasi et al., 2007); el Nash-In alcanzó 0.72, reflejando un buen ajuste en caudales bajos. En cuanto a los coeficientes de correlación de Pearson, estos registraron valores aceptables de 0.82 y 0.83 para calibración y validación, respectivamente. KGE presentó resultados satisfactorios con valores de 0.68 en calibración y 0.73 en validación. Asimismo, Bias Score mostró valores adecuados, de 0.86 en la etapa de calibración y 0.93 en la

de validación. El resumen de las medidas de bondad de ajuste del modelo hidrológico aplicado a la cuenca del río Vilcanota se presenta en la tabla de a continuación.

Tabla 29.

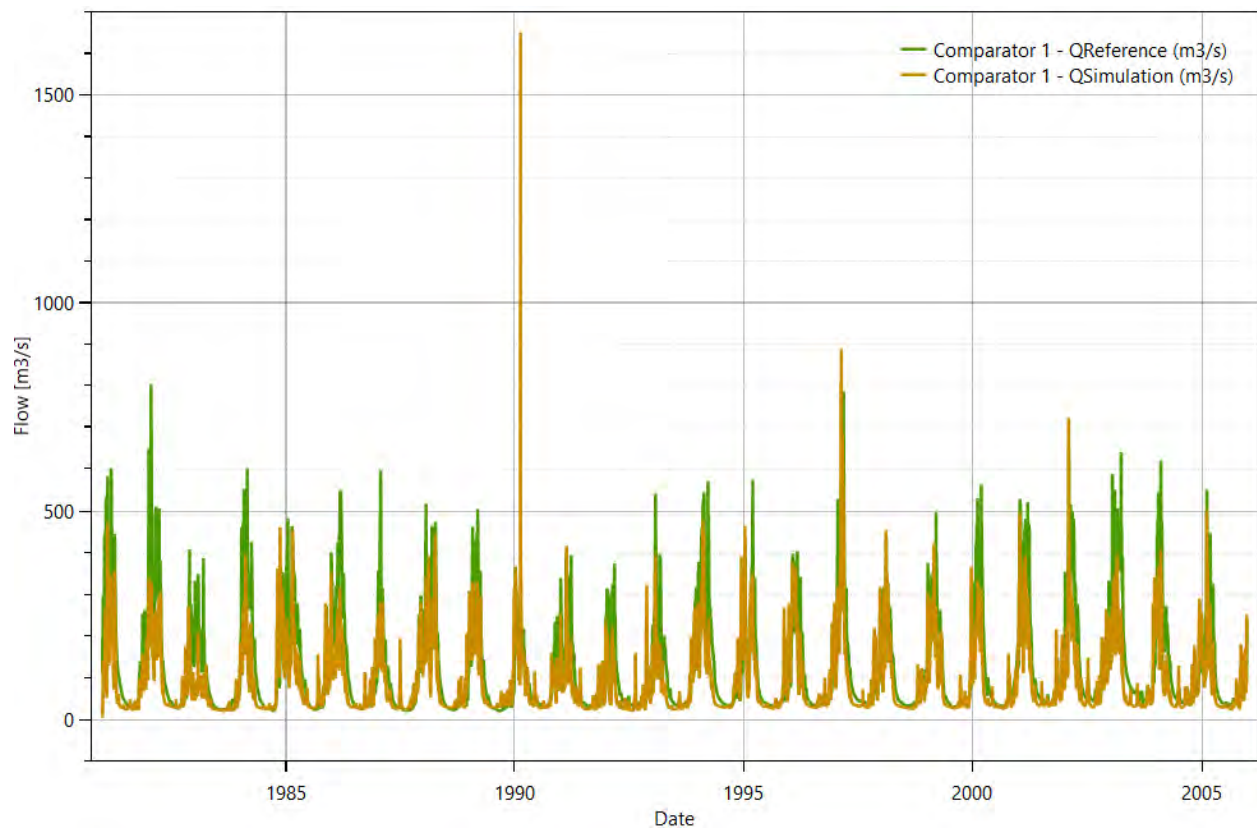
Parámetros estadísticos modelo SAC-SMA de la cuenca del río Vilcanota

Parámetros estadísticos	Calibración (01/01/1981 – 31/12/2005)	Validación (01/01/2006 – 31/12/2016)
Nash	0.59	0.64
Nash-ln	0.72	0.72
Pearson Correlation Coeff	0.82	0.83
Kling-Gupta Efficiency	0.68	0.73
Bias Score	0.86	0.93

Fuente. Elaboración propia

Figura 64.

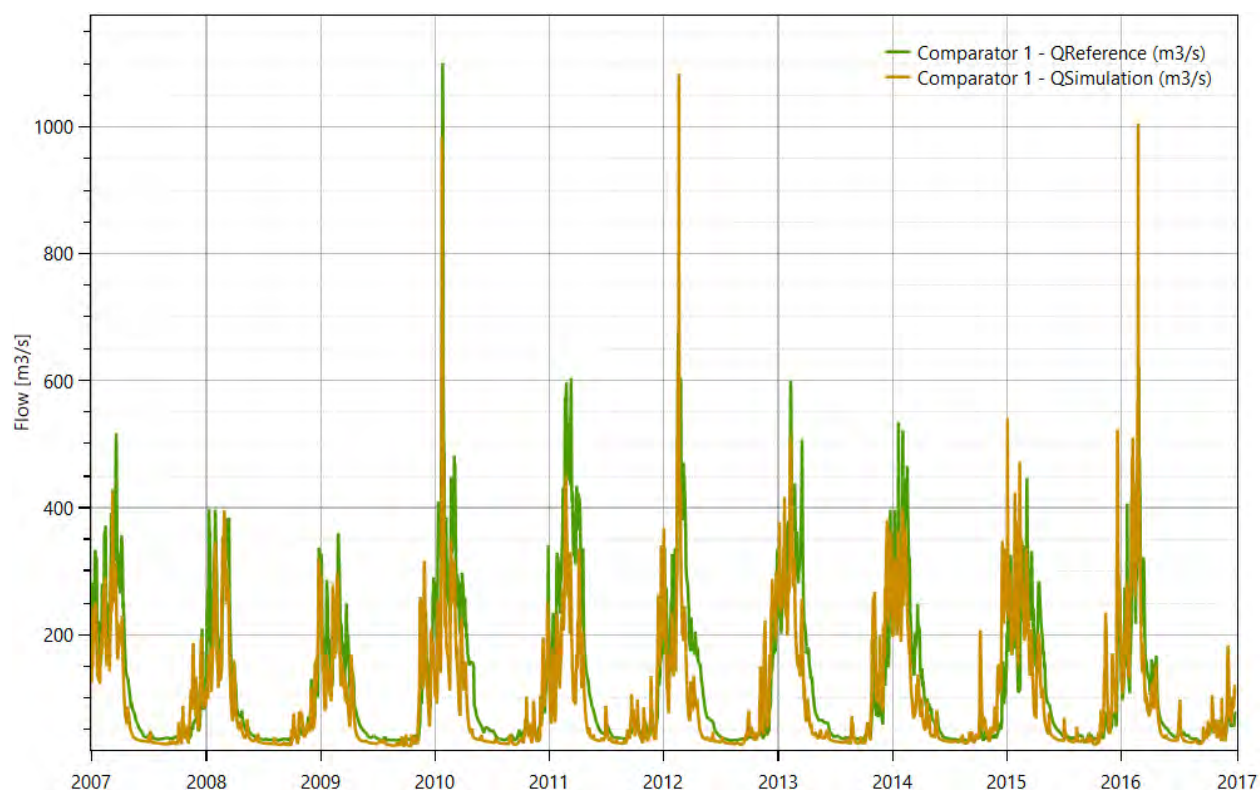
Caudales observados vs. Caudales simulados - calibrados



Fuente. Elaboración propia

Figura 65.

Caudales observados vs. Caudales simulados - validados



Fuente. Elaboración propia

Los dieciséis parámetros del modelo SAC-SMA empleados en la simulación se presentan en una tabla. Estos valores se establecieron como punto de partida para el proceso de calibración, llevado a cabo utilizando series de caudales medios diarios. Posteriormente, se realizó un análisis de sensibilidad sobre el conjunto completo de parámetros con el fin de identificar aquellos con mayor influencia en los resultados.

Tabla 30.

Parámetros calibrados del modelo SAC-SMA para la cuenca del rio Vilcanota

Parámetros calibrados	Unidad	Subcuencas
Adimp	-	0.0000515
Pctim	-	0.0499258
Riva	-	0
UztwMax	m	0.01

Parámetros calibrados	Unidad	Subcuencas
UzfwMax	m	0.0494035
Uzk	1/d	0.1059721
Zperc	-	32.5561661
Rexp	-	3.9987532
Pfree	-	0.5958756
LztwMax	m	0.0543261
LzfpMax	m	0.4860042
LzfsMax	m	0.0100961
Rserv	-	0.7571142
Lzpk	1/d	0.0015508
Lzsk	1/d	0.021366
Side	-	0.0000006

Fuente. Elaboración propia

5.4.2.1. Sensibilidad del modelo SAC-SMA

El modelo SAC-SMA define parámetros físicos que controlan el almacenamiento de agua en las zonas superior e inferior del suelo, la escorrentía directa, la percolación profunda y el flujo base. En nuestro análisis, el orden de sensibilidad de los 16 parámetros resultó ser: **PFREE > LZFPM > UZFWM > LZPK > UZK > REXP > LZTWM > UZTWM > PCTIM > ZPERC > LZSK > RIVA > LZFSM > RSERV > SIDE > ADIMP**. A continuación, se describe cada parámetro, su función hidrológica y cómo sus variaciones afectan principalmente los coeficientes de eficiencia:

- **PFREE (Fracción de percolación a agua libre inferior):** Este parámetro representa la fracción del agua que, tras la percolación profunda desde la zona superior, entra directamente a los reservorios de agua libre de la zona inferior. En la práctica, valores altos de PFREE implican que una mayor parte del agua infiltra hacia la zona libre inferior (generando flujos base más inmediatos) en lugar de retenerse primero en aguas tensionales (que alimentan ET). En nuestro estudio PFREE resultó **el más sensible**: al aumentarlo

mejoran significativamente el Nash y Nash-ln, pues el modelo refleja mejor el caudal de base y la reducción del sesgo. En general, los incrementos de PFREE mostraron una respuesta casi lineal en los indicadores: con PFREE elevados el sesgo disminuye (flujo simulado aumenta) y mejora el NSE, mientras que valores muy bajos generan baseflow insuficiente y empeoran la eficiencia.

- **ZPERC (Percolación mínima):** Coeficiente que fija la tasa de percolación mínima hacia la zona inferior. Controla la cantidad de agua que infiltra en condiciones de déficit hídrico (ausencia de lluvia intensa). En nuestra evaluación ZPERC tuvo sensibilidad **muy baja**, pues sólo la parte inferior de su rango (0–30 mm/d típicamente) influye ligeramente en el Nash; más allá de cierto umbral su efecto es despreciable.
- **REXP (Exponente de percolación):** Exponente que modela la curvatura de la función de percolación profunda. Valores mayores de REXP hacen que la percolación sea más no lineal (reteniendo más agua en capas superiores hasta alcanzar saturación crítica). Aunque REXP modifica la forma en que el déficit hídrico impulsa la percolación, en nuestro análisis fue **poco sensible** (niveles bajos de REXP mejoran ligeramente la eficiencia, pero el impacto es menor comparado con PFREE o LZPK). En general, REXP no mostró efectos significativos sobre el KGE o sesgo.
- **LZTWM (Capacidad tensión zona inferior):** Capacidad máxima de agua retenida como «tensión» en la zona inferior (reservorio de humedad profundo). Representa el agua que permanece retenida hasta surtir ET y saturarse para iniciar flujos profundos. Nuestra sensibilidad encontró que LZTWM tiene un **comportamiento dual**: para valores bajos (capacidad pequeña) el modelo es muy sensible, ya que cualquier incremento permite retener más agua y mejora el Nash (especialmente en caudales medios a bajos); sin

embargo, para LZTWM altos la curva se aplanan y su influencia sobre el Nash se vuelve mínima.

- **LZFSM (Capacidad suplementaria agua libre inferior):** Es la capacidad máxima del reservorio secundario de agua libre en la zona inferior. Funciona como almacenamiento extra que aporta al flujo de base secundario. En nuestra prueba, LZFSM mostró **baja sensibilidad**: sólo los valores iniciales del parámetro (cuando el reservorio es muy pequeño) generan alguna respuesta en Nash. Para valores mayores, el efecto se volvió despreciable. Esto indica que la fracción secundaria de agua libre rara vez limita la simulación.
- **LZFPM (Capacidad primaria agua libre inferior):** Capacidad del reservorio principal de agua libre en la zona inferior. Almacena el agua que alimentará los flujos de base principales. Nuestro análisis lo encontró como el **2.º parámetro más sensible**. Con valores bajos de LZFPM (poco almacenamiento) el modelo subestima el flujo de base y disminuye drásticamente el Nash; con valores mayores, el Nash mejora notablemente hasta cierto punto de saturación. Además de la mejora en NSE, aumentos de LZFPM también tienden a mejorar el KGE y reducir el sesgo positivo del modelo (al retener más agua profunda para liberarla gradualmente), evidenciando su rol clave en la simulación de caudales intermedios y bajos.
- **LZSK (Coeficiente de recesión suplementaria):** Coeficiente de descarga del agua libre suplementaria de la zona inferior. Regula la velocidad con que el agua de LZFSM alimenta el flujo de base. En la práctica, LZSK tuvo **sensibilidad moderada-baja**: la mayoría de los rangos probados apenas cambiaron el Nash. Esto sugiere que la salida de la fracción suplementaria es menos determinante.

- **LZPK (Coeficiente de recesión primaria):** Coeficiente de descarga del agua libre primaria de la zona inferior. Controla la velocidad con que LZPK genera flujo de base. En nuestro análisis fue el **4.º más sensible**. Variaciones en LZPK tienen un fuerte efecto sobre el Nash y Nash-ln: al aumentar LZPK (descarga más rápida), el modelo tiende a generar demasiado flujo de base temprano y puede reducir la eficiencia en etapas de baja demanda. Se observó que valores de LZPK por encima de ~ 0.005 causan descenso notable de Nash (lo que coincide con un incremento del error de simulación en flujos bajos). La influencia de LZPK se manifiesta mayormente en los indicadores de sesgo (por su efecto en el volumen total de baseflow), así como en KGE (que penaliza malos patrones en flujos de caudal base).
- **RSERV (Fracción de agua no transferible):** Porcentaje del agua libre inferior que no se transfiere de vuelta al reservorio de tensión. Representa agua permanente en el reservorio libre (no disponible para evapotranspiración). En la práctica mostró **muy baja sensibilidad** (puesto 14). Su variación apenas cambió los indicadores, reflejando que fijar una fracción adicional de almacenamiento tiene poco efecto en Nash.
- **SIDE (Porción de baseflow perdida):** Fracción del agua de recarga profunda que se pierde en capas profundas y no alimenta el flujo al río. En nuestro estudio SIDE resultó de muy baja sensibilidad. Es un parámetro difícil de calibrar con precisión porque directamente reduce el volumen de baseflow.
- **UZWWM (Capacidad tensión zona superior):** Capacidad de almacenamiento de agua de tensión en la zona superior. Es el agua retenida en la capa del suelo que primero satisface la evapotranspiración y después, al saturarse, genera excedentes. En nuestro análisis UZWWM quedó **en posición intermedia** (#8). Su variación mostró que, para valores bajos,

el Nash mejora al aumentarlo (más capacidad de retención reduce la escorrentía superficial excesiva), pero a partir de cierto nivel su influencia cae. Esto refleja un efecto dual similar a LZTWM: rangos bajos son sensibles; rangos altos saturan el modelo y la eficiencia no cambia. A pesar de ello, comparado con parámetros de baseflow, UZTWM mostró menor impacto en KGE y Bias en nuestro caso.

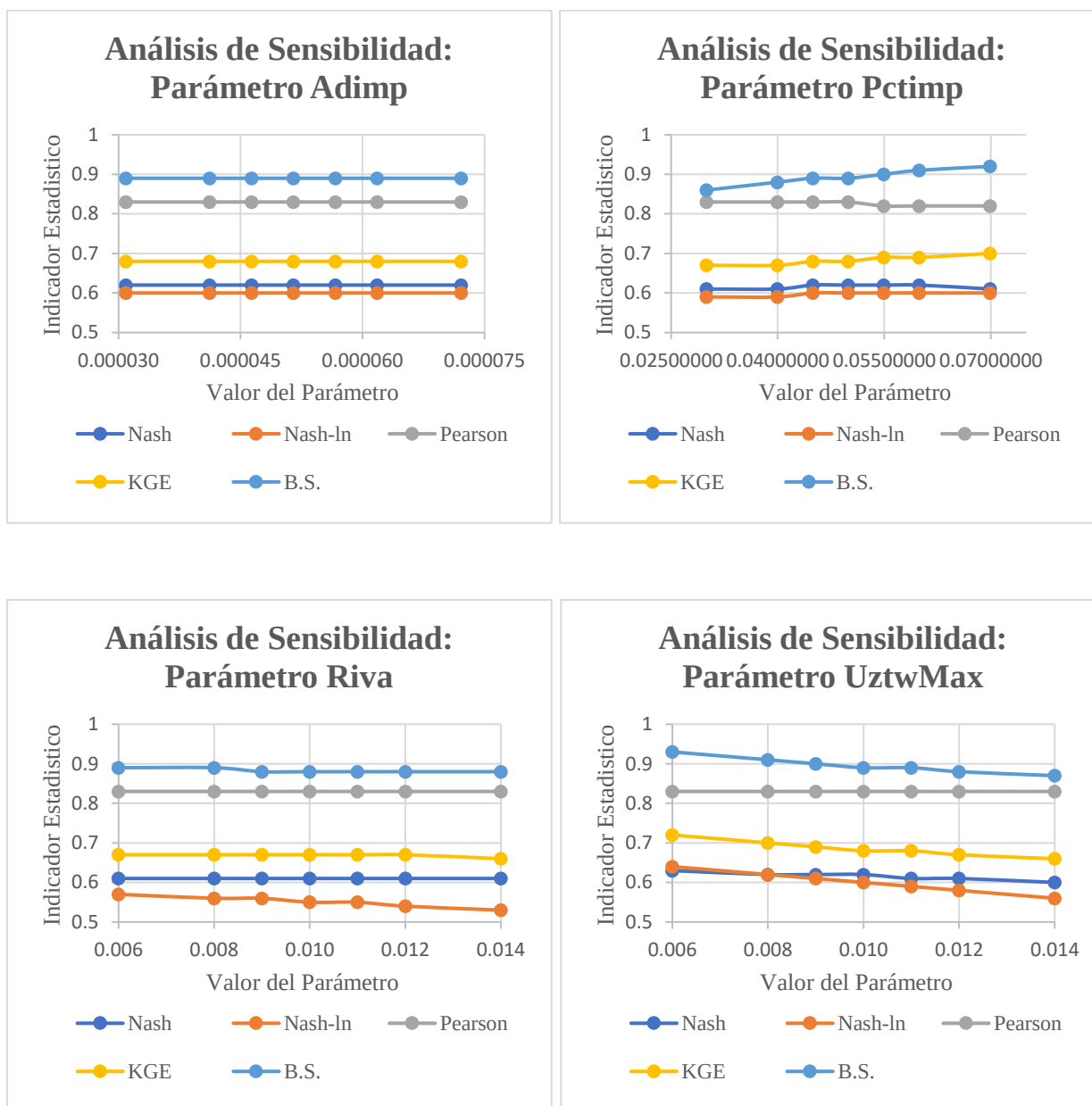
- **UZFWM (Capacidad agua libre zona superior):** Capacidad de agua libre en la capa superior. Controla el volumen de lluvia que puede almacenarse superficialmente antes de generar escorrentía. Clasificamos UZFWM como **muy sensible** (puesto 3). En la práctica, al aumentar UZFWM el modelo retiene más lluvia antes de exceder el umbral, lo que mejora el Nash (especialmente reduciendo picos de sobreestimación). Rangos típicos para UZFWM son de ~25–53 mm. Además de mejorar el NSE, aumentos de UZFWM tienden a aumentar levemente el KGE (al captar mejor la variabilidad de los flujos rápidos) y a reducir el sesgo positivo.
- **UZK (Coeficiente de recesión zona superior):** Coeficiente de descarga del agua libre en la zona superior. Describe la velocidad con que el agua de UZFWM genera escorrentía intermedia (interflujo). Nuestro análisis lo situó como **5.º parámetro** de mayor sensibilidad. Un UZK alto favorece flujos rápidos de interflujo, mientras uno bajo retiene más agua. Se observó que al elevar UZK el NSE mejoró moderadamente, indicando flujos más realistas (esto también mejora el KGE al mejorar correlación temporal). En consecuencia, la calibración de UZK es clave: valores muy bajos provocan subestimación de caudales rápidos, y valores muy altos sobreestimación de flujos de salida rápida.
- **PCTIM (Área impermeable permanente):** Fracción de la cuenca que es permanentemente impermeable (por ej. zonas urbanas). Este parámetro genera escorrentía

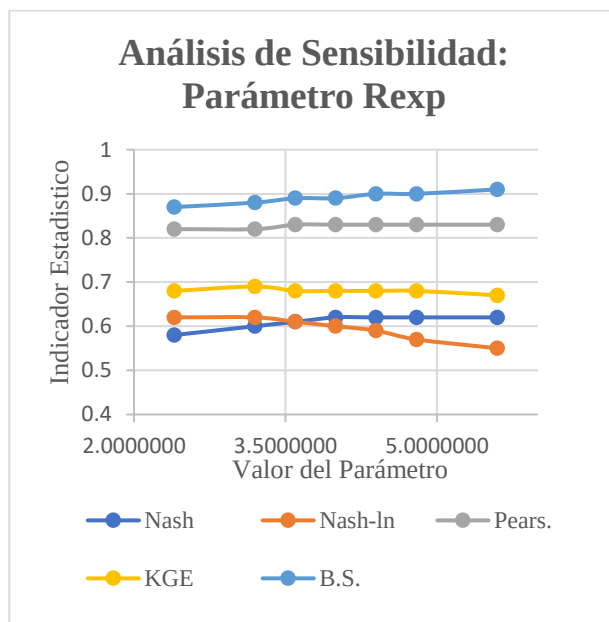
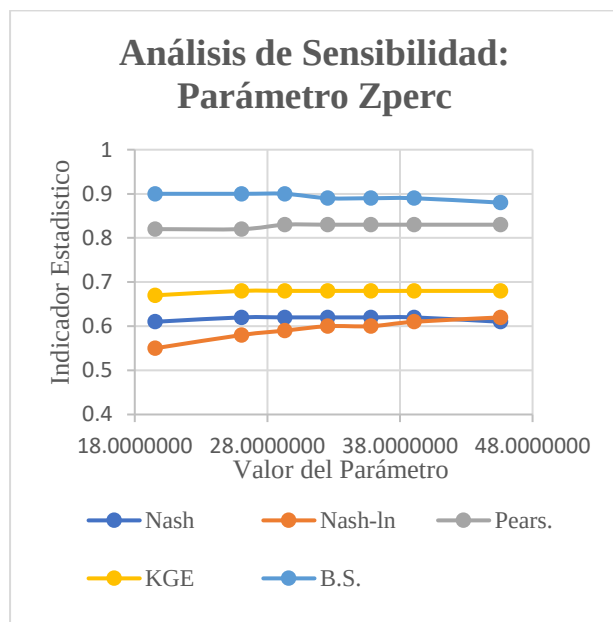
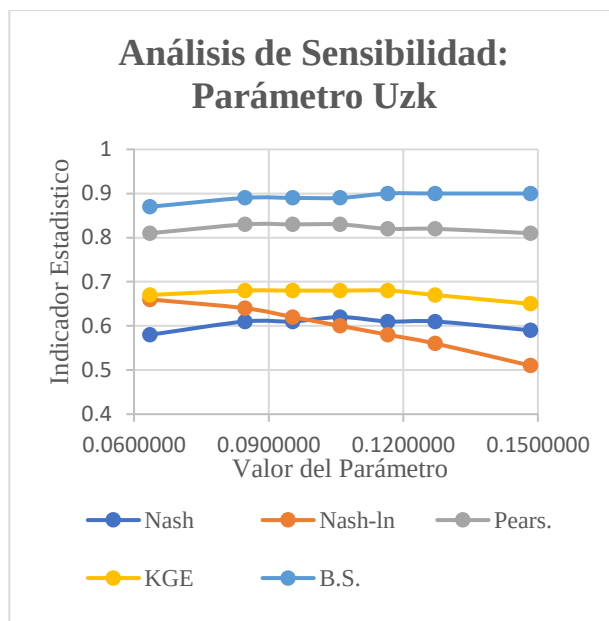
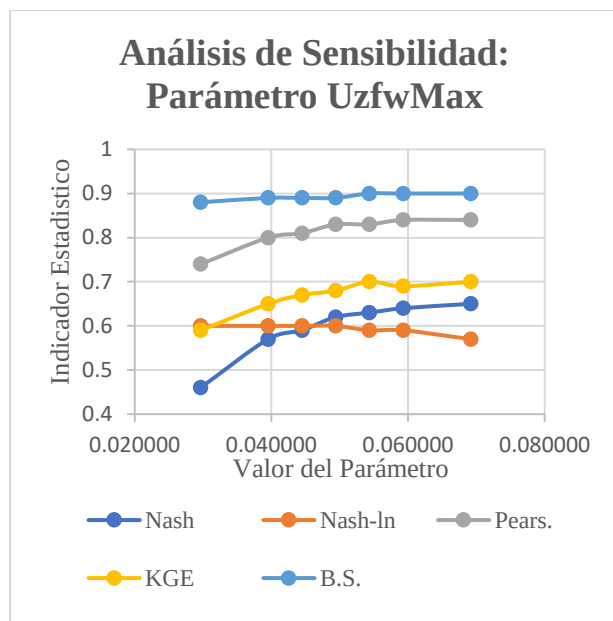
directa proporcionalmente sin necesidad de saturación. En nuestro estudio PCTIM ocupó **el puesto 9**. La variación de PCTIM mostró que incrementos (más área impermeable) elevan la escorrentía superficial, lo que suele aumentar el Nash en picos pero al mismo tiempo incrementa el sesgo positivo (pues el modelo puede sobrestimar caudales totales). En general, un PCTIM mayor tiende a mejorar la eficiencia para eventos de crecida pero puede empeorar el Nash-In por sesgo de volumen. Este comportamiento concuerda con que PCTIM es crucial para flujos altos, aunque en nuestro caso su efecto neto fue moderado comparado con parámetros de zona inferior.

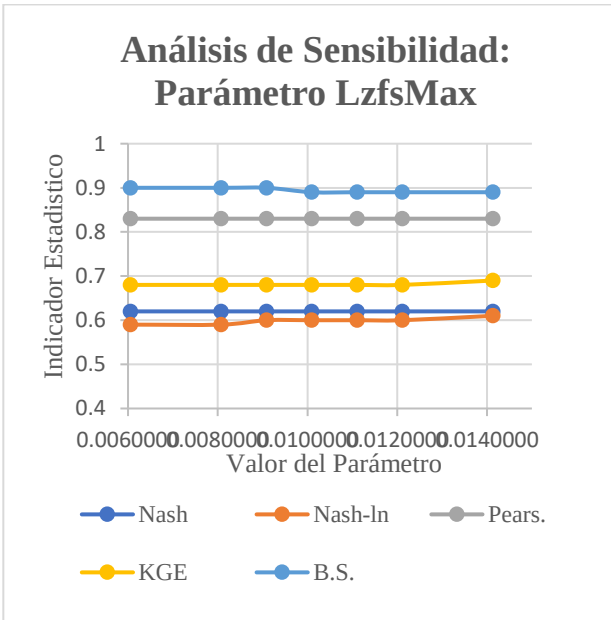
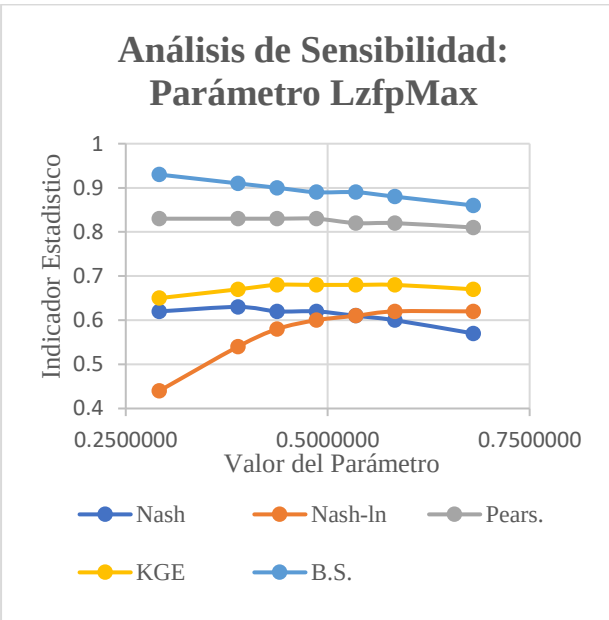
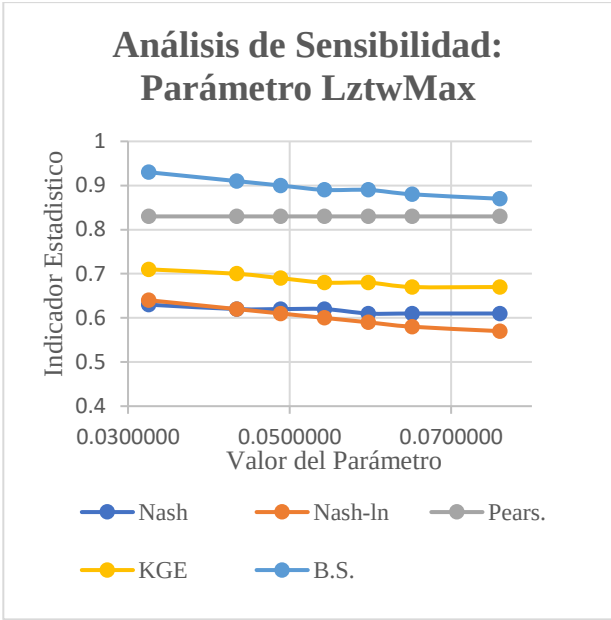
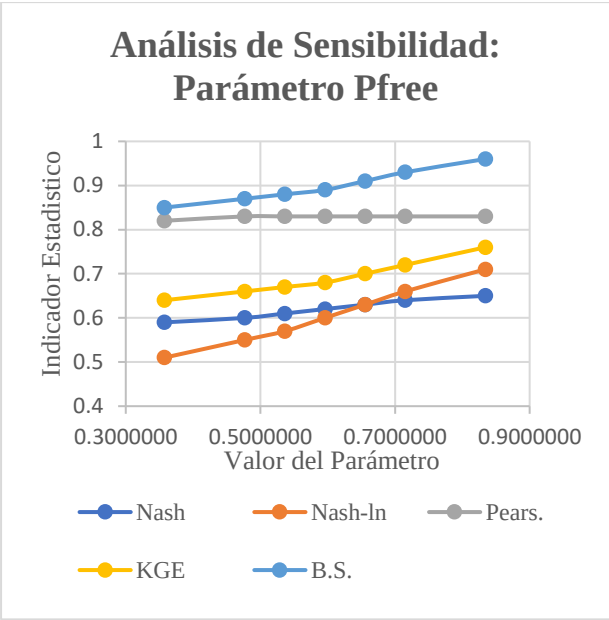
- **ADIMP (Área impermeable adicional):** Fracción adicional de impermeabilidad inducida por saturación del suelo. Se activa cuando UZTWM se llena y simula áreas temporales impermeables. Contrariamente a PCTIM, ADIMP quedó **como el menos sensible** (puesto 16). En nuestra prueba, variaciones de ADIMP casi no afectaron los indicadores; esto sugiere que el efecto de las áreas saturadas adicionales es mínimo en la cuenca estudiada.
- **RIVA (Fracción de área ribereña):** Porcentaje del área de la cuenca asociada a zonas ribereñas con mayor evapotranspiración. Modela la cobertura vegetal aluvial que consume agua adicional. En el análisis obtuvo **sensibilidad baja** (puesto 12). Sin embargo, observamos un umbral crítico: cuando RIVA supera ~ 0.07 (7 %), el Nash-In comienza a disminuir significativamente. Esto indica que excesivos valores de RIVA (exceso de área ribereña) hacen que el modelo evapore más agua de la real, disminuyendo caudales de base y empeorando el NSE en estiaje. Para RIVA menores, la influencia en NSE es limitada. En general, RIVA afectó levemente al KGE (por cambios en la variabilidad de bajos caudales) pero su efecto en el sesgo fue menor.

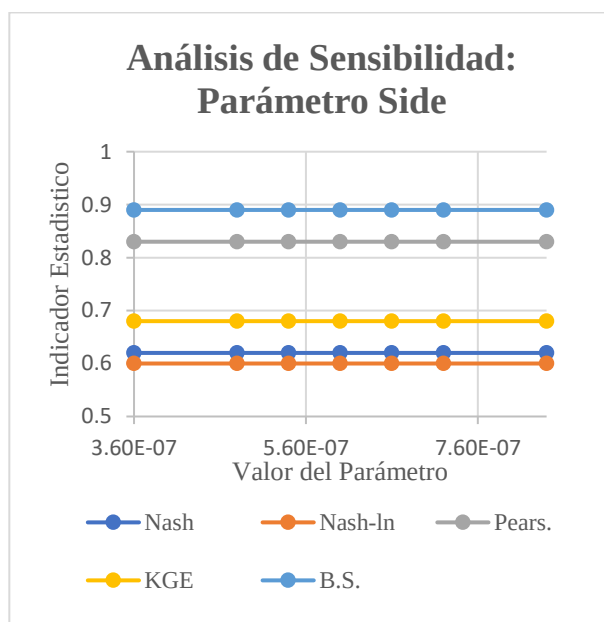
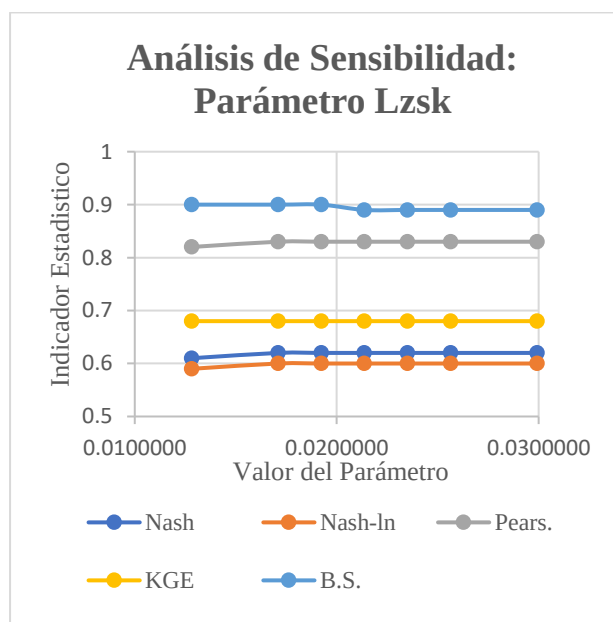
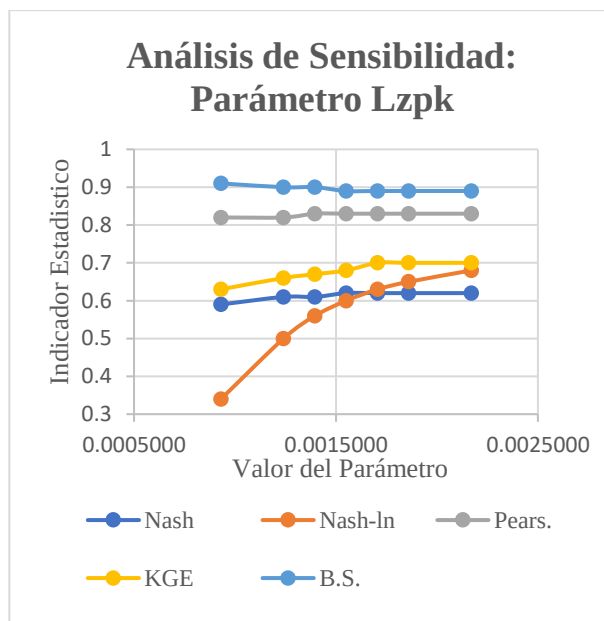
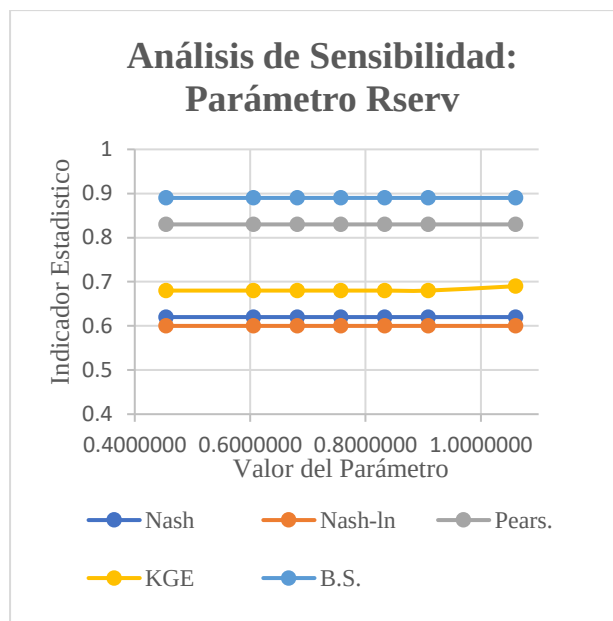
Figura 66.

Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SAC-SMA









Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.*Variación de los parámetros del modelo SAC-SMA*

Parámetro Adimp (m)						Parámetro Pctimp (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.	Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
0.000031	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0299555	0.61	0.59	0.83	0.67	0.86
0.000041	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0399406	0.61	0.59	0.83	0.67	0.88
0.000046	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0449332	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.000052	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0499258	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.000057	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0549184	0.62	0.60	0.82	0.69	0.90
0.000062	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0599110	0.62	0.60	0.82	0.69	0.91
0.000072	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.0698961	0.61	0.60	0.82	0.70	0.92

Parámetro Riva (m)						Parámetro UztwMax (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pearson	KGE	B.S.	Valor	Nash	Nash- ln	Pearson	KGE	B.S.
0.006	0.61	0.57	0.83	0.67	0.89	0.006	0.63	0.64	0.83	0.72	0.93
0.008	0.61	0.56	0.83	0.67	0.89	0.008	0.62	0.62	0.83	0.70	0.91
0.009	0.61	0.56	0.83	0.67	0.88	0.009	0.62	0.61	0.83	0.69	0.90
0.010	0.61	0.55	0.83	0.67	0.88	0.010	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.011	0.61	0.55	0.83	0.67	0.88	0.011	0.61	0.59	0.83	0.68	0.89
0.012	0.61	0.54	0.83	0.67	0.88	0.012	0.61	0.58	0.83	0.67	0.88
0.014	0.61	0.53	0.83	0.66	0.88	0.014	0.60	0.56	0.83	0.66	0.87

Parámetro UzfwMax (m)						Parámetro Uzk (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.	Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
0.029642	0.46	0.60	0.74	0.59	0.88	0.0635833	0.58	0.66	0.81	0.67	0.87
0.039523	0.57	0.60	0.80	0.65	0.89	0.0847777	0.61	0.64	0.83	0.68	0.89
0.044463	0.59	0.60	0.81	0.67	0.89	0.0953749	0.61	0.62	0.83	0.68	0.89
0.049404	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89	0.1059721	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.054344	0.63	0.59	0.83	0.70	0.90	0.1165693	0.61	0.58	0.82	0.68	0.90
0.059284	0.64	0.59	0.84	0.69	0.90	0.1271665	0.61	0.56	0.82	0.67	0.90
0.069165	0.65	0.57	0.84	0.70	0.90	0.1483609	0.59	0.51	0.81	0.65	0.90

Parámetro Zperc (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
19.5337	0.61	0.55	0.82	0.67	0.90
26.0449	0.62	0.58	0.82	0.68	0.90
29.3006	0.62	0.59	0.83	0.68	0.90
32.5562	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
35.8118	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
39.0674	0.62	0.61	0.83	0.68	0.89
45.5786	0.61	0.62	0.83	0.68	0.88

Parámetro Rexp (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
2.39925	0.58	0.62	0.82	0.68	0.87
3.19900	0.60	0.62	0.82	0.69	0.88
3.59888	0.61	0.61	0.83	0.68	0.89
3.99875	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
4.39864	0.62	0.59	0.83	0.68	0.90
4.79850	0.62	0.57	0.83	0.68	0.90
5.59826	0.62	0.55	0.83	0.67	0.91

Parámetro Pfree (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
0.35753	0.59	0.51	0.82	0.64	0.85
0.47670	0.60	0.55	0.83	0.66	0.87
0.53629	0.61	0.57	0.83	0.67	0.88
0.59588	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.65546	0.63	0.63	0.83	0.70	0.91
0.71505	0.64	0.66	0.83	0.72	0.93
0.83423	0.65	0.71	0.83	0.76	0.96

Parámetro LztwMax (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
0.03260	0.63	0.64	0.83	0.71	0.93
0.04346	0.62	0.62	0.83	0.70	0.91
0.04889	0.62	0.61	0.83	0.69	0.90
0.05433	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.05976	0.61	0.59	0.83	0.68	0.89
0.06519	0.61	0.58	0.83	0.67	0.88
0.07606	0.61	0.57	0.83	0.67	0.87

Parámetro LzfpMax (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
0.29160	0.62	0.44	0.83	0.65	0.93
0.38880	0.63	0.54	0.83	0.67	0.91
0.43740	0.62	0.58	0.83	0.68	0.90
0.48600	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.53461	0.61	0.61	0.82	0.68	0.89
0.58321	0.60	0.62	0.82	0.68	0.88
0.68041	0.57	0.62	0.81	0.67	0.86

Parámetro LzfsMax (m)					
Valor	Nash	Nash- ln	Pears.	KGE	B.S.
0.00606	0.62	0.59	0.83	0.68	0.90
0.00808	0.62	0.59	0.83	0.68	0.90
0.00909	0.62	0.60	0.83	0.68	0.90
0.01010	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.01111	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.01212	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.01414	0.62	0.61	0.83	0.69	0.89

Parámetro Rserv (m)					
Valor	Nash	Nash-In	Pears.	KGE	B.S.
0.45427	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.60569	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.68140	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.75711	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.83283	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.90854	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
1.05996	0.62	0.60	0.83	0.69	0.89

Parámetro Lzpk (m)					
Valor	Nash	Nash-In	Pears.	KGE	B.S.
0.00093	0.59	0.34	0.82	0.63	0.91
0.00124	0.61	0.50	0.82	0.66	0.90
0.00140	0.61	0.56	0.83	0.67	0.90
0.00155	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.00171	0.62	0.63	0.83	0.70	0.89
0.00186	0.62	0.65	0.83	0.70	0.89
0.00217	0.62	0.68	0.83	0.70	0.89

Parámetro Lzsk (m)					
Valor	Nash	Nash-In	Pears.	KGE	B.S.
0.01282	0.61	0.59	0.82	0.68	0.90
0.01709	0.62	0.60	0.83	0.68	0.90
0.01923	0.62	0.60	0.83	0.68	0.90
0.02137	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.02350	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.02564	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
0.02991	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89

Parámetro Side (m)					
Valor	Nash	Nash-In	Pears.	KGE	B.S.
3.60E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
4.80E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
5.40E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
6.00E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
6.60E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
7.20E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89
8.40E-07	0.62	0.60	0.83	0.68	0.89

Fuente: Elaboración propia

5.5. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales observados y simulados

5.5.1. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales observados

Se realizó un análisis de los caudales máximos y mínimos desde el año 1981 hasta el año 2016, estos datos fueron tomados en la estación hidrométrica del Km 105.

Los promedios anuales de los caudales registrados en la estación hidrométrica del Km 105 son los siguientes:

Tabla 32.*Promedio anual de caudales máximos y mínimos observados*

AÑOS	CAUDALES MAXIMOS	CAUDALES MINIMOS
1981	603.000	27.250
1982	803.500	24.500
1983	386.750	23.000
1984	603.000	20.000
1985	483.000	22.000
1986	549.250	23.500
1987	596.750	21.000
1988	518.000	22.500
1989	505.500	19.500
1990	366.750	31.630
1991	401.750	31.850
1992	374.250	30.850
1993	542.750	31.190
1994	571.250	32.070
1995	575.000	31.280
1996	403.750	30.980
1997	787.500	35.050
1998	435.500	32.000
1999	496.330	28.000
2000	563.630	31.990
2001	529.250	35.250
2002	650.250	42.500
2003	641.500	37.000
2004	621.000	35.250
2005	551.750	32.000
2006	613.000	32.420
2007	516.500	32.200
2008	396.790	32.310
2009	358.920	32.310
2010	1100.000	31.320
2011	603.660	33.950
2012	678.800	31.850
2013	599.360	33.260

2014	534.170	30.050
2015	446.140	29.900
2016	621.750	27.430

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

En las tablas se observa que los meses con mayores caudales por época de lluvias fuertes, oscilan entre los meses de enero-marzo.

Tabla 33.

Datos promedio de caudales observados mensuales del año 1981-1987

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Ene	320.44	497.47	208.64	274.70	291.21	259.21	326.58
Feb	342.70	307.36	210.52	413.16	282.83	300.15	241.38
Mar	372.89	375.52	162.74	322.50	271.52	426.84	128.21
Abr	236.70	215.17	98.12	231.76	204.55	226.62	78.68
May	94.47	86.41	51.71	91.56	104.88	109.68	41.15
Jun	51.83	52.55	31.35	47.65	61.34	49.23	27.58
Jul	36.84	37.02	26.05	30.41	31.40	32.23	27.04
Ago	32.81	28.92	24.08	26.36	24.22	26.17	21.66
Set	29.58	29.41	26.19	22.32	30.54	27.93	23.03
Oct	68.27	44.65	31.71	56.76	31.60	29.77	34.34
Nov	129.93	162.29	43.62	142.66	126.53	46.39	84.23
Dic	193.02	187.73	57.46	206.10	160.42	72.43	163.02

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

Tabla 34.

Datos promedio de caudales observados mensuales del año 1988-1994

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Ene	270.13	196.85	250.78	188.30	225.25	221.57	299.86
Feb	252.93	291.30	178.93	202.34	182.51	236.05	428.23
Mar	284.04	315.72	143.83	226.94	186.25	237.62	345.96

Abr	306.86	184.95	88.11	142.80	74.85	145.23	227.73
May	102.19	75.32	51.95	62.11	45.80	69.76	114.27
Jun	44.08	43.67	46.58	47.11	39.03	42.45	55.39
Jul	29.34	27.37	39.24	36.56	37.09	35.32	41.39
Ago	24.11	22.88	33.63	33.27	37.18	36.72	34.95
Set	24.25	21.63	32.70	33.30	36.62	36.56	33.22
Oct	27.90	29.18	50.13	39.15	41.97	43.89	40.01
Nov	34.34	35.01	137.89	52.94	71.58	113.81	54.94
Dic	60.14	57.41	156.44	81.18	73.94	215.79	133.95

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

Tabla 35.

Datos promedio de caudales observados mensuales del año 1995-2001

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Ene	225.80	185.80	239.97	172.07	172.42	235.35	357.50
Feb	128.47	276.69	390.92	250.38	282.72	381.93	329.76
Mar	329.23	208.49	440.23	205.69	322.62	346.42	405.69
Abr	161.55	162.46	163.84	112.53	201.28	116.08	188.70
May	58.83	68.02	81.01	53.63	95.47	72.80	84.29
Jun	41.54	41.72	53.43	41.03	45.14	45.57	55.70
Jul	36.08	35.09	43.58	35.02	34.05	36.49	48.10
Ago	33.01	34.92	42.73	33.72	31.68	32.80	42.75
Set	33.97	33.41	37.90	35.28	34.19	33.16	38.48
Oct	38.10	37.77	40.09	47.01	40.76	41.73	47.56
Nov	57.13	54.88	89.91	59.39	45.86	66.72	75.39
Dic	77.39	128.95	111.76	90.34	109.56	122.28	106.28

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

Tabla 36.

Datos promedio de caudales observados mensuales del año 2002-2008

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ene	171.12	309.64	351.42	153.47	311.96	238.42	237.22

Feb	399.32	388.82	391.01	293.70	285.72	246.04	223.41
Mar	392.06	419.99	192.65	257.31	239.65	347.36	250.77
Abr	228.70	304.46	155.80	171.91	235.00	219.79	85.26
May	101.52	115.03	77.23	59.27	71.04	79.31	48.40
Jun	58.28	80.15	51.58	39.54	44.00	43.39	37.35
Jul	66.77	64.36	52.72	38.32	33.92	37.96	33.72
Ago	47.17	57.99	45.05	36.92	35.58	35.35	33.69
Set	59.73	52.34	47.82	38.72	35.85	35.83	34.40
Oct	68.61	48.85	59.08	57.51	43.60	40.73	41.60
Nov	109.24	55.38	72.85	65.28	82.46	47.55	48.74
Dic	184.64	103.31	133.35	94.90	166.08	92.31	134.54

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

Tabla 37.

Datos promedio de caudales observados mensuales del año 2009-2016

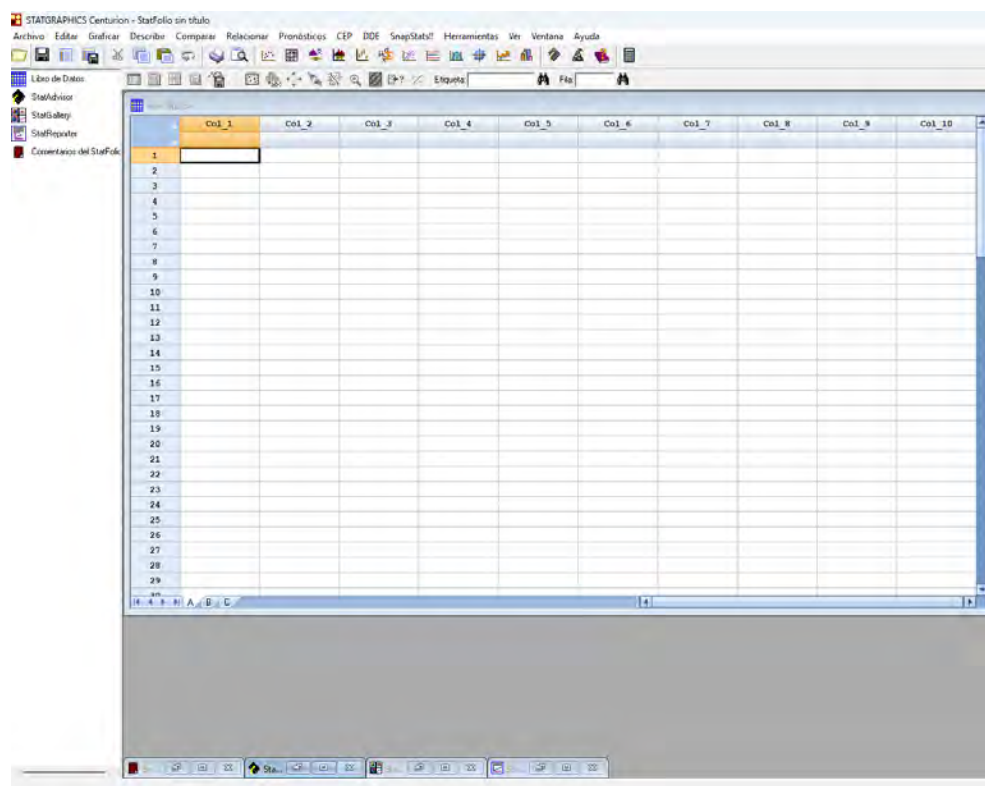
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ene	206.72	421.71	186.30	218.66	266.54	300.22	222.75	169.54
Feb	213.19	313.30	386.78	426.12	394.95	363.07	224.66	361.07
Mar	198.01	308.98	426.66	305.52	305.37	182.91	274.17	211.68
Abr	108.26	191.01	280.09	170.50	133.90	104.10	206.86	126.27
May	52.07	84.41	100.29	84.23	64.81	63.84	90.08	58.19
Jun	37.69	49.46	48.64	50.54	49.18	38.92	47.96	40.44
Jul	34.77	41.70	45.80	35.09	36.62	34.14	37.81	42.28
Ago	33.18	34.86	36.65	33.38	37.60	33.80	39.73	36.12
Set	34.72	38.42	43.02	35.02	36.09	34.85	36.78	33.23
Oct	36.12	44.75	48.29	37.54	47.91	40.72	36.80	48.71
Nov	85.66	44.22	52.99	51.02	94.23	36.58	51.85	42.41
Dic	177.35	113.95	114.69	168.62	212.94	84.47	133.32	65.68

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

Se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion XVI para el análisis de datos de los caudales observados, estos datos fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo.

Figura 67.

Interfaz del software STATGRAPHICS



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Se muestra los siguientes resultados obtenidos utilizando el software STATGRAPHICS

Tabla 38.

Resumen estadístico para Caudales Observados

Resumen Estadístico para Caudales Observados	
Recuento	13149
Promedio	123.476
Mediana	63.500
Desviación Estándar	119.833
Mínimo	19.500
Máximo	1100.000
Rango	1080.500

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

La serie de caudales observados cuenta con 13,149 registros, un tamaño suficiente para análisis confiables. El caudal promedio es de 123.476 m³/s, mientras que la mediana (63.5 m³/s) es mucho menor, lo que evidencia un sesgo positivo: pocos eventos extremos elevan la media. La desviación estándar (119.833 m³/s) y el amplio rango (19.5–1100.0 m³/s) muestran una alta variabilidad, típica en sistemas hidrológicos con periodos de estiaje y crecientes marcadas.

Figura 68.

Tabla de frecuencia para Caudales Observados

	Limite	Limite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	7.14286		0	0.0000	0	0.0000
1	7.14286	37.8969	22.5199	3240	0.2464	3240	0.2464
2	37.8969	68.651	53.274	3642	0.2770	6882	0.5234
3	68.651	99.4051	84.0281	1172	0.0891	8054	0.6125
4	99.4051	130.159	114.782	746	0.0567	8800	0.6693
5	130.159	160.913	145.536	693	0.0527	9493	0.7220
6	160.913	191.667	176.29	619	0.0471	10112	0.7690
7	191.667	222.421	207.044	569	0.0433	10681	0.8123
8	222.421	253.176	237.799	443	0.0337	11124	0.8460
9	253.176	283.93	268.553	406	0.0309	11530	0.8769
10	283.93	314.684	299.307	355	0.0270	11885	0.9039
11	314.684	345.438	330.061	312	0.0237	12197	0.9276
12	345.438	376.192	360.815	262	0.0199	12459	0.9475
13	376.192	406.946	391.569	217	0.0165	12676	0.9640
14	406.946	437.7	422.323	157	0.0119	12833	0.9760
15	437.7	468.454	453.077	104	0.0079	12937	0.9839
16	468.454	499.208	483.831	83	0.0063	13020	0.9902
17	499.208	529.962	514.585	40	0.0030	13060	0.9932
18	529.962	560.716	545.339	32	0.0024	13092	0.9957
19	560.716	591.471	576.093	19	0.0014	13111	0.9971
20	591.471	622.225	606.848	16	0.0012	13127	0.9983
21	622.225	652.979	637.602	5	0.0004	13132	0.9987
22	652.979	683.733	668.356	3	0.0002	13135	0.9989
23	683.733	714.487	699.11	3	0.0002	13138	0.9992
24	714.487	745.241	729.864	2	0.0002	13140	0.9993
25	745.241	775.995	760.618	3	0.0002	13143	0.9995
26	775.995	806.749	791.372	3	0.0002	13146	0.9998
27	806.749	837.503	822.126	0	0.0000	13146	0.9998
28	837.503	868.257	852.88	0	0.0000	13146	0.9998
29	868.257	899.011	883.634	0	0.0000	13146	0.9998
30	899.011	929.765	914.388	1	0.0001	13147	0.9998
31	929.765	960.52	945.143	0	0.0000	13147	0.9998
32	960.52	991.274	975.897	0	0.0000	13147	0.9998
33	991.274	1022.03	1006.65	1	0.0001	13148	0.9999
34	1022.03	1052.78	1037.4	0	0.0000	13148	0.9999
35	1052.78	1083.54	1068.16	0	0.0000	13148	0.9999
36	1083.54	1114.29	1098.91	1	0.0001	13149	1.0000
	mayor de	1114.29		0	0.0000	13149	1.0000

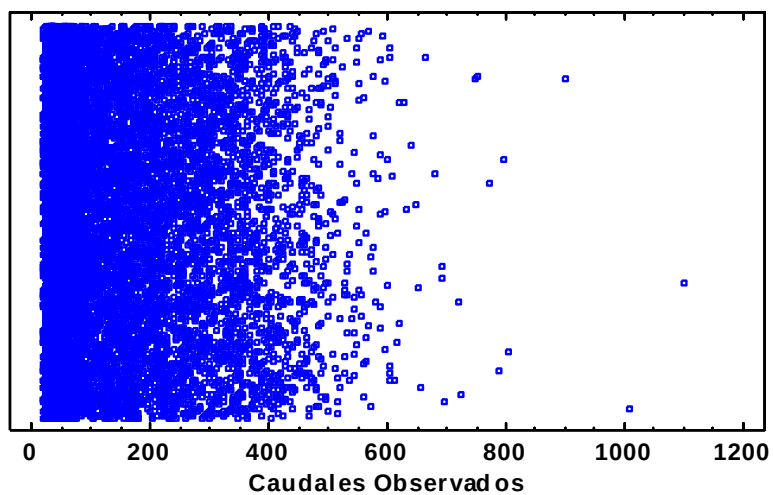
Media = 123.476 Desviación Estándar = 119.833

Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 69.

Gráfico de dispersión - Caudales observados

Gráfico de Dispersión

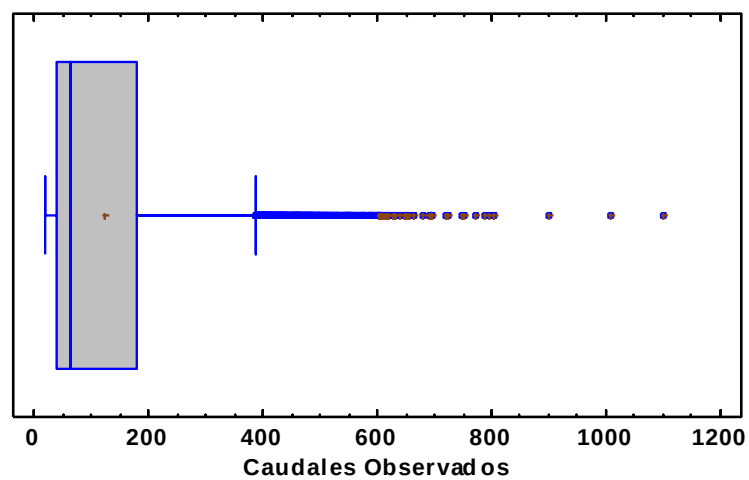


Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 70.

Gráfico de caja y bigotes - Caudales observados

Gráfico de Caja y Bigotes

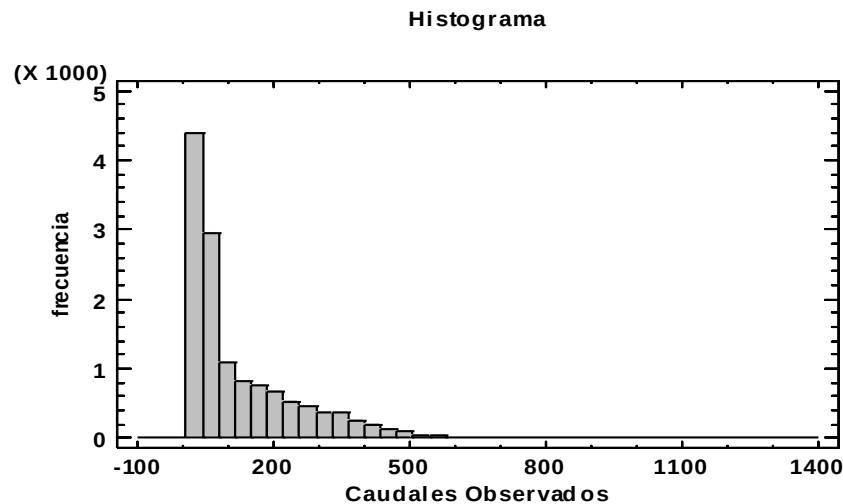


Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

El gráfico de caja muestra que la distribución de caudales está fuertemente sesgada hacia la derecha (asimetría positiva). Esto indica que los caudales altos son poco frecuentes, pero influyen significativamente en la estadística general de la serie.

Figura 71.

Histograma de Frecuencia - Caudales observados



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

5.5.2. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales simulados GR4J

Se realizó un análisis de los caudales máximos y mínimos desde el año 1981 hasta el año 2016, estos datos fueron simulados en el modelo GR4J y registrados en la estación hidrométrica del Km 105.

Los promedios anuales de los caudales simulados en el modelo GR4J son los siguientes:

Tabla 39.

Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo GR4J

AÑOS	CAUDALES MAXIMOS	CAUDALES MINIMOS
1981	449.88	8.63
1982	425.75	20.61
1983	191.70	13.02
1984	482.00	17.96
1985	452.57	24.34
1986	336.29	20.54
1987	338.98	24.56
1988	485.80	21.14
1989	402.76	22.81
1990	673.96	22.29
1991	407.65	22.46
1992	232.69	19.75
1993	383.04	22.79
1994	578.10	17.45
1995	530.70	17.36
1996	476.62	22.65
1997	739.80	20.35
1998	469.11	14.66
1999	464.03	20.29
2000	404.43	18.92
2001	471.55	29.75
2002	586.31	32.35
2003	453.04	21.54
2004	477.31	28.95
2005	480.83	16.81
2006	633.29	18.03
2007	474.86	17.73
2008	446.70	17.25
2009	358.26	16.00
2010	726.91	16.88
2011	503.87	26.32
2012	649.26	17.41
2013	599.23	20.17
2014	475.04	19.58
2015	554.34	18.19

2016	713.23	20.18
-------------	--------	-------

Fuente. Elaboración propia.

En las tablas se observa los caudales mensuales de los años 1984 – 2016 simulados por el modelo GR4J.

Tabla 40.

Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 1981-1987

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Ene	55.61	329.16	88.73	131.36	195.66	203.20	256.31
Feb	211.48	259.32	121.26	342.43	239.73	220.80	250.92
Mar	330.68	259.58	103.02	222.29	239.14	244.63	141.09
Abr	225.75	230.42	93.78	157.10	155.21	171.60	83.50
May	93.14	96.96	56.27	78.20	95.07	90.57	49.19
Jun	51.35	52.57	36.68	44.97	65.45	49.60	33.07
Jul	34.28	35.65	26.70	31.27	44.60	33.57	54.96
Ago	27.30	27.79	20.80	25.25	30.01	25.39	32.32
Set	25.12	23.50	16.91	20.68	43.99	29.09	27.86
Oct	34.37	43.73	16.04	65.74	46.21	30.62	43.15
Nov	75.36	99.15	14.19	237.86	121.29	45.79	90.75
Dic	134.42	123.84	29.66	260.57	177.69	109.89	232.52

Fuente. Elaboración propia

Tabla 41.

Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 1988-1994

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Ene	259.37	251.22	282.17	153.47	163.27	189.01	286.47
Feb	279.73	324.73	312.40	212.36	155.52	245.25	417.88
Mar	238.75	271.31	225.69	197.57	149.74	194.26	251.68
Abr	304.89	195.57	137.76	125.56	76.19	113.89	164.10
May	122.72	85.13	69.50	77.73	45.61	62.62	83.95

Jun	59.66	49.92	62.59	63.70	34.13	39.15	47.17
Jul	38.06	34.33	44.31	40.95	26.56	28.01	32.16
Ago	27.34	26.08	31.84	28.73	34.97	29.34	24.05
Set	23.40	30.47	26.62	26.66	32.72	26.86	20.12
Oct	31.82	34.03	43.24	28.66	42.86	34.30	36.75
Nov	39.83	46.99	85.69	56.57	106.51	113.64	82.43
Dic	92.23	83.62	112.45	80.14	120.64	254.22	195.73

Fuente. Elaboración propia

Tabla 42.

Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 1995-2001

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Ene	307.78	268.85	242.23	199.82	151.88	200.03	319.52
Feb	197.31	399.00	482.82	335.01	298.86	331.58	349.81
Mar	269.09	233.60	441.39	262.50	305.95	275.83	341.15
Abr	156.32	141.25	162.38	121.69	172.63	109.89	174.80
May	70.84	74.19	82.05	59.27	116.88	60.25	87.56
Jun	42.60	44.18	46.78	37.82	56.09	46.60	50.43
Jul	30.07	30.71	32.07	27.33	36.55	32.59	47.17
Ago	23.09	26.32	28.33	21.11	26.46	24.72	36.90
Set	21.32	26.16	23.74	17.12	27.58	20.95	32.67
Oct	19.86	35.21	28.19	24.46	30.69	44.01	39.05
Nov	57.82	49.76	98.16	42.49	32.78	38.59	84.25
Dic	142.54	153.79	136.08	63.57	94.27	69.21	95.71

Fuente. Elaboración propia

Tabla 43.

Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 2002-2008

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ene	145.16	246.56	327.96	203.33	339.23	271.91	174.88
Feb	379.94	316.82	344.57	296.68	390.91	292.88	284.65
Mar	304.91	293.57	153.35	228.05	258.49	335.41	300.36

Abr	171.79	185.06	110.53	140.41	220.60	206.76	130.64
May	97.52	79.87	63.26	65.39	88.88	89.90	69.94
Jun	56.50	49.43	41.47	40.55	49.78	49.59	43.97
Jul	65.13	34.91	47.51	28.91	34.12	34.63	30.77
Ago	42.35	32.78	34.68	22.17	25.61	25.46	23.45
Set	41.33	26.19	39.38	18.71	20.77	20.08	18.74
Oct	55.50	27.06	45.16	27.37	28.44	25.73	28.12
Nov	111.93	37.87	79.74	60.70	73.16	49.80	36.38
Dic	200.36	118.58	175.55	109.41	175.70	100.30	106.77

Fuente. Elaboración propia

Tabla 44.

Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 2009-2016

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ene	212.17	310.90	160.47	255.66	372.37	365.25	349.83	247.32
Feb	254.19	341.02	299.25	392.35	417.09	354.59	371.98	487.35
Mar	218.62	270.59	307.30	243.34	221.23	152.38	262.03	249.39
Abr	133.10	151.28	235.91	127.42	110.50	93.64	164.76	133.92
May	66.35	69.78	95.89	63.28	58.18	61.17	87.98	71.51
Jun	40.86	43.55	52.10	40.17	39.00	40.91	49.74	42.29
Jul	29.19	30.64	49.23	29.15	28.03	28.94	40.26	37.33
Ago	22.27	23.41	32.36	22.22	25.74	22.68	29.44	26.55
Set	18.48	20.20	37.58	22.78	23.27	23.34	23.21	23.93
Oct	18.24	25.02	45.18	29.22	38.04	51.60	24.13	38.37
Nov	78.37	33.29	52.72	69.69	132.20	50.33	66.05	43.22
Dic	174.05	93.41	134.60	217.47	308.32	187.18	190.90	85.08

Fuente. Elaboración propia

Se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion XVI para el análisis de datos de los caudales simulados GR4J, estos datos fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo. Se muestra los siguientes resultados.

Tabla 45.

Resumen estadístico para Caudales Simulados GR4J

Resumen Estadístico para Caudales Simulados GR4J	
Recuento	13149
Promedio	117.082
Mediana	65.487
Desviación Estándar	112.732
Mínimo	13.024
Máximo	739.802
Rango	726.778

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

La serie de caudales simulados GR4J cuenta con 13,149 registros, un tamaño suficiente para análisis confiables. El caudal promedio es de 117.082 m³/s, mientras que la mediana (65.4868 m³/s) es mucho menor, lo que evidencia un sesgo positivo: pocos eventos extremos elevan la media. La desviación estándar (112.732 m³/s) y el amplio rango (13.024–739.802 m³/s) muestran una alta variabilidad, típica en sistemas hidrológicos con periodos de estiaje y crecientes marcadas.

Figura 72.

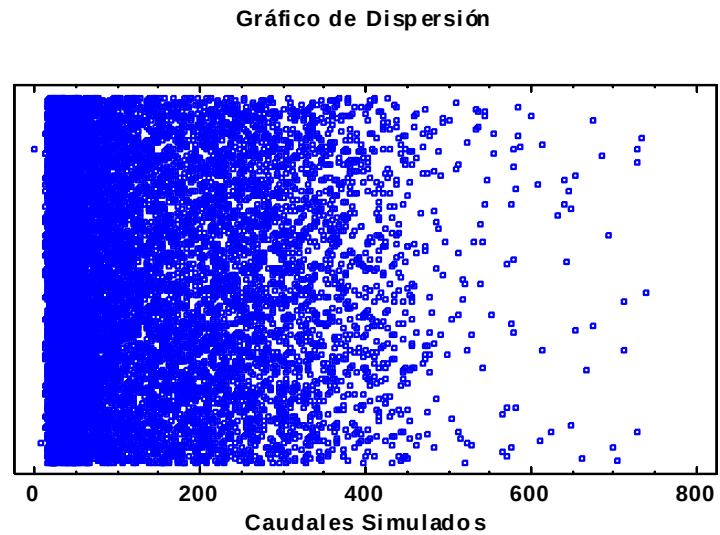
Tabla de frecuencia para Caudales Simulados GR4J

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	7.61905		1	0.0001	1	0.0001
1	7.61905	26.6667	17.1429	2030	0.1544	2031	0.1545
2	26.6667	45.7143	36.1905	3079	0.2342	5110	0.3886
3	45.7143	64.7619	55.2381	1428	0.1086	6538	0.4972
4	64.7619	83.8095	74.2857	862	0.0656	7400	0.5628
5	83.8095	102.857	93.3334	648	0.0493	8048	0.6121
6	102.857	121.905	112.381	560	0.0426	8608	0.6547
7	121.905	140.952	131.429	450	0.0342	9058	0.6889
8	140.952	160.0	150.476	464	0.0353	9522	0.7242
9	160.0	179.048	169.524	392	0.0298	9914	0.7540
10	179.048	198.095	188.571	371	0.0282	10285	0.7822
11	198.095	217.143	207.619	372	0.0283	10657	0.8105
12	217.143	236.191	226.667	377	0.0287	11034	0.8392
13	236.191	255.238	245.714	313	0.0238	11347	0.8630
14	255.238	274.286	264.762	320	0.0243	11667	0.8873
15	274.286	293.333	283.81	233	0.0177	11900	0.9050
16	293.333	312.381	302.857	227	0.0173	12127	0.9223
17	312.381	331.429	321.905	197	0.0150	12324	0.9373
18	331.429	350.476	340.952	166	0.0126	12490	0.9499
19	350.476	369.524	360.0	147	0.0112	12637	0.9611
20	369.524	388.572	379.048	118	0.0090	12755	0.9700
21	388.572	407.619	398.095	90	0.0068	12845	0.9769
22	407.619	426.667	417.143	78	0.0059	12923	0.9828
23	426.667	445.714	436.191	60	0.0046	12983	0.9874
24	445.714	464.762	455.238	45	0.0034	13028	0.9908
25	464.762	483.81	474.286	27	0.0021	13055	0.9929
26	483.81	502.857	493.333	13	0.0010	13068	0.9938
27	502.857	521.905	512.381	13	0.0010	13081	0.9948
28	521.905	540.953	531.429	13	0.0010	13094	0.9958
29	540.953	560.0	550.476	8	0.0006	13102	0.9964
30	560.0	579.048	569.524	11	0.0008	13113	0.9973
31	579.048	598.095	588.572	6	0.0005	13119	0.9977
32	598.095	617.143	607.619	5	0.0004	13124	0.9981
33	617.143	636.191	626.667	2	0.0002	13126	0.9983
34	636.191	655.238	645.714	8	0.0006	13134	0.9989
35	655.238	674.286	664.762	4	0.0003	13138	0.9992
36	674.286	693.334	683.81	2	0.0002	13140	0.9993
37	693.334	712.381	702.857	2	0.0002	13142	0.9995
38	712.381	731.429	721.905	5	0.0004	13147	0.9998
39	731.429	750.476	740.953	2	0.0002	13149	1.0000
40	750.476	769.524	760.0	0	0.0000	13149	1.0000
	mayor de	769.524		0	0.0000	13149	1.0000

Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 73.

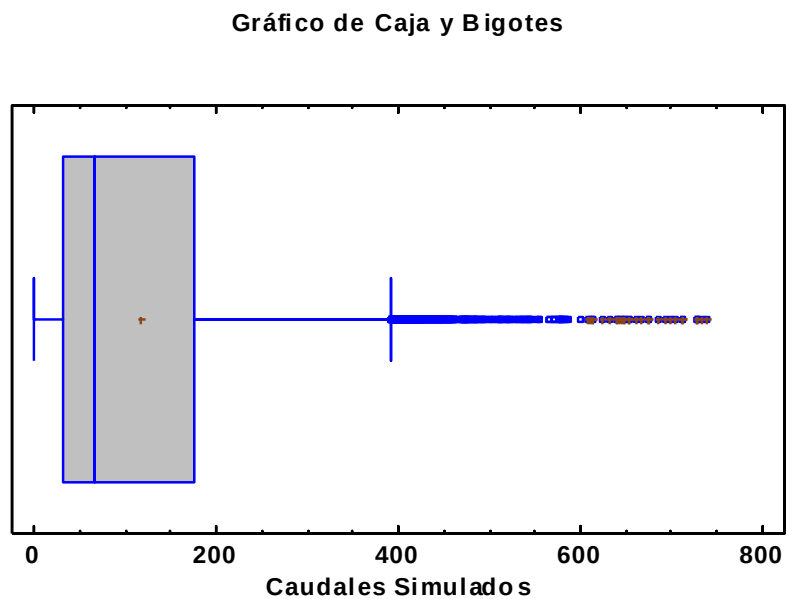
Gráfico de dispersión - Caudales Simulados GR4J



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 74.

Gráfico de caja y bigotes - Caudales Simulados GR4J

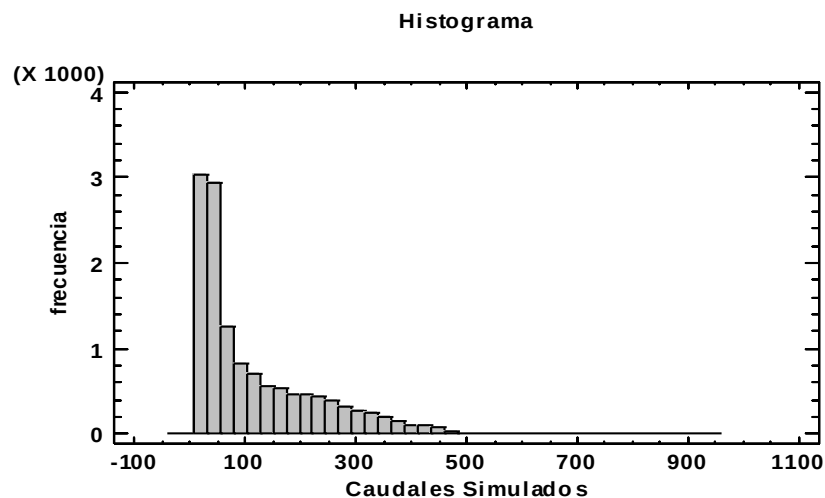


Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

El gráfico de caja muestra que la distribución de caudales simulados GR4J está fuertemente sesgada hacia la derecha (asimetría positiva). Esto indica que los caudales altos son poco frecuentes, pero influyen significativamente en la estadística general de la serie.

Figura 75.

Histograma de Frecuencia - Caudales Simulados GR4J



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

5.5.3. Análisis estadístico descriptivo y comportamiento temporal de los caudales simulados SAC - SMA

Se realizó un análisis de los caudales máximos y mínimos desde el año 1981 hasta el año 2016, estos datos fueron simulados en el modelo SAC-SMA y registrados en la estación hidrométrica del Km 105.

Los promedios anuales de los caudales simulados en el modelo SAC-SMA

Tabla 46.

Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo SAC-SMA

AÑOS	CAUDALES MAXIMOS	CAUDALES MINIMOS
1981	649.28	9.33
1982	343.08	26.46
1983	211.07	18.74
1984	421.33	21.86
1985	446.01	27.26
1986	310.13	26.37
1987	289.89	23.60
1988	395.87	27.14
1989	328.65	28.11
1990	1570.54	25.19
1991	423.29	22.62
1992	358.60	20.28
1993	402.64	22.01
1994	456.36	26.81
1995	457.48	25.75
1996	374.61	28.59
1997	803.51	30.82
1998	451.69	27.11
1999	403.11	26.98
2000	329.99	26.07
2001	509.00	30.76
2002	701.79	30.21
2003	378.11	28.60
2004	396.05	28.93
2005	486.18	25.59
2006	699.24	27.77
2007	421.38	29.62
2008	393.43	26.79
2009	341.26	23.34
2010	965.28	26.57
2011	446.79	28.02
2012	963.43	26.74
2013	481.46	28.67
2014	382.48	29.51
2015	530.29	28.38
2016	869.01	29.34

Fuente. Elaboración propia.

En las tablas se observa los caudales mensuales de los años 1984 – 2016 simulados por el modelo SAC-SMA.

Tabla 47.

Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 1981-1987

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Ene	187.72	245.31	62.16	175.12	146.45	130.63	218.51
Feb	230.19	149.65	104.67	252.22	214.35	175.66	152.41
Mar	203.58	184.77	71.73	119.78	150.09	185.56	70.85
Abr	116.82	135.40	59.95	88.18	109.92	103.17	49.22
May	30.15	40.14	30.33	34.72	55.04	43.26	29.85
Jun	24.47	33.35	25.18	28.01	42.49	31.85	27.00
Jul	22.15	30.33	23.26	26.02	31.41	30.26	59.30
Ago	24.91	30.94	22.40	26.22	28.52	28.65	25.48
Set	26.98	35.46	21.85	23.42	67.42	42.60	28.81
Oct	50.52	74.67	23.72	122.28	44.56	35.92	53.05
Nov	96.26	132.62	25.28	198.86	153.39	63.73	115.98
Dic	123.55	86.13	60.32	170.44	146.00	128.28	185.13

Fuente. Elaboración propia

Tabla 48.

Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 1988-1994

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Ene	188.43	214.42	232.49	118.46	133.61	170.02	192.30
Feb	174.26	219.73	232.74	192.34	119.98	142.54	297.56
Mar	177.08	178.66	117.43	116.82	77.26	114.25	157.45
Abr	204.31	117.11	85.74	59.84	31.95	60.97	98.31
May	50.90	40.40	37.10	42.70	25.04	29.05	45.85
Jun	34.09	34.27	55.37	44.48	25.68	25.56	34.09
Jul	31.27	30.56	30.70	26.93	21.93	24.44	31.47
Ago	29.28	31.91	29.67	24.91	46.34	31.10	29.75

Set	30.46	43.30	29.44	29.47	24.18	27.70	31.01
Oct	49.15	40.32	73.78	36.95	50.16	48.08	64.73
Nov	46.53	59.11	97.77	74.73	127.04	138.42	106.33
Dic	132.43	110.00	103.48	88.48	67.01	204.30	199.00

Fuente. Elaboración propia

Tabla 49.

Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 1995-2001

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Ene	204.15	219.50	191.39	158.03	161.65	166.77	286.53
Feb	144.35	271.12	357.68	262.48	251.35	246.63	248.10
Mar	197.22	139.56	283.13	160.03	192.88	170.74	227.30
Abr	87.46	88.09	87.86	63.19	116.81	46.72	94.97
May	38.22	41.50	47.27	36.72	62.95	36.08	51.78
Jun	33.41	33.79	37.65	34.06	34.76	36.89	35.74
Jul	31.50	31.64	35.20	31.17	31.70	29.93	45.29
Ago	29.38	35.44	37.87	29.79	29.24	28.58	37.59
Set	32.64	34.76	34.66	28.55	45.54	29.57	35.64
Oct	32.09	51.24	47.88	57.34	42.81	81.28	58.25
Nov	109.49	68.15	148.29	72.79	39.37	34.29	98.01
Dic	146.00	173.54	138.41	75.53	149.69	96.22	97.33

Fuente. Elaboración propia

Tabla 50.

Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 2002-2008

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ene	129.12	189.73	258.42	129.42	280.62	197.81	173.93
Feb	311.87	241.28	234.13	251.46	256.15	215.47	222.84
Mar	197.18	206.34	82.23	136.02	160.75	253.52	186.50
Abr	108.60	113.32	72.49	81.25	157.74	131.81	66.56
May	50.18	44.37	37.52	35.54	41.79	48.24	41.34
Jun	35.67	38.27	37.62	31.48	37.47	37.69	33.94

Jul	65.92	33.75	48.61	29.91	33.02	36.25	30.68
Ago	32.97	40.75	36.89	28.22	32.64	32.65	29.60
Set	50.29	32.39	43.75	28.31	31.42	32.36	28.78
Oct	73.74	39.92	53.40	48.17	55.46	49.78	52.42
Nov	128.00	54.30	94.63	94.89	114.71	87.63	56.31
Dic	178.17	172.99	175.28	120.85	179.25	114.53	156.83

Fuente. Elaboración propia

Tabla 51.

Datos promedio de caudales simulados SAC-SMA mensuales del año 2009-2016

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ene	159.06	270.87	140.17	182.57	265.03	252.57	266.96	179.49
Feb	202.86	207.78	252.12	315.78	300.15	247.11	256.95	384.94
Mar	127.04	171.80	178.26	132.20	139.22	92.27	170.57	130.33
Abr	76.39	83.65	159.39	82.68	57.78	65.00	124.72	97.89
May	34.21	37.45	40.72	36.91	40.08	43.29	50.23	43.38
Jun	29.96	33.22	35.22	33.76	36.49	35.14	37.29	36.25
Jul	29.35	31.05	40.96	31.10	32.66	32.88	38.79	39.43
Ago	26.44	30.11	29.92	28.75	37.28	31.59	33.98	32.00
Set	27.58	29.34	53.09	37.45	31.81	36.24	32.64	35.58
Oct	27.80	47.54	51.56	43.65	73.88	82.27	39.94	62.78
Nov	149.86	47.10	57.89	108.93	154.37	53.26	105.74	48.72
Dic	148.87	141.68	167.09	221.99	265.02	215.22	209.65	106.58

Fuente. Elaboración propia

Se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion XVI para el análisis de datos de los caudales simulados SAC-SMA, estos datos fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo.

Se muestra los siguientes resultados.

Tabla 52.

Resumen estadístico para Caudales Simulados SAC-SMA

Resumen Estadístico para Caudales Simulados SAC-SMA	
Recuento	13149
Promedio	114.4805
Mediana	59.2036
Desviación Estándar	91.749
Mínimo	18.742
Máximo	1570.54
Rango	1551.798

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

La serie de caudales simulados SAC-SMA cuenta con 13,149 registros, un tamaño suficiente para análisis confiables. El caudal promedio es de 114.4805 m³/s, mientras que la mediana (59.2036 m³/s) es mucho menor, lo que evidencia un sesgo positivo: pocos eventos extremos elevan la media. La desviación estándar (91.749 m³/s) y el amplio rango (18.742–1570.54 m³/s) muestran una alta variabilidad, típica en sistemas hidrológicos con periodos de estiaje y crecientes marcadas.

Figura 76.

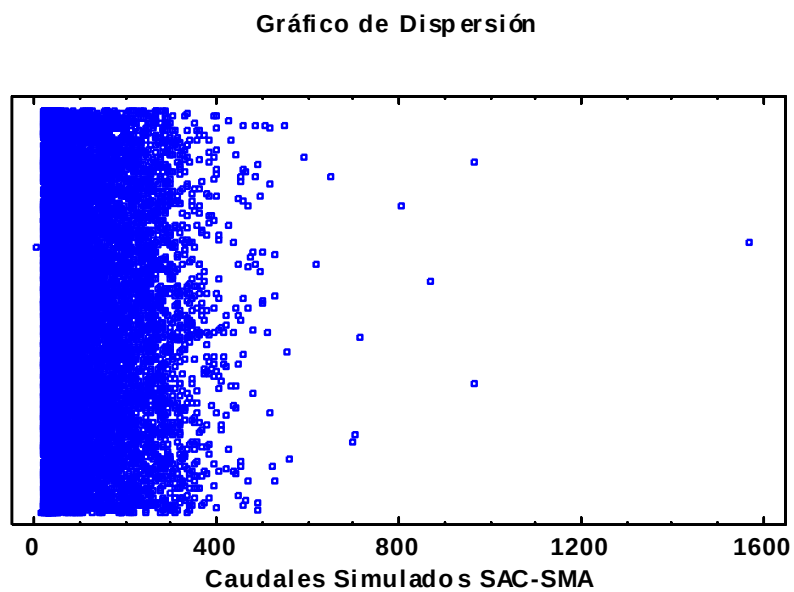
Tabla de frecuencia para Caudales Simulados SAC-SMA

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	5.26316		1	0.0001	1	0.0001
1	5.26316	50.9697	28.1164	6708	0.5102	6709	0.5102
2	50.9697	96.6762	73.8229	2082	0.1583	8791	0.6686
3	96.6762	142.383	119.529	1305	0.0992	10096	0.7678
4	142.383	188.089	165.236	1036	0.0788	11132	0.8466
5	188.089	233.796	210.942	776	0.0590	11908	0.9056
6	233.796	279.502	256.649	569	0.0433	12477	0.9489
7	279.502	325.209	302.355	337	0.0256	12814	0.9745
8	325.209	370.915	348.062	176	0.0134	12990	0.9879
9	370.915	416.622	393.768	69	0.0052	13059	0.9932
10	416.622	462.328	439.475	36	0.0027	13095	0.9959
11	462.328	508.035	485.181	23	0.0017	13118	0.9976
12	508.035	553.741	530.888	13	0.0010	13131	0.9986
13	553.741	599.448	576.594	4	0.0003	13135	0.9989
14	599.448	645.154	622.301	3	0.0002	13138	0.9992
15	645.154	690.861	668.007	2	0.0002	13140	0.9993
16	690.861	736.567	713.714	3	0.0002	13143	0.9995
17	736.567	782.274	759.42	0	0.0000	13143	0.9995
18	782.274	827.98	805.127	1	0.0001	13144	0.9996
19	827.98	873.687	850.833	0	0.0000	13144	0.9996
20	873.687	919.393	896.54	1	0.0001	13145	0.9997
21	919.393	965.1	942.246	0	0.0000	13145	0.9997
22	965.1	1010.81	987.953	2	0.0002	13147	0.9998
23	1010.81	1056.51	1033.66	0	0.0000	13147	0.9998
24	1056.51	1102.22	1079.37	1	0.0001	13148	0.9999
25	1102.22	1147.93	1125.07	0	0.0000	13148	0.9999
26	1147.93	1193.63	1170.78	0	0.0000	13148	0.9999
27	1193.63	1239.34	1216.49	0	0.0000	13148	0.9999
28	1239.34	1285.05	1262.19	0	0.0000	13148	0.9999
29	1285.05	1330.75	1307.9	0	0.0000	13148	0.9999
30	1330.75	1376.46	1353.6	0	0.0000	13148	0.9999
31	1376.46	1422.16	1399.31	0	0.0000	13148	0.9999
32	1422.16	1467.87	1445.02	0	0.0000	13148	0.9999
33	1467.87	1513.58	1490.72	0	0.0000	13148	0.9999
34	1513.58	1559.28	1536.43	0	0.0000	13148	0.9999
35	1559.28	1604.99	1582.14	0	0.0000	13148	0.9999
36	1604.99	1650.7	1627.84	1	0.0001	13149	1.0000
37	1650.7	1696.4	1673.55	0	0.0000	13149	1.0000
38	1696.4	1742.11	1719.26	0	0.0000	13149	1.0000
	mayor de	1742.11		0	0.0000	13149	1.0000

Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 77.

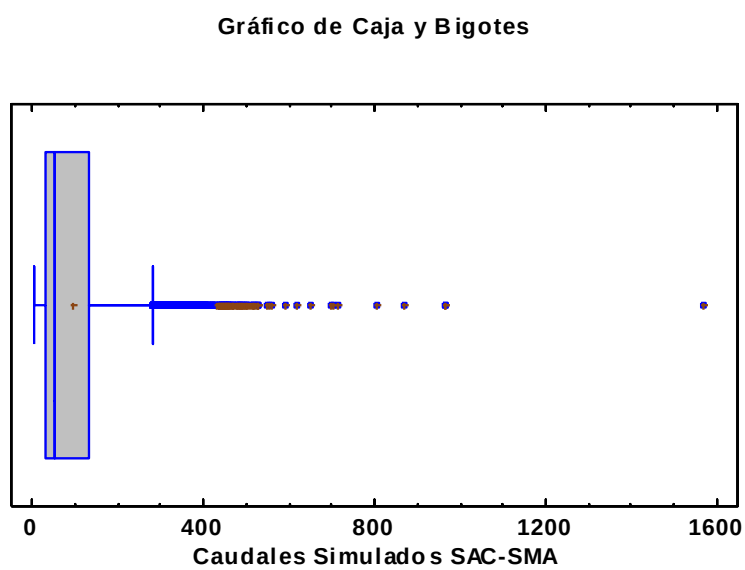
Gráfico de dispersión - Caudales Simulados SAC-SMA



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 78.

Gráfico de caja y bigotes - Caudales Simulados SAC-SMA

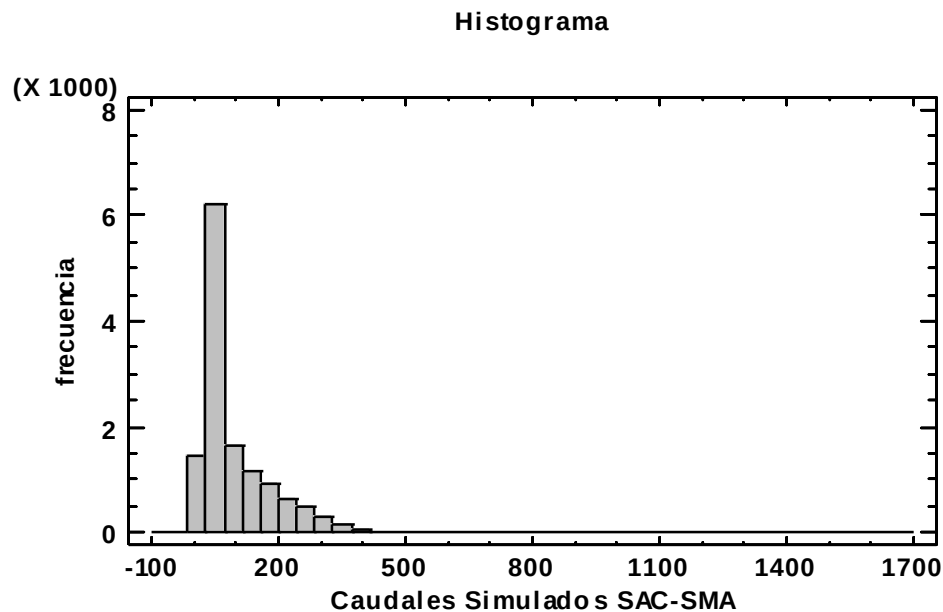


Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

El gráfico de caja muestra que la distribución de caudales simulados SAC-SMA está fuertemente sesgada hacia la derecha (asimetría positiva). Esto indica que los caudales altos son poco frecuentes, pero influyen significativamente en la estadística general de la serie.

Figura 79.

Histograma de Frecuencia - Caudales Simulados SAC-SMA



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

5.5.4. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados GR4J

Se aplicó un análisis de correlación entre los caudales observados y los caudales simulados mediante el modelo GR4J, utilizando el software Statgraphics. Este procedimiento permitió medir la intensidad de la relación lineal entre ambas series, cuyos resultados evidencian el nivel de ajuste alcanzado por el modelo y su efectividad para reproducir la dinámica hidrológica registrada en la estación del Km 105.

Tabla 53.*Resumen Estadístico Caudales Observados vs Caudales Simulados GR4J*

	Caudales Observados	Caudales Simulados GR4J
Recuento	13149	13149
Promedio	123.476	117.082
Mediana	63.5	65.487
Desviación Estándar	119.833	112.732
Mínimo	19.500	13.024
Máximo	1100.000	739.802
Rango	1080.500	739.422

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

El análisis estadístico entre los caudales observados y los simulados mediante el modelo GR4J evidencia una adecuada representación de la dinámica hidrológica de la cuenca, aunque con ciertas limitaciones. Los promedios ($123.48 \text{ m}^3/\text{s}$ en los observados y $117.08 \text{ m}^3/\text{s}$ en los simulados) y las medianas (63.5 y $65.49 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente) muestran valores muy próximos, lo que indica que el modelo reproduce de manera satisfactoria los caudales característicos o más frecuentes. No obstante, la desviación estándar y el rango de los simulados son menores que los observados, reflejando que el modelo tiende a suavizar la variabilidad natural del sistema. En particular, se aprecia una subestimación de los eventos extremos, dado que los caudales máximos observados alcanzan los $1100 \text{ m}^3/\text{s}$, frente a $739.8 \text{ m}^3/\text{s}$ en las simulaciones. De igual modo, el modelo genera valores mínimos más bajos que los registrados en la realidad. En conjunto, los resultados muestran que GR4J captura de forma aceptable el comportamiento general de los caudales, aunque presenta limitaciones para reproducir con precisión las crecidas y estiajes más severos.

La diferencia entre promedios del período completo 1981–2016 (5.2%) es mayor que el sesgo reportado en calibración (Bias Score=0.99, equivalente a 1%), dado que los valores del

período 1981–2016 incluyen el warm-up inicial y el período de validación, durante los cuales el sesgo varía. El Bias Score de calibración refleja el ajuste del período 1981–2005, donde el modelo alcanza su mayor precisión.

Figura 80.

Regresión simple - Caudales simulados GR4J vs Caudales observados

Regresión Simple - Caudales Simulados GR4J vs. Caudales Observados

Variable dependiente: Caudales Simulados GR4J

Variable independiente: Caudales Observados

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	12.0267	0.602332	19.9669	0.0000
Pendiente	0.850814	0.00350069	243.042	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1.36672E8	1	1.36672E8	59069.37	0.0000
Residuo	3.04189E7	13147	2313.76		
Total (Corr.)	1.67091E8	13148			

Coefficiente de Correlación = 0.904406

R-cuadrada = 81.795 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.7936 por ciento

Error estándar del est. = 48.1015

Error absoluto medio = 30.0067

Estadístico Durbin-Watson = 0.141261 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.929168

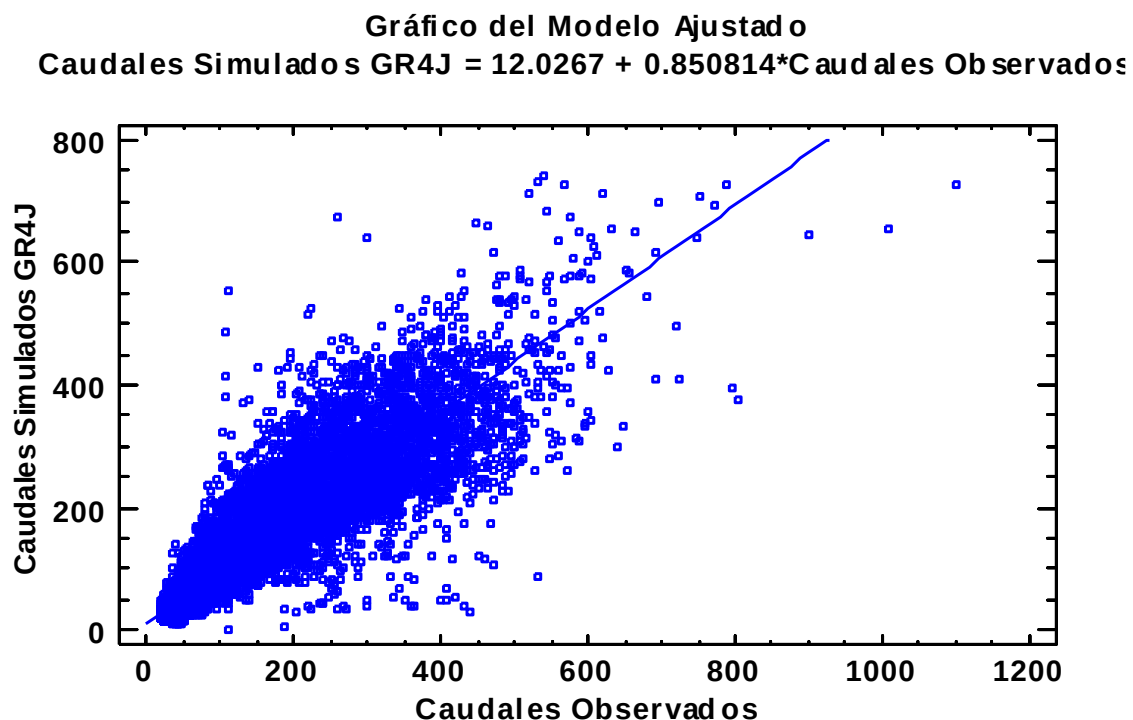
Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

La regresión lineal simple entre los caudales simulados por el modelo GR4J y los caudales observados en la estación hidrométrica del Km 105 mostró un coeficiente de correlación de 0.90, lo que refleja una relación lineal positiva y fuerte. El coeficiente de determinación ($R^2 = 81.79\%$) indica que gran parte de la variabilidad de los caudales simulados es explicada por los caudales observados, lo que evidencia un ajuste adecuado del modelo. La pendiente cercana a la unidad (0.85) confirma la capacidad del modelo para representar el comportamiento hidrológico de la cuenca, aunque se observa una ligera tendencia a subestimar los caudales altos. El intercepto

(12.02) señala la existencia de un sesgo positivo, ya que el modelo sobreestima los valores bajos de caudal. El modelo resultó estadísticamente significativo ($p < 0.05$), confirmando la validez de la relación establecida. Sin embargo, los errores obtenidos (error estándar del estimado = 48.10 y error absoluto medio = 30.01) muestran cierta dispersión en los resultados, lo que sugiere que el modelo no reproduce con exactitud todos los valores extremos. Finalmente, el estadístico Durbin-Watson (0.14) reveló la presencia de autocorrelación positiva en los residuos, lo que indica dependencia temporal en los errores, una condición frecuente en series de caudales hidrológicos. A pesar de ello, el ajuste obtenido puede considerarse satisfactorio, permitiendo concluir que el modelo GR4J representa adecuadamente la dinámica de los caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco (Elaboración propia).

Figura 81.

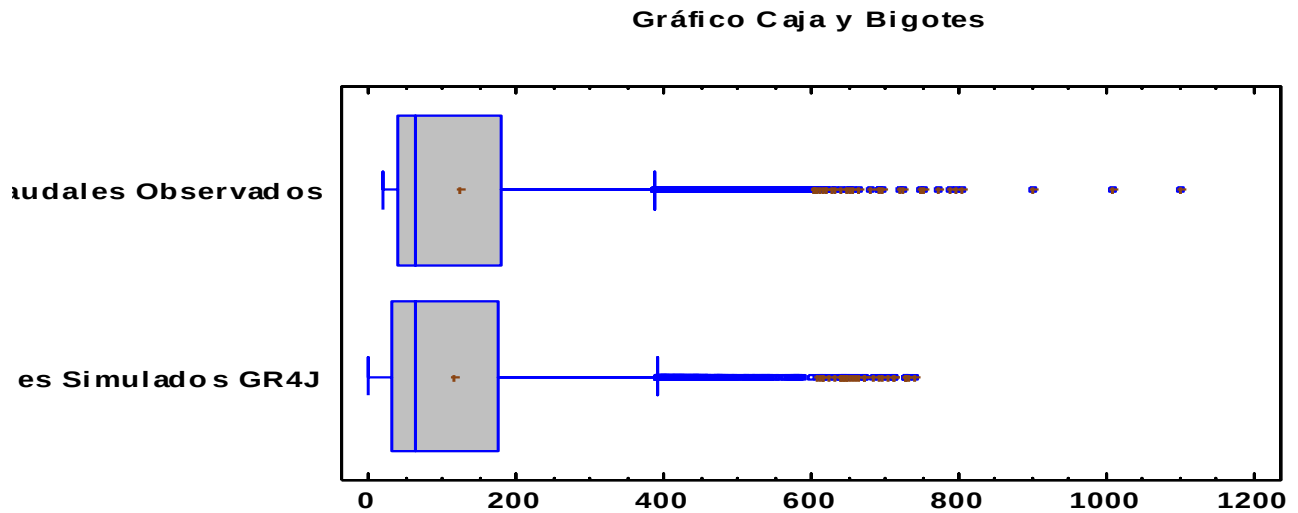
Gráfico del modelo ajustado - Caudales simulados GR4J vs Caudales observados



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 82.

Gráfico de caja y bigotes - Caudales observados vs Caudales simulados GR4J

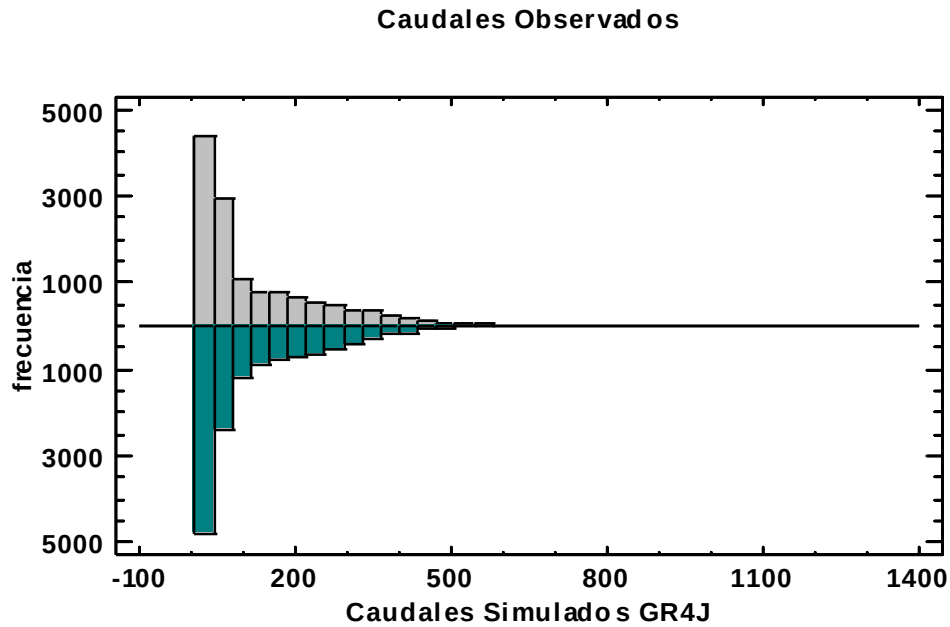


Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

El gráfico comparativo entre los caudales observados y los simulados mediante el modelo GR4J permite evaluar visualmente el grado de ajuste alcanzado. Cuando la distribución de los datos (cajas y líneas) es similar en ambos conjuntos, se evidencia que el modelo reproduce adecuadamente la dinámica hidrológica observada. En cambio, diferencias marcadas entre ambas distribuciones indicarían limitaciones del modelo y la necesidad de realizar ajustes adicionales en el proceso de calibración.

Figura 83.

Histograma de Frecuencia - Caudales observados vs Caudales simulados GR4J



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

5.5.5. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados SAC-SMA

Se aplicó un análisis de correlación entre los caudales observados y los caudales simulados mediante el modelo SAC-SMA, utilizando el software Statgraphics. Este procedimiento permitió medir la intensidad de la relación lineal entre ambas series, cuyos resultados evidencian el nivel de ajuste alcanzado por el modelo y su efectividad para reproducir la dinámica hidrológica registrada en la estación del Km 105.

Tabla 54.

Resumen Estadístico - Caudales observados vs Caudales simulados SAC-SMA

	Caudales Observados	Caudales Simulados SAC-SMA
Recuento	13149	13149
Promedio	123.476	114.4805
Mediana	63.500	59.2036

Desviación Estándar	119.833	91.749
Mínimo	19.500	18.742
Máximo	1100.000	1570.54
Rango	1080.500	1566.35

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

El análisis estadístico entre los caudales observados y los simulados mediante el modelo SAC-SMA evidencia una adecuada representación de la dinámica hidrológica de la cuenca, aunque con ciertas limitaciones. Los promedios ($123.48 \text{ m}^3/\text{s}$ en los observados y $114.48 \text{ m}^3/\text{s}$ en los simulados) y las medianas (63.5 y $59.20 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente) muestran valores muy próximos, lo que indica que el modelo reproduce de manera satisfactoria los caudales característicos o más frecuentes. No obstante, la desviación estándar de los simulados es menor que la de los observados, reflejando que el modelo tiende a suavizar la variabilidad general del sistema. En particular, se aprecia una sobreestimación del caudal máximo puntual, dado que las simulaciones alcanzan $1570.54 \text{ m}^3/\text{s}$ frente a los $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ observados, aun cuando, en términos de balance global, el modelo subestima ligeramente los volúmenes (Bias Score de $0.86\text{--}0.93$). De igual modo, el modelo genera valores mínimos más bajos que los registrados en la realidad. En conjunto, los resultados muestran que SAC-SMA captura de forma aceptable el comportamiento general de los caudales, aunque presenta limitaciones para reproducir con precisión las crecidas y estiajes más severos (Elaboración propia).

Figura 84.

Regresión simple - Caudales simulados SAC-SMA vs Caudales observados

Regresión Simple - Caudales Simulados SAC-SMA vs. Caudales Observados

Variable dependiente: Caudales Simulados SAC-SMA

Variable independiente: Caudales Observados

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	19.952	0.651459	30.6267	0.0000
Pendiente	0.603589	0.00378621	159.418	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	6.87849E7	1	6.87849E7	25414.05	0.0000
Residuo	3.55832E7	13147	2706.57		
Total (Corr.)	1.04368E8	13148			

Coefficiente de Correlación = 0.811825

R-cuadrada = 65.906 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 65.9034 por ciento

Error estándar del est. = 52.0247

Error absoluto medio = 32.9672

Estadístico Durbin-Watson = 0.345301 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.827208

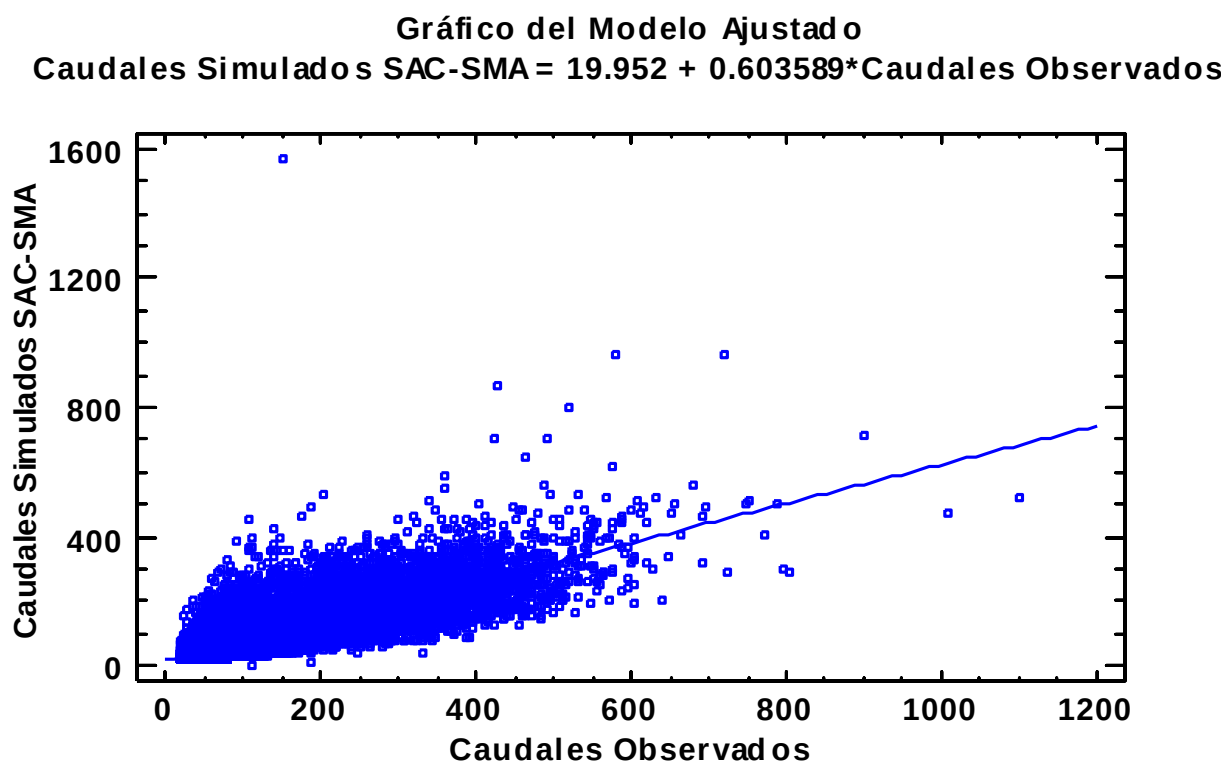
Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

La regresión lineal simple entre los caudales simulados por el modelo Sacramento (SAC-SMA) y los caudales observados en la estación hidrométrica del Km 105 evidenció un coeficiente de correlación de 0.81, lo que refleja una relación positiva y fuerte, aunque menor respecto a la obtenida con el modelo GR4J. El coeficiente de determinación ($R^2 = 65.90\%$) indica que el Sacramento explica aproximadamente dos tercios de la variabilidad de los caudales observados, lo cual representa un ajuste moderado. La pendiente de 0.60, alejada de la unidad, señala que el modelo subestima los valores altos de caudal, mientras que el intercepto (19.95) refleja un sesgo positivo considerable, con tendencia a sobreestimar los caudales bajos. El modelo resultó estadísticamente significativo ($p < 0.05$); sin embargo, los errores fueron elevados (error estándar = 52.04 y error absoluto medio = 32.97), lo que evidencia una mayor dispersión de los datos simulados respecto a los observados. Por otra parte, el estadístico Durbin-Watson (0.34) puso en evidencia una fuerte autocorrelación positiva en los residuos, lo que indica dependencia temporal

en los errores. En consecuencia, aunque el modelo Sacramento logra reproducir la dinámica general de los caudales, su desempeño es menos consistente que el del modelo GR4J en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco (Elaboración propia).

Figura 85.

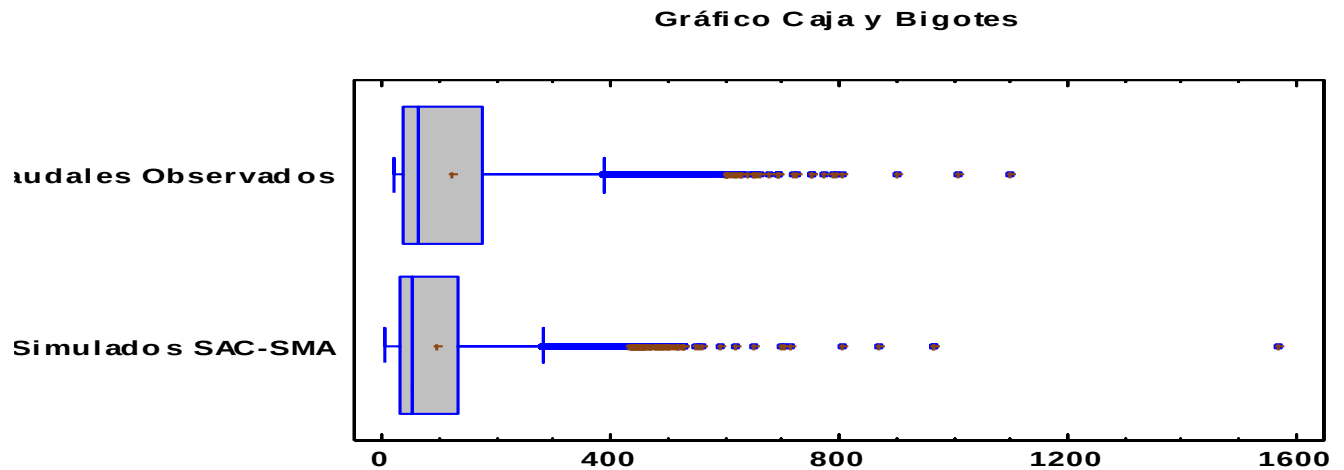
Gráfico del modelo ajustado - Caudales simulados SAC-SMA vs Caudales observados



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

Figura 86.

Gráfico de caja y bigotes - Caudales observados vs Caudales simulados SAC-SMA

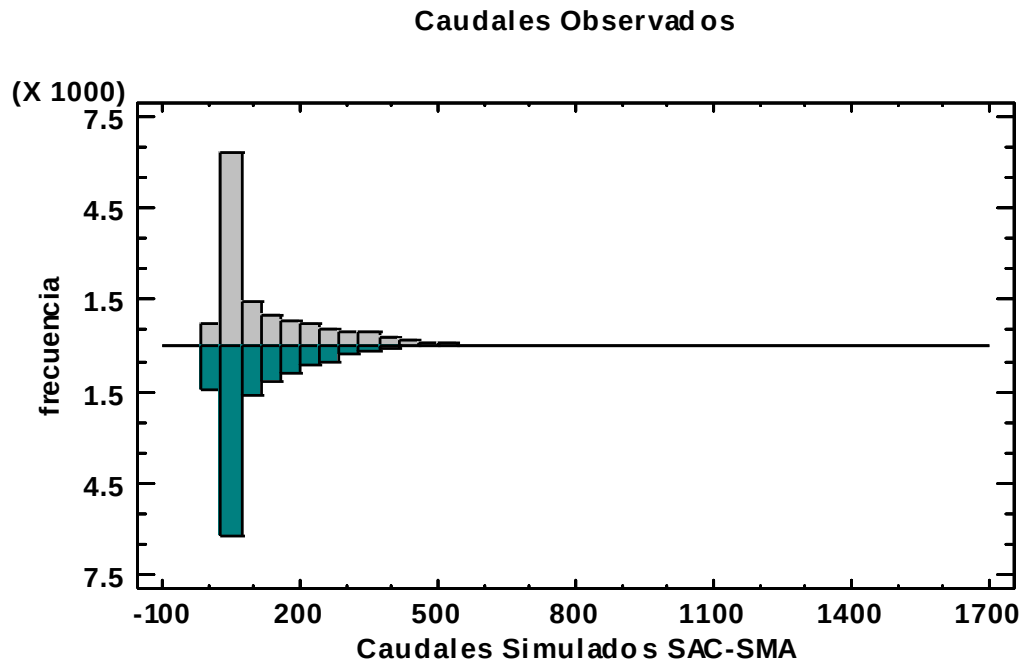


Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

El gráfico comparativo entre los caudales observados y los simulados mediante el modelo SAC-SMA permite evaluar visualmente el grado de ajuste alcanzado. Cuando la distribución de los datos (cajas y líneas) es similar en ambos conjuntos, se evidencia que el modelo reproduce adecuadamente la dinámica hidrológica observada. En cambio, diferencias marcadas entre ambas distribuciones indicarían limitaciones del modelo y la necesidad de realizar ajustes adicionales en el proceso de calibración.

Figura 87.

Histograma de Frecuencia - Caudales observados vs Caudales simulados SAC-SMA



Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

5.6. Análisis comparativo del desempeño de los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J

Se evaluó y comparó el desempeño de los modelos SAC-SMA y GR4J para el periodo de calibración y validación (1981–2016). La comparación se basó en los indicadores establecidos en esta investigación: Nash, Nash-ln, Pearson, KGE y Bias Score. Los resultados muestran que GR4J presenta un desempeño global superior al de SAC-SMA en la mayoría de los criterios evaluados.

Nash y Nash-ln: GR4J obtuvo valores consistentemente mayores de Nash y Nash-ln en los periodos de calibración y validación. Esto indica una mejor reproducción tanto de la magnitud de los caudales diarios (Nash) como de la dinámica relativa de los eventos de baja magnitud (Nash-ln).

Pearson: GR4J muestra mayor correlación con las series observadas; sus hidrogramas simulados siguen con mayor fidelidad el patrón temporal de aumentos y caídas del río.

KGE: El indicador KGE confirma la superioridad de GR4J al combinar correlación, sesgo y variabilidad; GR4J muestra generalmente mejores componentes de correlación y menor sesgo total.

Bias Score: GR4J presenta sesgos más reducidos y estables entre periodos (calibración y validación), mientras que SAC-SMA registró una mayor dispersión del sesgo en varios subperiodos de prueba.

Tabla 55.

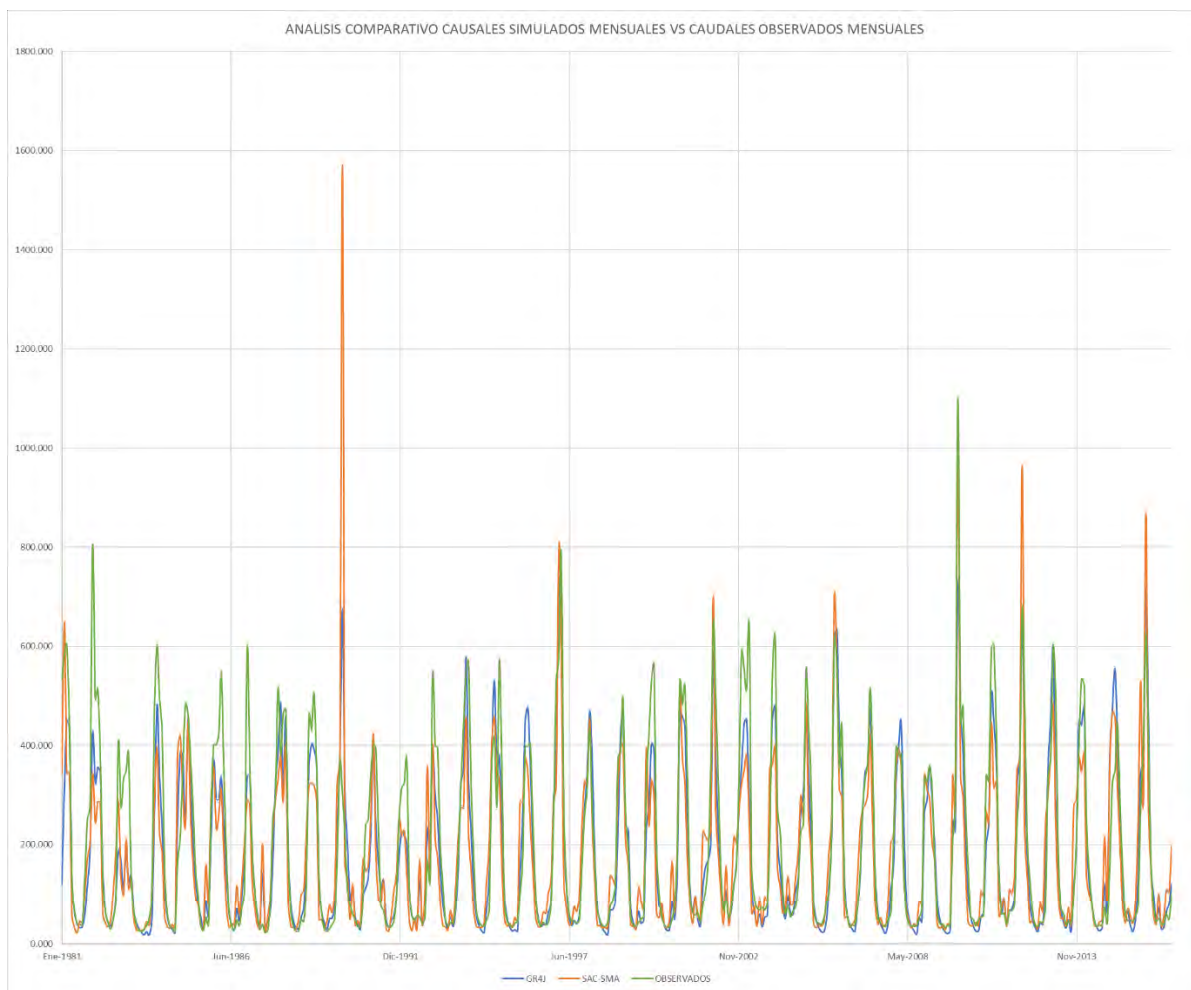
Indicadores de desempeño de los modelos hidrológicos

CUADRO COMPARATIVO (1981-2016)		
INDICADOR	GR4J	SAC-SMA
Nash	0.81	0.62
Nash-In	0.87	0.74
Pearson Correlation Coeff	0.90	0.83
Kling-Gupta Efficiency	0.89	0.71
Bias Score	1.00	0.90

Fuente. Elaboración propia

Figura 88.

Análisis comparativo de caudales simulados SAC-SMA, GR4J y caudales observados



Elaboración propia

5.7. Análisis complementario de los caudales observados y caudales simulados en el periodo 2017-2024

5.7.1. Datos de entrada

5.7.1.1. Precipitación

El producto POWER NASA hizo posible obtener una representación de la precipitación en la cuenca de estudio desde el año 2017 al 2024. Este insumo resultó clave para realizar la simulación del modelo GR4J y SAC-SMA en este periodo. Para el análisis se consideraron datos procedentes de 9 estaciones virtuales meteorológicas.

Tabla 56.*Precipitaciones medias anuales del año 2017-2024 de las 9 estaciones*

AÑO	EST-V1	EST-V2	EST-V3	EST-V4	EST-V5	EST-V6	EST-V7	EST-V8	EST-V9
2017	1.802	1.837	1.837	1.886	2.126	2.151	2.178	2.178	1.661
2018	1.670	1.889	1.889	1.889	2.289	2.283	2.289	2.289	1.922
2019	1.824	1.861	1.861	1.861	2.095	2.095	2.095	2.095	1.641
2020	1.618	1.519	1.520	1.623	1.641	1.641	1.641	1.641	1.368
2021	1.431	1.453	1.453	1.434	1.747	1.747	1.746	1.744	1.387
2022	1.396	1.249	1.252	1.252	1.489	1.489	1.489	1.489	1.172
2023	1.147	1.141	1.116	1.146	1.722	1.673	1.673	1.647	1.214
2024	1.429	1.388	1.374	1.374	1.616	1.607	1.616	1.616	1.280

Fuente. Elaboración propia

5.7.1.2. Temperatura

El producto POWER NASA hizo posible obtener una representación de la temperatura en la cuenca de estudio desde el año 2017 al 2024. Este insumo resultó clave para realizar la simulación del modelo GR4J y SAC-SMA en este periodo. Para el análisis se consideraron datos procedentes de 9 estaciones virtuales meteorológicas.

Tabla 57.*Temperaturas medias anuales del año 2017-2024 de las 9 estaciones*

AÑOS	EST-V1	EST-V2	EST-V3	EST-V4	EST-V5	EST-V6	EST-V7	EST-V8	EST-V9
2017	13.74	8.47	8.47	8.47	5.20	5.20	5.20	5.20	6.27
2018	13.48	7.99	7.99	7.99	4.51	4.51	4.51	4.51	5.58
2019	13.83	8.57	8.57	8.57	5.24	5.24	5.24	5.24	6.24
2020	14.05	8.61	8.61	8.61	5.29	5.29	5.29	5.29	6.40
2021	13.62	8.26	8.26	8.26	5.00	5.00	5.00	5.00	6.16
2022	13.80	8.83	8.83	8.83	5.44	5.44	5.44	5.44	6.34
2023	14.57	9.34	9.34	9.34	5.93	5.93	5.93	5.93	7.13
2024	14.75	9.48	9.48	9.48	6.22	6.22	6.22	6.22	7.46

Fuente. Elaboración propia

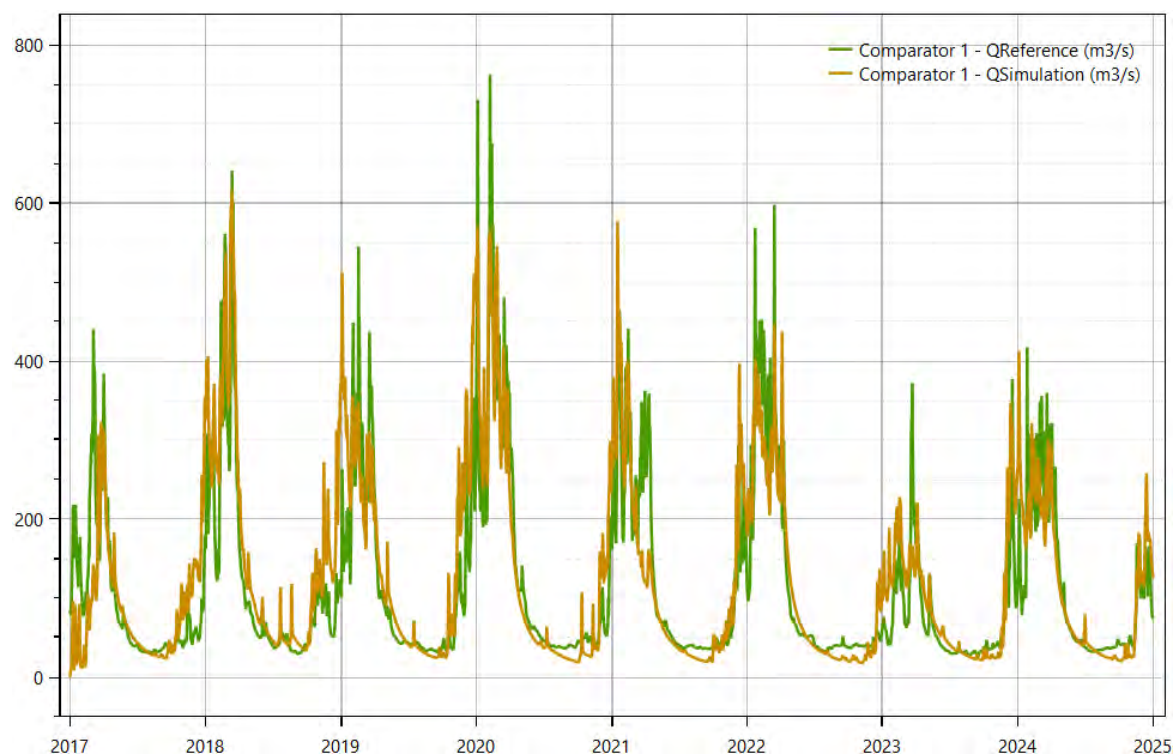
5.7.2. Comportamiento hidrológico

5.7.2.1. Modelo GR4J

Para el periodo 2017–2024, usando forzantes alternativos no validados y los parámetros calibrados en 1981–2016, las simulaciones muestran un comportamiento hidrológico comparable en términos generales. Para el modelo GR4J, por ejemplo, para los indicadores de Pearson, KGE y Bias Score dan valores por encima de 0.80. Estos resultados se interpretan como indicativos de la estabilidad del modelo ante forzantes alternativos, pero no como una validación del periodo 2017–2024 debido a la ausencia de homologación de las series climáticas empleadas.

Figura 89.

Caudales observados vs. Caudales simulados complementarios



Fuente. Elaboración propia

Tabla 58.

Parámetros estadísticos (indicadores) del modelo GR4J, periodo complementario

Parámetros estadísticos	Periodo complementario (01/01/2017 – 31/12/2024)
Nash	0.71
Nash-ln	0.68
Pearson Correlation Coeff	0.86
Kling-Gupta Efficiency	0.85
Bias Score	0.99

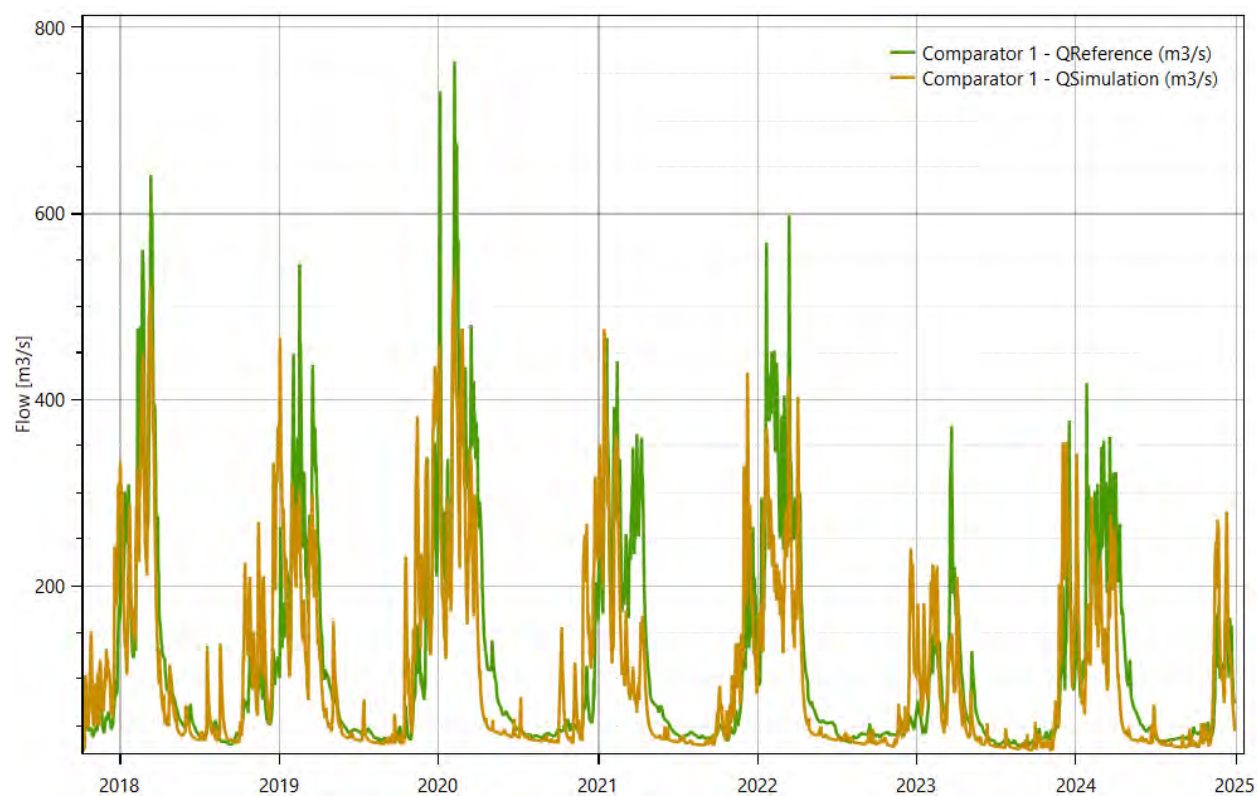
Fuente. Elaboración propia

5.7.2.2.Modelo SAC-SMA

Para el periodo 2017–2024, usando forzantes alternativos no validados y los parámetros calibrados en 1981–2016, las simulaciones muestran un comportamiento hidrológico comparable en términos generales. Para el modelo SAC-SMA, por ejemplo, para los indicadores de Pearson, KGE y Bias Score dan valores por encima de 0.70; este representa un valor optimo considerando que en la calibración y validación con data validada también se tienen valores cercanos a estos. Estos resultados se interpretan como indicativos de la estabilidad del modelo ante forzantes alternativos, pero no como una validación del periodo 2017–2024 debido a la ausencia de homologación de las series climáticas empleadas.

Figura 90.

Caudales observados vs. Caudales simulados complementarios



Fuente. Elaboración propia

Tabla 59.

Parámetros estadísticos (indicadores) del modelo SAC-SMA, periodo complementario

Parámetros estadísticos	Periodo complementario (01/01/2017 – 31/12/2024)
Nash	0.60
Nash-ln	0.66
Pearson Correlation Coeff	0.79
Kling-Gupta Efficiency	0.76
Bias Score	0.98

Fuente. Elaboración propia

En ambos modelos las series simuladas para 2017–2024 mantienen la tendencia general y la magnitud de caudales observada en el periodo validado. Estos resultados se interpretan como una señal de robustez del esquema frente al uso de datos alternativos; sin embargo, debe enfatizarse

su carácter exploratorio: no se realizó corrección ni homologación de sesgos sobre las series 2017–2024, por lo que estos indicadores no constituyen una validación formal del periodo reciente. La comparación se incluye para mostrar que, aun con datos no validados, las simulaciones no se alejan significativamente de los rangos de desempeño obtenidos en la etapa calibrada.

5.7.3. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales

5.7.3.1. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales observados

Se realizó un análisis de los caudales máximos y mínimos desde el año 2017 hasta el año 2024, estos datos fueron tomados en la estación hidrométrica del Km 105.

Los promedios anuales de los caudales registrados en la estación hidrométrica del Km 105 son los siguientes:

Tabla 60.

Promedio anual de caudales máximos y mínimos observados del año 2017-2024

AÑOS	CAUDALES MAXIMOS	CAUDALES MINIMOS
2017	440.165	28.920
2018	641.060	29.410
2019	544.935	29.270
2020	762.920	36.015
2021	465.590	33.365
2022	597.565	31.140
2023	377.145	27.385
2024	417.510	31.960

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

A continuación, se mostrará la tabla de caudales promedio por meses de los caudales observados:

Tabla 61.*Datos promedio de caudales observados mensuales del año 2017-2024*

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	147.46	229.42	170.62	299.04	275.19	253.33	58.19	159.79
Feb	138.25	332.15	330.88	465.80	281.47	377.29	130.98	234.20
Mar	267.25	372.06	279.95	363.74	240.37	318.42	154.88	268.50
Abr	189.99	119.17	134.58	185.68	229.88	167.39	116.61	186.86
May	77.74	64.00	69.37	88.87	71.61	62.99	69.96	72.23
Jun	45.77	53.52	44.33	56.01	49.26	52.34	37.57	44.33
Jul	33.64	44.23	43.02	42.27	38.09	36.08	31.34	33.65
Ago	31.28	41.87	36.32	37.62	39.02	36.67	30.25	35.01
Set	36.46	33.02	33.82	39.74	36.55	40.94	31.14	38.17
Oct	42.53	70.92	41.75	46.72	41.91	39.62	38.14	41.39
Nov	54.35	101.00	93.68	46.73	58.40	40.64	54.10	88.16
Dic	74.69	80.66	208.72	93.56	178.01	48.24	164.02	121.27

Fuente. Tomado de información proporcionado por EGEMSA

Tabla 62.*Resumen estadístico para Caudales Observados de los años 2017-2024*

Resumen Estadístico para Caudales Observados	
Recuento	2922.000
Promedio	115.722
Mediana	59.070
Desviación Estándar	112.002
Mínimo	27.390
Máximo	762.920
Rango	735.530

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

Se observa que el caudal promedio es de 115.722 m³/s, mientras que la mediana (59.070 m³/s) es mucho menor, lo que evidencia un sesgo positivo: pocos eventos extremos elevan la media. La desviación estándar (112.002 m³/s) y el amplio rango (27.390–762.920 m³/s).

5.7.3.2. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales simulados GR4J

Se realizó un análisis de los caudales máximos y mínimos desde el año 2017 hasta el año 2024, estos datos fueron simulados en el modelo GR4J y registrados en la estación hidrométrica del Km 105.

Los promedios anuales de los caudales simulados en el modelo GR4J son los siguientes:

Tabla 63.

Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo GR4J del año 2017-2024

AÑOS	CAUDALES MAXIMOS	CAUDALES MINIMOS
2017	354.838	15.131
2018	615.078	31.882
2019	512.156	23.044
2020	569.618	18.050
2021	576.437	18.676
2022	445.630	17.570
2023	346.542	21.017
2024	412.877	19.221

Fuente. Elaboración propia

A continuación, se mostrará la tabla de caudales promedio por meses de los caudales simulados en el modelo GR4J:

Tabla 64.*Datos promedio de caudales simulados GR4J mensuales del año 2017-2024*

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	38.88	316.26	325.48	354.43	369.85	274.29	120.39	234.16
Feb	49.61	370.13	286.97	457.74	300.88	301.36	179.32	244.86
Mar	183.02	435.28	236.60	330.17	167.43	278.91	137.68	226.23
Abr	184.38	162.13	149.32	147.87	124.62	209.43	132.08	156.77
May	95.32	88.70	95.03	68.34	68.00	82.24	79.31	72.32
Jun	54.58	61.06	53.53	43.56	43.80	48.19	50.97	45.54
Jul	37.00	48.50	41.27	37.78	31.44	33.45	36.52	40.46
Ago	28.09	50.36	30.69	27.51	23.92	26.55	27.97	27.96
Set	27.51	39.56	26.22	21.43	20.41	22.21	23.24	23.33
Oct	56.03	86.69	49.90	31.30	37.33	20.79	26.75	25.30
Nov	101.64	152.38	175.14	43.16	73.07	23.71	44.31	86.05
Dic	178.44	193.07	345.88	171.46	238.61	67.32	241.15	165.24

Fuente. Elaboración propia

Tabla 65.*Resumen estadístico para Caudales Simulados GR4J de los años 2017-2024*

Resumen Estadístico para Caudales Simulados GR4J	
Recuento	2922.000
Promedio	123.626
Mediana	63.7941
Desviación Estándar	117.286
Mínimo	15.131
Máximo	615.078
Rango	599.947

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

El caudal promedio simulado con GR4J es de 123.626 m³/s, mientras que la mediana (63.794 m³/s) es considerablemente menor, lo que evidencia un sesgo positivo: pocos eventos

extremos elevan la media. La desviación estándar (117.286 m³/s) y el amplio rango (15.131–615.078 m³/s).

5.7.3.3. Análisis estadístico descriptivo del comportamiento de los caudales simulados SAC – SMA

Se realizó un análisis de los caudales máximos y mínimos desde el año 2017 hasta el año 2024, estos datos fueron simulados en el modelo SAC - SMA y registrados en la estación hidrométrica del Km 105.

Los promedios anuales de los caudales simulados en el modelo SAC - SMA son los siguientes:

Tabla 66.

Promedio anual de caudales máximos y mínimos simulados en el modelo SAC - SMA del año 2017-2024

AÑOS	CAUDALES MAXIMOS	CAUDALES MINIMOS
2017	308.579	13.181
2018	519.583	30.151
2019	466.301	28.296
2020	530.308	30.355
2021	475.237	27.166
2022	423.989	26.749
2023	354.190	21.437
2024	341.726	24.570

Fuente. Elaboración propia

A continuación, se mostrará la tabla de caudales promedio por meses de los caudales simulados en el modelo SAC - SMA:

Tabla 67.*Datos promedio de caudales simulados SAC - SMA mensuales del año 2017-2024*

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	80.81	208.57	241.71	244.21	302.38	225.19	106.26	142.79
Feb	98.75	284.26	230.71	397.43	212.30	215.59	153.41	193.74
Mar	167.60	319.39	193.46	253.83	100.47	227.06	90.03	171.91
Abr	81.15	76.98	81.69	72.92	100.80	141.52	85.21	81.37
May	35.76	50.58	68.16	42.39	38.52	40.81	40.45	35.55
Jun	23.20	44.30	36.68	40.46	34.64	35.83	30.18	34.95
Jul	21.02	49.59	36.43	39.16	31.61	33.94	28.87	32.84
Ago	20.67	54.09	30.85	33.67	29.52	31.69	25.48	27.37
Set	24.43	33.49	34.19	32.31	29.61	31.60	25.97	28.59
Oct	64.42	121.06	76.55	49.60	56.09	30.75	29.59	32.70
Nov	79.92	140.29	191.32	61.70	99.46	37.08	64.43	129.58
Dic	142.86	169.91	287.38	201.56	215.31	110.67	214.98	126.88

Fuente. Elaboración propia

Tabla 68.*Resumen estadístico para Caudales Simulados SAC - SMA de los años 2017-2024*

Resumen Estadístico para Caudales Simulados SAC - SMA	
Recuento	2922.000
Promedio	100.758
Mediana	49.120
Desviación Estándar	97.806
Mínimo	13.181
Máximo	530.308
Rango	517.127

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

El caudal promedio simulado con SAC-SMA es de 100.758 m³/s, mientras que la mediana (49.120 m³/s) es considerablemente menor, lo que evidencia un sesgo positivo: pocos eventos

extremos elevan la media. La desviación estándar (97.806 m³/s) y el amplio rango (13.181–530.308 m³/s)

5.7.3.4. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados GR4J

Se aplicó un análisis de correlación entre los caudales observados y los caudales simulados mediante el modelo GR4J de los años 2017-2024, utilizando el software Statgraphics.

Tabla 69.

Resumen Estadístico Caudales Observados vs Caudales Simulados GR4J de los años 2017-2024

	Caudales Observados	Caudales Simulados GR4J
Recuento	2922	2922
Promedio	115.722	123.626
Mediana	59.070	63.794
Desviación Estándar	112.002	117.286
Mínimo	27.390	15.131
Máximo	762.920	615.078
Rango	735.530	614.978

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

Figura 91.

Regresión simple - Caudales simulados GR4J vs Caudales observados de los años 2017-2024

Regresión Simple - Caudales Simulados GR4J vs. Caudales Observados

Variable dependiente: Caudales Simulados GR4J

Variable independiente: Caudales Observados

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	19.0207	1.57539	12.0737	0.0000
Pendiente	0.90394	0.009783	92.399	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2.99408E7	1	2.99408E7	8537.58	0.0000
Residuo	1.02403E7	2920	3506.94		
Total (Corr.)	4.0181E7	2921			

Coefficiente de Correlación = 0.863219

R-cuadrada = 74.5147 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.506 por ciento

Error estándar del est. = 59.2194

Error absoluto medio = 40.3555

Estadístico Durbin-Watson = 0.150982 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.924002

Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

La regresión lineal entre los caudales observados y los caudales simulados por el modelo GR4J mostró una relación significativa ($p = 0.000$). La pendiente fue de 0.90394, indicando que el modelo reproduce adecuadamente la variabilidad del caudal, mientras que el intercepto (19.0207) también resultó significativo. El coeficiente de correlación fue 0.863, evidenciando una asociación fuerte entre ambas series. El modelo presentó un R^2 de 74.51 %, lo que indica que gran parte de la variabilidad de los caudales simulados es explicada por los caudales observados. Los residuos muestran autocorrelación (Durbin-Watson = 0.015), propia de series hidrológicas diarias; sin embargo, el ajuste general del modelo es considerado adecuado para fines de simulación hidrológica.

5.7.3.5. Análisis de la correlación entre los caudales observados y caudales simulados SAC - SMA

Se aplicó un análisis de correlación entre los caudales observados y los caudales simulados mediante el modelo SAC - SMA de los años 2017-2024, utilizando el software Statgraphics

Tabla 70.

Resumen Estadístico Caudales Observados vs Caudales Simulados SAC - SMA de los años 2017-2024

	Caudales Observados	Caudales Simulados SAC - SMA
Recuento	2922	2922
Promedio	115.722	100.758
Mediana	59.070	49.120
Desviación Estándar	112.002	97.806
Mínimo	27.390	13.181
Máximo	762.920	530.308
Rango	735.530	529.907

Fuente. Adaptado de STATGRAPHICS

Figura 92.

Regresión simple - Caudales simulados SAC - SMA vs Caudales observados de los años 2017-2024

Regresión Simple - Caudales Simulados SAC-SMA vs. Caudales Observados

Variable dependiente: Caudales Simulados SAC-SMA

Variable independiente: Caudales Observados

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	20.532	1.58238	12.9754	0.0000
Pendiente	0.693267	0.0098264	70.5514	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1.7611E7	1	1.7611E7	4977.50	0.0000
Residuo	1.03313E7	2920	3538.13		
Total (Corr.)	2.79424E7	2921			

Coefficiente de Correlación = 0.793891

R-cuadrada = 63.0263 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 63.0136 por ciento

Error estándar del est. = 59.4821

Error absoluto medio = 40.8186

Estadístico Durbin-Watson = 0.195541 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.901921

Fuente. Tomado de STATGRAPHICS

La regresión entre los caudales observados y los caudales simulados por el modelo SAC-SMA mostró una relación significativa ($p = 0.000$). La pendiente fue de 0.693267, lo que indica que el modelo tiende a subestimar los caudales observados. El intercepto (20.532) también resultó estadísticamente significativo. El coeficiente de correlación ($r = 0.7939$) revela una relación positiva moderada-fuerte entre ambas series. El coeficiente de determinación ($R^2 = 63.03\%$) indica que el modelo explica un 63 % de la variabilidad de los caudales simulados, un ajuste aceptable pero menor en comparación con otros modelos como GR4J. El análisis de los residuos muestra autocorrelación positiva (Durbin-Watson = 0.0196), algo esperado en series temporales hidrológicas. A pesar de ello, el modelo SAC-SMA presenta un desempeño adecuado, aunque con menor capacidad explicativa que el modelo GR4J.

Capítulo VI: Discusión de resultados

La revisión de la literatura especializada indica que las investigaciones previas han aplicado estos modelos hidrológicos, aunque en contextos geográficos y cuencas diferentes a la del presente estudio. Dado que no se han identificado trabajos que utilicen estos modelos específicos (GR4J y SAC-SMA) en la cuenca de estudio de la estación Km 105, esta investigación constituye el primer esfuerzo en este ámbito. Por lo tanto, el análisis y la discusión de los resultados se centrarán en contrastar el desempeño de ambos modelos entre sí, evaluando su aplicabilidad y precisión en las condiciones particulares de la cuenca analizada.

El proceso de recopilación de datos hidrometeorológicos presentó como principal desafío la disponibilidad de registros completos y homogéneos de precipitación y caudal diario. Si bien estudios previos, como el de Astorayme (2015), han recurrido a métodos de completación de datos empleando herramientas como el paquete WATER (Wavelet Transform for Estimating Rainfall), en esta investigación se optó por una estrategia diferente. Se priorizó el uso exclusivo de datos medidos y avalados, evitando la generación de información sintética. Por esta razón, se hizo uso del producto PISCO de SENAMHI, del período inicialmente disponible (1981-2016), se seleccionó la ventana de 1981 a 2005, que ofrecía la mayor integridad en las lecturas. La serie de 25 años resultante se encuentra en el umbral de 25 años sugerido por Ávalos (2020), se consideró que este intervalo representaba el mejor equilibrio entre la extensión temporal y la confiabilidad de los datos observados.

La escasa densidad de estaciones meteorológicas en la zona de estudio por unidad de área representó una limitación significativa. Para subsanar esta dificultad, se implementó la utilización del producto PISCO, mediante el cual se generaron nueve estaciones virtuales distribuidas en puntos estratégicos dentro de la cuenca. Este enfoque permitió incrementar artificialmente la

densidad de datos disponibles, una estrategia que ha sido validada previamente por Fuertes (2020). Dicho autor también resalta que la información provista por PISCO cuenta con rigurosos controles de calidad que aseguran la confiabilidad de sus datos. En coherencia con esta premisa y para verificar la consistencia de la información, en la presente investigación se llevó a cabo un exhaustivo análisis exploratorio de los datos empleando el software R, corroborando así su idoneidad para el modelado hidrológico.

La selección de la información cartográfica constituye una etapa crítica. Aunque Aliaga (2017) sugiere el uso de modelos de elevación digital SRTM (30 m x 30 m) para un análisis detallado del terreno, en el presente estudio se optó, en consonancia con las recomendaciones de Ávalos (2020), por el modelo ALOS PALSAR con una resolución espacial superior de 12.5 m. Esta alternativa, disponible de forma gratuita, ofrece un nivel de detalle significativamente mayor en comparación con el SRTM, lo que resulta fundamental para una delimitación precisa de la cuenca y sus subunidades. La única contrapartida es el mayor volumen de datos, el cual no representa un impedimento operativo sustancial.

Investigaciones como la de Chávez (2016) consideran suficiente un modelo de elevación digital de menor resolución para el análisis morfométrico; no obstante, en la presente investigación la utilización de un modelo de mayor resolución se consideró indispensable para una delimitación más precisa de las subcuencas. No obstante, la carta nacional fue empleada de manera complementaria para el reconocimiento del sistema hidrográfico, permitiendo la identificación y denominación de los principales cuerpos de agua (ríos, lagunas, quebradas), siguiendo la metodología aplicada por Aliaga (2017).

Cabe precisar que la evidencia previa en cuencas peruanas es mixta respecto a la comparación entre modelos parsimoniosos y modelos de mayor complejidad estructural; mientras

Astorayme et al. (2015) reportaron en la cuenca del Chillón un mejor desempeño de los modelos con mayor número de parámetros (HBV y SAC-SMA), Lujano et al. (2020) identificaron al GR4J como el de mejor rendimiento en la cuenca del Ramis, aunque sin incluir al SAC-SMA en su comparación. En este contexto, la superioridad del GR4J hallada en la presente investigación constituye un resultado específico de la cuenca Vilcanota-Urubamba y de las condiciones de información disponibles, y no una regla generalizable; ello refuerza la recomendación de evaluar ambos enfoques de modelación en cada cuenca de aplicación.

A pesar de estas divergencias metodológicas, una conclusión común emerge de la literatura consultada y se corrobora en esta tesis: Los parámetros que demuestran una mayor sensibilidad son, de manera destacada, Pfree (fracción de percolación a acuíferos de zona libre inferior), LZFPM (capacidad de agua libre primaria de la zona inferior) y UZFWM (capacidad de agua libre de la zona superior). En cuanto a la interpretación de los indicadores, López (2020) establece que, para Nash, Nash-In y Pearson, el valor óptimo es la unidad, lo que indica una simulación buena.

Los resultados de este estudio arrojaron coeficientes de Nash-Sutcliffe de 0.80 durante la calibración y 0.78 en la validación del modelo GR4J; y de 0.59 y 0.64, respectivamente para el modelo SAC-SMA. De acuerdo con la escala de valoración convencional, se clasifica como un desempeño “muy bueno” para el modelo GR4J y “satisfactorio” para SAC-SMA. Cabe destacar que estos valores superan, por ejemplo, el resultado de 0.31 (considerado sólo “satisfactorio”) reportado por López (2020). No obstante, investigaciones como las de Fuertes (2020), Ávalos (2020) y Aliaga (2017) han logrado calibraciones con un ajuste “muy bueno”. El hecho de que el SAC-SMA presente un NSE ligeramente superior en validación (0.64) respecto a la calibración (0.59) indica ausencia de sobreajuste y sugiere que el período de validación (2006–2016) presentó

condiciones hidrológicas que el modelo logró representar con mayor facilidad; este comportamiento es un indicador favorable de la robustez de los parámetros calibrados.

Respecto al coeficiente de Pearson, Aliaga (2017) señala que un valor superior a 0.80 indica una correlación lineal aceptable entre los caudales simulados y observados. En este trabajo, se obtuvo 0.90 en calibración y 0.89 en validación para el modelo GR4J; y de 0.82 y 0.83 respectivamente para el modelo SAC-SMA, siendo estos valores satisfactorios. Cabe mencionar que investigaciones de referencia como las antes citadas reportan valores consistentemente superiores a 0.80. Esto refuerza la noción de que es necesario analizar múltiples indicadores de forma conjunta, aunque reconociendo que el coeficiente de Nash suele tener el mayor peso en la evaluación global.

La divergencia en el comportamiento de los indicadores entre distintos estudios puede atribuirse a factores como la calidad de los datos y el conocimiento hidrológico de la cuenca. Sin embargo, el factor principal radica en la idoneidad inherente de cada modelo para representar los procesos hidrológicos específicos de una cuenca determinada, como se demuestra al comparar los trabajos de Chávez (2016) y Aliaga (2017). En conclusión, si bien el modelo SAC-SMA no alcanzó valores excelentes en todos los indicadores, su desempeño se considera aceptable y aplicable para la simulación hidrológica en la cabecera de la cuenca del río Vilcanota, confirmando su utilidad práctica en este contexto geográfico específico.

Tabla 71.

Análisis comparativo de parámetros estadísticos de calibración de modelos simulados

	GR4J	SAC-SMA
Parámetros estadísticos	Calibración (01/01/1981 – 31/12/2005)	Calibración (01/01/1981 – 31/12/2005)
Nash	0.80	0.59

Nash-ln	0.87	0.72
Pearson Correlation Coeff	0.90	0.82
Kling-Gupta Efficiency	0.86	0.68
Bias Score	0.99	0.86

Fuente. Elaboración propia

Tabla 72.

Análisis comparativo de parámetros estadísticos de validación de modelos simulados

	GR4J	SAC-SMA
Parámetros estadísticos	Validación (01/01/2006 – 31/12/2016)	Validación (01/01/2006 – 31/12/2016)
Nash	0.78	0.64
Nash-ln	0.81	0.72
Pearson Correlation Coeff	0.89	0.83
Kling-Gupta Efficiency	0.89	0.73
Bias Score	1.00	0.93

Fuente. Elaboración propia

CONCLUSIONES

La estimación de caudales fue analizada mediante la implementación de modelos hidrológicos en la plataforma RS Minerve, aplicada a la cuenca del río Vilcanota en Cusco; para ello, el área de estudio se dividió en nueve subcuencas, empleando información de precipitación, evapotranspiración y temperatura. El proceso de calibración se efectuó considerando el periodo comprendido entre el 01/01/1981 y el 31/12/2005, coincidente con los registros de caudales observados en la estación del Km 105; mientras que la validación se desarrolló entre el 01/01/2006 y el 31/12/2016. Adicionalmente, se incorporó un análisis complementario para identificar los indicadores que se obtienen con data no validada. A partir de este procedimiento, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El análisis y simulación de los caudales mediante los modelos hidrológicos Sacramento (SAC-SMA) y GR4J (Génie Rural à 4 Paramètres Journalier) en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025, permitió demostrar que ambos modelos presentan un desempeño adecuado para representar el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Vilcanota, con indicadores estadísticos que confirman la validez de los procedimientos de calibración y validación aplicados, evidenciándose además un desempeño superior del modelo GR4J respecto al Sacramento.
- El modelo hidrológico Sacramento (SAC-SMA) mostró un grado de ajuste satisfactorio en la simulación de caudales de la estación hidrométrica Km 105, alcanzando un coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.59 en calibración y 0.64 en validación, categorizado como "satisfactorio" según Moriasi et al. (2007). Su estructura de dieciséis parámetros permitió representar con mayor detalle conceptual los procesos de

almacenamiento y percolación del suelo, aunque esto implicó una mayor complejidad en el proceso de calibración.

- El modelo hidrológico GR4J presentó un grado de ajuste muy bueno en la simulación de caudales de la estación hidrométrica Km 105, alcanzando un NSE de 0.80 en calibración y 0.78 en validación, reproduciendo correctamente los caudales medios observados. A pesar de su simplicidad estructural (cuatro parámetros), el modelo evidenció una tendencia a subestimar los caudales máximos y a sobreestimar ligeramente los caudales de estiaje, aunque su bajo costo computacional lo consolida como una alternativa eficiente y confiable.
- El análisis de sensibilidad reveló que los parámetros más influyentes difieren según el modelo evaluado: en el GR4J, X3 (capacidad del depósito de enrutamiento) resultó el parámetro más sensible, seguido de X1 (capacidad del depósito de producción); mientras que en el SAC-SMA destacaron Pfree, LZFPM y UZFWM, vinculados directamente a la infiltración, la percolación y la dinámica de los depósitos de agua libre. Esto evidencia que la calibración de ambos modelos debe priorizar aquellos parámetros con mayor incidencia en la respuesta hidrológica de la cuenca.
- La comparación del desempeño entre los modelos GR4J y SAC-SMA, en función de los indicadores estadísticos de eficiencia (NSE, entre otros), evidenció una ventaja clara del modelo GR4J (NSE = 0.80 vs. 0.59), reproduciendo con mayor fidelidad el caudal medio y la dinámica general de la cuenca. No obstante, el GR4J tendió a subestimar los caudales máximos extremos, mientras que el SAC-SMA, pese a subestimar levemente los volúmenes globales, llegó a sobreestimar el caudal máximo puntual, demostrando ambos modelos ser herramientas confiables para la estimación de caudales en la estación Km 105.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el presente estudio incorporando los demás modelos hidrológicos disponibles en el software RS Minerve (SNOW-GSM, GLACIER-GSM, GR3, SWMM, GSM, SOCONT y HBV), con el fin de contrastar su desempeño mediante indicadores estadísticos adicionales (Nash-In, Pearson, BS, KGE) durante las fases de calibración y validación. Este análisis comparativo permitiría identificar el modelo más adecuado para las condiciones particulares de cuencas altoandinas, ampliando así el espectro de herramientas aplicables a la región.
- Se recomienda implementar el modelo GR4J como herramienta principal para el pronóstico de inundaciones en el río Vilcanota, dada su robustez en cuencas altoandinas con disponibilidad limitada de datos, complementando su aplicación con una evaluación comparativa frente a otros modelos de RS Minerve (SOCONT, Sacramento, HBV) bajo el mismo conjunto de datos. Asimismo, se sugiere validar el modelo Sacramento (SAC-SMA) en otras cuencas del país, a fin de evaluar su capacidad de generalización en distintos contextos hidrológicos.
- Se recomienda que el SENAMHI implemente y mantenga una red ampliada de estaciones hidrometeorológicas automáticas en cuencas prioritarias, garantizando el registro continuo y confiable de datos a escala diaria y horaria. Del mismo modo, resulta indispensable dar mantenimiento a las estaciones existentes para asegurar la calidad de la información destinada a la modelación hidrológica. La ampliación de esta red permitiría evaluar con mayor precisión la disponibilidad hídrica en cabeceras de cuenca, mejorar la calibración de los modelos mediante la comparación entre valores simulados y observados, y extender

las series temporales necesarias para sustentar proyectos de aprovechamiento del recurso hídrico.

- Se recomienda que futuras investigaciones realicen la validación y corrección de sesgos de los productos climáticos alternativos (como PISCO u otros datos grillados) antes de emplearlos en simulaciones oficiales. Si bien el análisis exploratorio del periodo 2017-2024 realizado en este estudio sugiere una estabilidad razonable del modelo, se requiere una validación formal que confirme su precisión operativa antes de su uso definitivo.
- Se recomienda realizar una evaluación sistemática y periódica del desempeño de los modelos durante la fase de pronóstico operativo, lo cual permitirá identificar oportunamente los ajustes necesarios en los procesos de calibración y optimizar la adaptación de los modelos a las condiciones cambiantes de la cuenca.
- Se recomienda verificar la presencia de valores extremos —atípicamente altos o bajos— en los registros hidrológicos utilizados, dado que estos pueden originarse en errores de medición o registro y afectar significativamente la dispersión y confiabilidad de los resultados. De identificarse dichos valores, se sugiere sustituirlos por el promedio de las observaciones adyacentes, con el fin de reducir su efecto distorsionador en el análisis.
- Se recomienda, tras el proceso de calibración y validación, revisar sistemáticamente los parámetros obtenidos para ajustarlos con mayor precisión, consultando el manual técnico del software empleado, el cual detalla la función y el rango recomendado de cada variable. Esto garantizará una configuración informada y técnicamente sustentable del modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, C., & Polo, M. J. (2005). *Efectos de escala en la calibración de la conductividad hidráulica saturada en un modelo hidrológico distribuido*. Congreso Internacional Sobre La Zona No Saturada.
- Aliaga Araujo, I. J. (2017). *Modelación hidrológica de la cuenca del rio Huallaga, aguas arriba del punto de control Santa Lorenza*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Burnash, R. J. C. (1995). *The NWS River Forecast System – Catchment Modeling* (V. P. Singh, Ed.). Water Resources Publications.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Daneshvar, F., Bowling, L. C., Cherkauer, K. A., & Moraes, A. G. de L. (2021). *Development of Strategy for SWAT Hydrologic Modeling in Data-Scarce Regions of Peru*. Journal of Hydrologic Engineering, 26(7).
- Foehn, A., García Hernández, J., Roquier, B., & Paredes Arquiola, J. (2014). *RS MINERVE –User’s Manual*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAO/UNESCO Soil Map of the World*. FAO Soils Portal. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>

- García Hernández, J., Paredes Arquiola, J., Foehn, A., & Roquier, B. (2019). *Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río Chillón*. Revista de Investigaciones En Recursos Hídricos (SENAMHI) / RIRH.
- Guillén, J., Marroquín, E., Gil, E., Loaiza, C., & Caminada, N. (1997). *La cuenca del Vilcanota en el sistema amazónico: situación y perspectivas*.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Iparraguirre Huaranga, D. C., & Arias García, L. M. (2018). *Generación de hidrogramas de la subcuenca Chosica empleando la plataforma de modelamiento RS Minerve*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- López Guerrero, J. (2020). *Modelación hidrológica utilizando el software RS Minerve en la subcuenca del río Villalobos enfocado a la gestión de riesgo*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mediero Ordueña, L. (2021). *Hidrología* (L. Mediero Ordueña, Ed.). Ediciones Paraninfo, S. A.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Transactions of the ASABE, 50(3), 885–900.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica?*
- Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology, 279(1–4), 275–289.

- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice Hall.
- Sánchez Bernardo, T. M. (2023). *Modelo hidrológico semidistribuido GR4J para implementar el pronóstico de inundaciones en las subcuencas del río Vilcanota, Cuzco*. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- SENAMHI. (2021). *PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Singh, V. P., & Woolhiser, D. A. (2002a). *Mathematical Modeling of Watershed Hydrology*. Journal of Hydrologic Engineering, 7(4), 270–292. <https://doi.org/10.1061/ASCE1084-069920027:4270>
- Torres, J. E., & Aragón, J. A. (2018). *Investigación en hidrología general, isotópica y aplicada*. Universidad Libre.
- Villón Bejar, M. (2002). *Hidrología*. Primera Edición-MaxSoft.
- Zambrano-Bigiarini, M. (2020). *HydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series*. R Core Team. <https://cran.r-project.org/>
- Zapana Arpasi, J. A. (2019). *Estimación de caudales mediante la aplicación de modelos hidrológicos semidistribuidos con la plataforma RS Minerve en la cuenca del río Ramis, Puno*. Universidad Nacional Del Altiplano de Puno.

ANEXOS

A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo 1. Matriz de consistencia

"ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE CAUDALES EMPLEANDO LOS MODELOS HIDROLOGICOS SACRAMENTO Y GÉNIE RURAL Á 4 PARAMÉTRIS JOURNALIER EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA DEL KM 105, CUSCO 2025"					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HÍPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
P.G: ¿Cuál de los modelos hidrológicos Sacramento o Génie Rural à 4 Paramètres Journalier, presenta un mejor nivel de eficiencia en la simulación de caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025?	O.G: Analizar y simular los caudales mediante los modelos hidrológicos Sacramento y Génie Rural Á 4 Paramètres Journalier en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025.	H.G: El análisis y simulación de los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J presentan un desempeño diferenciado en la simulación de caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025.		ENFOQUE: Cuantitativo	POBLACIÓN DE ESTUDIO: Registros históricos de caudales diarios de la estación hidrométrica del Km 105, Cusco (1981–2024)
P.E.01: ¿Qué nivel de ajuste presentan las simulaciones de caudales realizadas con el modelo hidrológico Sacramento en la estación del Km 105, Cusco 2025?	O.E.01: Determinar el grado de ajuste de las simulaciones de caudales generadas por el modelo hidrológico Sacramento en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.	H.E.01: El modelo hidrológico Sacramento presenta un nivel de ajuste satisfactorio entre los caudales simulados y los observados en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.	INDEPENDIENTE Parámetros del modelo (GR4J y SAC-SMA)	ALCANCE: Descriptivo-Correlacional	
P.E.02: ¿Qué nivel de ajuste presentan las simulaciones de caudales con el modelo hidrológico Génie Rural á 4 paramètres Journalier (GR4J) en la estación del Km 105, Cusco 2025?	O.E.02: Determinar el grado de ajuste de las simulaciones de caudales obtenidas con el modelo hidrológico GR4J en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.	H.E.02: El modelo hidrológico GR4J presenta un nivel de ajuste satisfactorio entre los caudales simulados y los observados en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.	DEPENDIENTE Caudales observados	DISEÑO: No experimental, longitudinal, comparativo	
P.E.03: ¿Qué parámetros resultan más sensibles en la calibración de los modelos hidrológicos Sacramento o GR4J en la simulación de caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025?	O.E.03: Analizar la sensibilidad de los parámetros empleados en la calibración de los modelos Sacramento y GR4J en la simulación de caudales en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.	H.E.03: Los parámetros de calibración de los modelos Sacramento y GR4J muestran una sensibilidad diferenciada, influyendo de manera significativa en la simulación de caudales en la estación Km 105, Cusco 2025.	Caudales Simulados Indicadores de desempeño	SOFTWARES: RS Minerve, QGIS, R, Statgraphics Y Excel.	
P.E.04: ¿Cuál de los modelos hidrológicos Sacramento o GR4J, ofrece una mejor capacidad de correlación de los caudales en la estación hidrométrica del Km 105, Cusco 2025?	O.E.04: Comparar el desempeño de los modelos hidrológicos Sacramento y GR4J en función de su capacidad para representar y correlacionar los caudales en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.	H.E.04: El modelo GR4J ofrece una mejor capacidad de correlación de los caudales respecto al modelo Sacramento en la estación hidrométrica Km 105, Cusco 2025.		INSTRUMENTOS: Ficha de recolección de datos	

Fuente. Elaboración propia

B. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Anexo 2. Solicitud de acceso a la información pública de SENAMHI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"



Cusco, 11 de junio de 2025

Señor,
Ing. ZENÓN HUAMÁN GUTIÉRREZ
DIRECTOR ZONAL DE LA DIRECCIÓN ZONAL 12 CUSCO DEL SENAMHI
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

Presente. –

ASUNTO: Solicita Acceso a Información para Tesis de Investigación

De mi mayor consideración.

Me dirijo a usted en mi calidad de Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con el propósito de autorizar al tesista Hebert Alexander Luna Calachahuin, identificado con DNI N° 75845244, quien se encuentra en la fase de desarrollo de su tesis titulada: "Análisis y Simulación de Caudales Empleando los Modelos Hidrológicos Sacramento y Genie Rural A 4 Paramètres Journalier en la Estación Hidrométrica del Km 105, Cusco 2025", para que pueda realizar las gestiones necesarias con su entidad a fin de solicitar información y datos requeridos para el desarrollo de su investigación.

Para llevar a cabo este estudio, es necesario acceder a la siguiente información técnica de las estaciones:

ESTACIÓN / ZONA	DATOS / PARÁMETROS	PERÍODO
Estación: INTIHUATANA H Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: MACHUPICCHU	Indispensables: 1. Precipitación diaria (mm/día) 2. Caudal observado diario (m³/s) 3. Evapotranspiración diaria (mm/día) 4. Temperatura máxima/mínima mensual (°C) 5. Humedad relativa mensual (%) 6. Velocidad-dirección del viento mensual (m/s) 7. Radiación solar mensual (kJ/m² o W/m²) 8. Presión atmosférica (hPa) 9. Variables de nieve y hielo 10. Nivel de agua (m) 11. Otros (Histogramas, Curvas IDF, Hidrogramas, etc.)	1981 - hasta la actualidad
Estación: MACHUPICCHU Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: MACHUPICCHU		
Estación: INTIHUATANA M Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: MACHUPICCHU		
Estación: PACAYMAYO Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: MACHUPICCHU		
Estación: QORIHUAYRACHINA Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: MACHUPICCHU		
Estación: HUAYLLABAMBA Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: MACHUPICCHU		
Estación: CHILCA Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: OLLANTAYTAMBO		
Estación: URUBAMBA Dep.: CUSCO Prov.: URUBAMBA Dist.: URUBAMBA		
	De tener la información: 12. Cobertura y uso del suelo 13. Características del suelo	

La información solicitada deberá ser remitida al correo electrónico: hebertalexanderluna@gmail.com
Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Agradeciendo la atención que se sirva brindar a la presente, hago propicia la ocasión para expresarle mis consideraciones distinguidas.

Atentamente:

DFIC: JFSF/acer:
C.c.:
Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO SERRANO FLORES
DECANO

Av. de la Cultura N°733. Telf. 224905 Central Telf. 232398, 604100, Anexos: 1265, 1266 y 1267. Pág. Web: <http://ci.unsaac.edu.pe/>

Fuente. Elaboración propia

Anexo 3. Seguimiento del documento

Seguimiento del documento

PROVEIDO 003521-2025-UACGD -> DIRECCION ZONAL 12
PROVEIDO 000082-2025-DZ12 -> UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL
PROVEIDO 003534-2025-UACGD -> UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL
PROVEIDO 003601-2025-UACGD -> SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS

Remitente

Nº Exp.: 2025-0006758
Tipo Doc.: PROVEIDO Nro Doc.: 003601-2025/UACGD
Fecha Emi.: 2025-06-18 10:39:00 Elaboró: GAMARRA CHAVARRY LUIS FELIPE
Emisor: UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - DIAZ MENDOZA ROBERTO
Asunto: SOLICITUD DE DATOS CON FINES ACADÉMICOS
Estado: RECIBIDO [Abrir Documento](#) [Documentos anexos](#)

Destinatario

Dependencia: SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - CORREA MARROU KRIS MILAGROS
Receptor: CORREA MARROU KRIS MILAGROS
Estado: DERIVADO Fecha Rec.: 18/06/2025 10:40 Fecha At.:
Trámite: ATENDER Prioridad: NORMAL Indicaciones: SOLICITUD DE PROCESO

[Cerrar](#)

Fuente. Tomado de SENAMHI

Anexo 4. Solicitud de procesamiento de información en SENAMHI



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Unidad de atención al ciudadano y gestión documental

Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana

SOLICITUD DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION PARA ESTUDIANTES O INSTITUCIONES PÚBLICAS

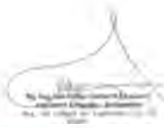
SOLICITANTE: TESISTA HEBERT ALEXANDER LUNA CALACHAHUIN

FECHA DE ENTREGA: 18-06-2025

EXP: 06758

Código / Estación	Parámetros	Escala	Periodo
472935F2/nthuatana	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
472897F0/Machupicchu	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
472852EE/nthuatana	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
4729950A/Pacaymayo	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
4729867C/Qqñhuayrachina	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
4727C11E/Huaylabamba	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
472A9204/Chilca	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025
113255/Urubamba	Precipitación, Caudal observado, evapotranspiración, temperatura máxima, diaria, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, presión atmosférica, nivel de agua.	Horaria	1981 - 2025

Correo electrónico: lgamarra@senamhi.gob.pe



Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana

Tiempo estimado: _____

Sub Dirección de Gestión de Datos

Ing. LUIS GAMARRA CHAVARRY

Unidad de atención al ciudadano y Gestión documental

Fecha: 18.06.2025

Fuente. Elaboración propia

235

Fuente. Tomado de EGEMSA

236

Anexo 6. Mesa de partes EGEMSA

1 de 2

Mesa de partes

Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.

Respuesta 2289 de 2289
Código: kx0h4qwon **Fecha de envío:** 24 sep 2025 12:43

Información del solicitante

1. Persona natural o jurídica: Persona natural

1.1. Tipo de documento de identidad - Número de documento de identidad:
DNI - 74153055

1.2. Nombres: Vladimir Rivaldo

1.3. Apellido paterno: Paquillo

1.4. Apellido materno: Sinchi

1.5. Dirección actual:
Pregunta 5 Departamento: Cusco
Pregunta 5 Provincia: Anta
Pregunta 5 Distrito: Anta

1.6. Escribe la dirección: CC. Haparquilla S/N

2. Correo electrónico de contacto: 174858@unsaac.edu.pe

3. Teléfono o celular de contacto: 952213292

Descripción de la solicitud o trámite

4. Asunto de la solicitud o trámite: INFORMACION HIDROMÉTRICA DE CAUDALES HISTÓRICOS EN LA ESTACIÓN DEL KM 105

5. Descripción de la solicitud o trámite: SOLICITO LA INFORMACION DE CAUDALES REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA DEL KM 105 DEL TRAMO OLLANTAYTAMBO-MACHUPICCHU DE LA PROVINCIA DE URUBAMBA, DESDE EL AÑO 1981-ACTUALIDAD, (CAUDALES DIARIOS, MENSUALES, ANUALES Y LOS HISTOGRAMAS, CURVAS IDF, HIDROGRAMAS, ETC.) PARA LA REALIZACIÓN DE UNA TESIS DE INVESTIGACIÓN DE PRE-GRADO

Documentos de sustento (opcional)

6. Adjunta los documentos que sustenten tu solicitud: [SOLICITUD EGEMSA - VLADIMIR RIVALDO PAQUILLO SINCHI.pdf](#)

7. Si tus archivos pesan más de 10 MB, puedes dejarnos un link de descarga:

Este documento ha sido generado para el uso interno de Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A., por lo que no debe utilizarse para otro fin que no esté relacionado al formulario de Mesa de partes.

 **gob.pe** | Familia Peru

Fuente. Tomado de EGEMSA

Anexo 7. Cargo de expediente de entrega de información



FECHA Y HORA IMPRESIÓN:
24/09/2025 - 01:04 P. M.

CARGO DE DOCUMENTOS INGRESADOS

EXPEDIENTE: 20251211003029

FECHA Y HORA DE INGRESO:

24/09/2025 01:04:55 P. M.

REMITENTE:

PAQUILLO SINCHI, VLADIMIR RIVALDO

DIRECCIÓN:

CC. HAPARQUILLA S/N - ANTA - ANTA - CUSCO

RUC/DNI/OTRO:

74153055

TIPO DE DOCUMENTO:

CORREO ELECTRÓNICO

NÚMERO DE DOCUMENTO:

S/N - 01 FOLIO - REG. 1700 - MESA PARTES
DIGITAL (PCM-FACILITA)

ASUNTO:

SOLICITO INFORMACIÓN DEL REGISTRO DE
CAUDALES (REGISTRO DIAR...

Fuente. Tomado de EGEMSA

Anexo 8. Solicitud de información de registro de caudales



Firmado Digitalmente por:
TANCO POMPILLA Paul George
20210339167 soft
Razón: SOY AUTOR DEL DOCU
Ubicación: EGEMSA
Fecha: 07/10/2025 09:21:48

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Cusco, 07 de octubre de 2025

GP-GS-0012-2025 Expediente : 20251211003029

Señor(a)
PAQUILLO SINCHI VLADIMIR RIVALDO
CC: HAPARQUILLA S/N
Anta - Anta
Cusco, C

Asunto : SOLICITA INFORMACIÓN DEL REGISTRO DE CAUDALES

Referencia : a) S/N - 01 FOLIO - REG. 1700 - MESA PARTES DIGITAL (PCM-FACILITA)

De mi consideración:

Mediante la presente me dirijo a usted, en atención al documento de referencia, para manifestarle que, en el marco del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806 – Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, y su Reglamento, se remite la información solicitada, referida a:

"Registro de caudales (registro diario, promedio mensual, gráficos, etc.) de la estación hidrométrica del km 105 del tramo Ollantaytambo – Machupicchu, provincia de Urubamba, desde el año 1981 a la actualidad."

Por el tipo y volumen de información, esta será remitida mediante correo electrónico, en un archivo Excel que contiene los registros disponibles en los archivos institucionales.

Se deja constancia de que EGEMSA no cuenta con gráficos ni elaboraciones adicionales a los registros remitidos, por lo que se proporciona únicamente la información existente en nuestros archivos.

Atentamente,

PAIL GEORGE TANCO POMPILLA
RESPONSABLE DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA DE EGEMSA (SUPLENTE)

PAUL GEORGE TANCO POMPILLA
PROFESIONAL DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN



Según lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM, Puede validar la autenticidad e integridad del documento generado a través del código QR ubicado en la parte inferior izquierda del presente documento o colocando la siguiente dirección en la barra del navegador: <http://sigadd.egemsa.com.pe/SistemaCualitativoVerificacion> e ingresando la siguiente clave USERP.

Para un próximo trámite, señalar el número de expediente: 20251211003029

1 de 1

Fuente. Tomado de EGEMSA

Anexo 9. Información de caudales históricos 1958-2025

REGISTRO DE CAUDALES HISTORICOS PROMEDIO MENSUALES RIO VILCANOTA ESTACION KM-105

Variable: Caudal (m3/s)

Periodo: 1958-2025

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1958	282.194	325.946	260.742	103.050	60.565	38.150	30.081	30.048	29.333	34.500	44.033	91.694
1959	110.177	244.317	308.035	164.612	72.663	48.185	37.090	31.352	27.871	40.369	58.758	142.405
1960	390.359	474.595	184.342	152.391	78.716	48.940	37.414	33.523	33.646	39.065	86.248	120.314
1961	228.437	307.430	351.980	201.430	104.232	57.635	40.876	34.157	31.492	34.596	97.675	229.248
1964	162.500	216.563	264.234	158.738	77.536	47.906	36.687	30.806	32.375	37.191	49.204	63.235
1965	117.272	256.129	305.033	167.333	72.948	43.791	35.659	29.276	35.014	40.478	40.461	170.434
1966	187.234	277.268	242.815	85.543	63.337	38.358	32.012	29.941	32.723	58.275	88.115	115.052
1967	115.052	169.132	346.604	145.704	64.543	44.150	36.021	30.518	31.130	57.168	54.446	156.851
1968	177.864	402.350	327.910	157.758	63.750	43.012	39.586	32.144	29.473	38.552	88.605	115.846
1969	200.135	286.787	231.232	168.028	64.231	42.382	34.734	28.956	28.218	38.864	48.745	95.926
1970	213.974	234.544	271.620	198.679	80.255	44.902	32.444	28.302	29.335	35.527	44.200	154.968
1971	268.729	476.223	298.927	150.075	68.169	44.435	33.806	29.355	27.556	33.519	37.069	92.502
1972	268.311	216.766	228.914	157.311	65.706	37.213	31.008	27.991	28.260	31.419	47.847	124.906
1973	307.703	383.523	381.431	262.619	106.063	51.287	38.097	31.169	30.307	36.186	53.990	88.280
1974	280.181	490.378	398.734	177.033	68.968	45.220	31.839	33.153	30.584	32.645	38.631	60.734
1975	126.650	328.777	293.218	132.200	71.952	38.217	27.887	24.960	23.942	30.431	37.481	120.089
1976	310.597	299.078	271.831	134.750	59.855	39.342	29.645	24.790	36.358	33.161	34.983	52.460
1977	127.363	182.643	269.661	127.967	45.935	29.350	25.508	23.234	23.025	28.992	68.575	75.452
1978	318.226	332.429	271.637	159.817	68.395	36.892	26.726	22.129	21.858	23.984	45.225	155.000
1979	305.976	309.911	298.379	165.492	65.556	35.642	27.032	27.040	31.344	34.969	67.327	114.379
1980	186.585	278.587	284.627	161.925	66.826	41.441	30.960	27.558	25.972	46.376	63.441	92.464
1981	320.438	342.696	372.887	236.700	94.469	51.825	36.839	32.806	29.583	68.274	129.933	193.024
1982	497.468	307.357	375.524	215.170	86.411	52.550	37.016	28.919	29.408	44.653	162.286	187.726
1983	208.637	210.518	162.742	98.117	51.710	31.350	26.048	24.081	26.192	31.710	43.617	57.457
1984	274.702	413.164	322.500	231.758	91.565	47.650	30.411	26.363	22.320	56.758	142.658	206.097
1985	291.210	282.830	271.516	204.550	104.881	61.342	31.395	24.219	30.542	31.605	126.525	160.424
1986	259.210	300.152	426.839	226.617	109.684	49.233	32.226	26.169	27.933	29.766	46.392	72.426
1987	326.581	241.384	128.210	78.675	41.145	27.583	27.040	21.661	23.033	34.339	84.233	163.024
1988	270.129	252.931	284.040	306.858	102.185	44.083	29.342	24.113	24.250	27.903	34.342	60.137
1989	196.855	291.304	315.718	184.950	75.323	43.667	27.371	22.879	21.625	29.177	35.008	57.411
1990	250.782	178.934	143.834	88.112	51.953	46.584	39.241	33.629	32.705	50.126	137.894	156.442
1991	188.297	202.336	226.937	142.805	62.108	47.113	36.560	33.268	33.305	39.152	52.943	81.184
1992	225.252	182.508	186.250	74.853	45.800	39.030	37.091	37.176	36.623	41.966	71.583	73.940
1993	221.565	236.052	237.619	145.227	69.760	42.449	35.324	36.719	36.558	43.887	113.814	215.785
1994	299.861	428.230	345.960	227.732	114.265	55.394	41.385	34.947	33.220	40.012	54.936	133.951
1995	225.798	128.474	329.229	161.549	58.831	41.538	36.075	33.010	33.970	38.100	57.132	77.392
1996	185.799	276.695	208.489	162.460	68.016	41.723	35.092	34.917	33.411	37.772	54.875	128.954
1997	239.973	390.917	440.234	163.842	81.008	53.433	43.578	42.734	37.903	40.094	89.911	111.758
1998	172.070	250.381	205.691	112.525	53.629	41.033	35.016	33.718	35.283	47.005	59.392	90.339
1999	172.419	282.720	322.618	201.281	95.472	45.142	34.048	31.677	34.192	40.758	45.858	109.556
2000	235.355	381.927	346.415	116.083	56.500							
2001	357.496	329.764	405.692	188.700	84.290	55.700	48.096	42.750	38.478	47.555	75.389	106.283

2002	171.121	399.323	392.065	228.702	101.519	58.275	66.774	47.169	59.727	68.613	109.238	184.639
2003	309.637	388.821	419.992	304.458	115.032	80.150	64.363	57.992	52.342	48.855	55.384	103.306
2004	351.419	391.009	192.653	155.800	77.234	51.583	52.718	45.048	47.817	59.081	72.850	133.347
2005	153.468	293.696	257.306	171.909	59.268	39.542	38.323	36.919	38.717	57.508	65.283	94.895
2006	311.960	285.723	239.653	235.000	71.040	44.000	33.921	35.580	35.844	43.595	82.458	166.081
2007	238.419	246.045	347.363	219.792	79.315	43.386	37.954	35.344	35.830	40.723	47.548	92.308
2008	237.220	223.411	250.767	85.262	48.400	37.351	33.719	33.686	34.399	41.593	48.735	134.541
2009	206.719	213.185	198.005	108.260	52.066	37.683	34.768	33.175	34.714	36.113	85.656	177.350
2010	421.705	316.063	308.980	191.008	84.408	49.454	41.699	34.858	38.414	44.753	44.216	113.951
2011	186.300	389.164	426.661	280.090	100.288	48.641	45.795	36.648	43.016	48.292	52.985	114.683
2012	218.662	426.114	305.516	170.496	84.227	50.537	35.087	33.380	35.017	37.540	51.017	168.617
2013	266.541	392.295	305.366	133.896	64.807	49.179	36.620	37.595	36.085	47.910	94.224	212.942
2014	300.220	358.814	182.913	104.100	63.840	38.916	34.140	33.800	34.851	40.714	36.574	84.469
2015	222.743	224.661	274.165	206.858	90.079	47.962	37.811	39.729	36.784	36.797	51.848	133.317
2016	169.539	361.066	211.679	126.265	58.183	40.442	42.283	36.118	33.228	48.708	42.408	65.680
2017	147.459	138.245	267.249	189.986	77.745	45.767	33.640	31.282	36.464	42.527	54.351	74.693
2018	229.417	332.145	372.063	119.166	64.005	53.522	44.230	41.868	33.023	70.915	100.996	80.665
2019	170.618	330.884	279.954	134.577	69.372	44.326	43.023	36.320	33.818	41.750	93.678	208.721
2020	299.037	465.796	363.741	185.684	88.874	56.007	42.269	37.619	39.739	46.721	46.726	93.561
2021	275.186	281.466	240.367	229.879	71.614	49.262	38.090	39.018	36.552	41.907	58.397	178.014
2022	253.328	377.293	318.416	167.392	62.993	52.342	36.080	36.665	40.936	39.621	40.642	48.241
2023	58.188	130.979	154.876	116.615	69.956	37.567	31.340	30.245	31.139	38.138	54.103	164.021
2024	159.785	234.204	268.495	186.859	72.225	44.331	33.646	35.005	38.168	41.392	88.157	121.265
2025	257.710	369.139	424.357	201.543	83.048	54.457	41.387	42.955	42.493			
Promedio	238.209	302.639	290.204	169.009	74.223	45.685	36.523	32.987	33.376	41.729	67.051	122.263
Min	58.188	128.474	128.210	74.853	41.145	27.583	25.508	21.661	21.625	23.984	34.342	48.241
Max	497.468	490.378	440.234	306.858	115.032	80.150	66.774	57.992	59.727	70.915	162.286	229.248
Desv. Std	78.412	87.380	75.616	52.156	17.562	8.184	7.515	6.508	6.744	9.791	29.443	46.707

Fuente. Tomado de la información proporcionada por EGEMSA

Anexo 10. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Machu Picchu 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Precipitación (mm)							Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Machu Picchu			
Periodo:	1981-2016							Operador:	Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	115.253	100.902	70.818	61.164	10.563	12.236	0.620	36.916	52.886	78.823	94.281	86.899
1982	122.866	111.775	85.478	52.705	0.832	23.261	6.847	27.584	21.737	35.351	93.421	51.360
1983	82.771	66.588	43.317	44.085	14.883	13.826	3.275	3.790	5.970	12.937	38.076	63.151
1984	110.802	122.630	15.239	26.077	1.451	8.940	4.409	13.330	4.544	35.112	19.983	23.096
1985	91.926	102.009	57.364	74.783	76.384	64.678	11.395	1.324	44.915	57.226	76.854	79.032
1986	72.894	73.817	99.969	50.625	18.352	0.547	6.783	17.109	35.979	30.821	37.785	56.568
1987	121.021	70.119	30.691	37.914	19.498	6.827	48.962	0.164	22.808	56.425	58.635	64.233

1988	113.904	83.039	102.557	101.299	26.232	0.212	0.063	0.770	10.569	49.075	18.717	26.084
1989	105.267	103.714	95.939	47.525	20.734	17.827	1.138	24.266	46.249	54.964	59.293	63.167
1990	107.638	84.140	42.910	53.924	23.258	71.366	0.070	21.627	25.806	83.471	73.296	64.350
1991	70.020	111.985	63.329	40.136	27.751	24.470	2.878	0.042	32.640	51.520	78.341	66.289
1992	79.006	90.296	63.783	20.280	0.761	23.473	1.313	56.914	14.677	65.759	98.911	52.051
1993	107.372	93.982	63.132	54.037	10.553	0.930	19.689	63.080	12.963	51.660	85.463	112.262
1994	99.714	108.182	75.818	39.787	13.303	0.553	0.618	0.362	16.375	128.333	64.999	101.392
1995	81.753	81.940	79.251	32.685	12.332	1.181	6.138	9.395	27.126	21.999	72.003	76.325
1996	104.915	98.718	54.968	43.811	16.193	6.011	4.141	40.328	28.914	64.617	56.464	62.086
1997	86.514	115.573	75.240	36.534	27.339	4.268	0.594	40.816	25.426	40.734	80.518	77.945
1998	87.071	88.889	43.166	27.583	3.311	10.506	0.027	3.554	8.784	52.445	47.260	51.198
1999	135.324	161.051	67.282	65.309	21.117	11.393	9.008	3.129	49.960	36.789	59.507	79.254
2000	124.999	108.771	66.916	29.585	13.703	59.102	10.172	19.139	33.114	70.037	28.156	65.800
2001	106.453	101.419	80.450	19.240	26.038	15.356	40.275	27.890	26.372	74.137	71.516	64.870
2002	80.265	127.836	77.033	86.008	17.073	25.345	91.282	17.843	23.238	83.748	72.518	97.726
2003	93.854	110.043	101.049	33.991	19.250	24.631	6.526	53.533	16.045	42.179	35.908	90.415
2004	104.666	95.441	47.241	36.751	14.652	49.175	62.274	37.479	25.232	53.415	57.185	63.114
2005	50.672	92.740	57.056	39.763	7.874	2.294	14.739	8.540	25.317	40.012	48.114	81.320
2006	104.393	85.970	72.775	59.971	4.931	26.987	5.387	13.899	15.049	63.888	82.261	76.435
2007	75.042	73.887	86.112	67.787	14.774	5.492	16.529	6.393	9.180	67.270	59.923	76.728
2008	102.246	82.968	57.823	22.123	20.827	12.416	5.051	19.249	11.548	57.948	71.718	71.382
2009	101.311	117.590	65.475	36.779	12.116	6.257	16.458	7.350	14.973	18.829	122.009	71.114
2010	131.500	110.132	94.644	42.222	11.302	10.622	9.983	18.410	16.065	73.988	40.774	84.387
2011	108.954	134.067	83.851	70.683	22.548	38.900	35.947	19.287	50.695	62.058	67.638	94.463
2012	80.605	139.050	69.141	44.273	11.027	22.095	18.819	6.783	36.225	32.898	56.514	123.273
2013	88.491	108.118	69.674	19.839	11.587	33.432	8.102	54.612	15.378	85.648	78.564	101.552
2014	123.025	71.683	54.688	48.010	29.575	6.684	11.299	9.077	22.204	59.437	40.905	81.607
2015	117.010	88.437	61.422	64.890	23.223	14.857	13.195	21.738	14.560	29.086	73.287	81.525
2016	73.548	136.755	45.300	45.069	11.226	13.061	14.308	11.800	23.800	69.621	50.769	75.433
Promedio	98.974	101.507	67.247	46.590	17.127	18.589	14.120	19.931	24.092	55.341	63.099	73.830
Min	50.672	66.588	15.239	19.240	0.761	0.212	0.027	0.042	4.544	12.937	18.717	23.096
Max	135.324	161.051	102.557	101.299	76.384	71.366	91.282	63.080	52.886	128.333	122.009	123.273
Desv. Std	19.492	21.534	19.965	18.774	12.788	18.229	19.362	17.636	12.951	22.610	22.599	20.562

Anexo 11. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Huarcocondo 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Precipitación (mm)							Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huarcocondo			
Periodo:	1981-2016							Operador:	Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	212.696	142.723	144.735	47.920	3.126	4.418	0.072	14.233	29.864	83.386	141.897	140.195
1982	213.344	143.802	139.504	39.874	0.207	5.133	2.813	9.347	17.859	50.021	139.139	89.865
1983	113.910	87.758	62.783	27.024	5.581	2.935	0.792	2.870	3.997	19.388	42.432	103.693
1984	190.717	180.800	37.487	29.750	0.124	1.889	1.770	7.013	2.935	63.007	41.386	59.478
1985	139.050	143.909	86.323	51.964	25.760	15.921	3.654	0.093	29.576	62.191	108.041	135.514
1986	111.464	118.347	165.425	41.857	6.269	0.003	4.732	5.794	18.940	34.055	54.804	88.636
1987	192.208	100.336	51.925	22.204	5.079	1.968	22.599	0.003	18.441	60.795	89.354	119.346
1988	164.547	110.481	174.718	78.700	10.021	0.009	0.003	0.235	9.286	52.855	44.108	83.992
1989	170.679	132.273	152.775	46.933	7.922	4.905	0.100	8.683	25.432	51.182	80.834	97.299
1990	158.915	114.096	67.269	47.045	7.568	30.253	0.003	6.668	16.009	99.444	122.929	120.274
1991	112.165	169.369	112.503	30.977	8.591	10.115	1.763	0.000	22.193	58.187	107.805	108.317
1992	121.856	122.866	86.403	13.307	0.340	6.935	0.250	21.048	8.538	65.725	132.592	74.276
1993	195.729	122.402	94.458	31.444	2.636	0.194	5.864	21.960	10.748	53.628	105.281	187.712
1994	154.306	179.468	129.614	37.516	5.696	0.023	0.020	0.069	13.343	102.671	80.749	163.784
1995	125.612	115.394	150.696	24.902	3.814	0.017	2.734	2.870	18.652	26.170	92.863	116.103
1996	171.169	136.503	89.448	36.193	5.923	0.094	0.099	18.797	20.268	76.085	74.867	127.280
1997	146.471	123.556	122.218	22.553	8.672	0.094	0.044	13.620	10.100	46.838	131.720	110.470
1998	128.142	120.760	33.435	18.260	0.300	1.328	0.001	0.562	2.928	52.481	62.488	67.846
1999	216.196	235.176	140.606	56.253	2.253	0.936	0.693	0.182	43.439	28.226	77.051	163.619
2000	191.613	162.031	119.838	10.291	3.071	13.213	1.975	2.167	14.033	95.335	36.525	133.020
2001	187.967	159.595	110.812	11.857	10.605	0.694	23.024	12.788	15.853	97.958	89.205	102.502
2002	151.521	213.522	164.626	70.420	7.274	5.104	49.589	3.720	7.722	92.363	97.806	159.013
2003	147.924	150.359	176.146	21.029	6.176	6.422	0.436	24.429	3.098	43.876	40.599	144.821
2004	184.134	143.930	65.858	19.706	4.822	19.837	24.444	12.521	12.586	48.731	75.444	112.448
2005	93.416	114.697	88.548	30.701	2.301	0.043	3.396	2.756	10.196	29.667	68.113	119.360
2006	182.788	125.626	123.874	54.467	0.426	3.723	0.138	3.424	7.115	67.817	98.920	120.276
2007	107.176	101.720	101.236	62.928	4.730	0.109	2.937	0.265	0.866	65.495	83.409	134.519
2008	143.542	118.418	85.324	9.611	8.186	2.477	0.344	6.314	6.333	47.843	120.556	126.250
2009	154.481	155.119	91.514	14.507	7.003	0.179	4.329	0.785	12.881	10.039	209.777	116.985
2010	255.952	164.089	141.021	22.900	2.124	0.614	3.126	4.596	9.552	71.462	48.460	162.161
2011	143.780	214.801	160.325	63.323	9.299	9.609	11.526	4.907	41.600	62.326	66.421	141.414
2012	118.685	170.038	96.255	38.098	2.075	3.219	3.341	0.300	31.857	14.670	102.444	196.361
2013	152.022	154.482	87.209	8.462	3.479	6.070	0.722	19.712	4.721	97.623	113.780	166.915
2014	161.371	106.616	69.777	39.322	10.021	0.504	0.990	0.649	4.376	64.092	41.976	148.559
2015	167.370	114.545	74.668	55.653	5.432	2.020	6.697	8.301	7.592	21.240	82.599	121.766

2016	114.708	190.197	63.333	25.525	4.464	0.890	4.993	0.693	8.100	68.375	65.709	108.823
Promedio	158.267	143.328	107.297	35.096	5.594	4.497	5.278	6.733	14.473	57.923	88.113	124.247
Min	93.416	87.758	33.435	8.462	0.124	0.003	0.001	0.000	0.866	10.039	36.525	59.478
Max	255.952	235.176	176.146	78.700	25.760	30.253	49.589	24.429	43.439	102.671	209.777	196.361
Desv. Std	36.738	34.637	39.533	18.317	4.612	6.504	9.936	7.252	10.571	25.087	36.725	31.751

Anexo 12. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Pisac 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Precipitación (mm)						Unidad Hidrográfica:		Subcuenca Pisac			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	153.261	90.396	117.786	44.886	6.231	4.238	0.055	14.817	21.633	60.313	107.458	110.988
1982	122.074	90.343	116.056	34.342	1.386	7.526	3.751	9.227	16.238	41.235	101.176	76.050
1983	74.182	58.642	41.923	20.759	8.525	4.151	0.978	5.275	3.497	18.833	36.198	79.522
1984	128.700	117.472	51.689	45.261	0.774	4.576	2.429	15.629	3.428	72.994	56.223	81.530
1985	92.874	101.621	70.668	36.576	28.328	19.268	3.202	0.321	28.360	48.699	95.955	118.336
1986	72.974	83.036	121.682	39.566	9.559	0.083	6.405	4.951	10.948	24.056	45.061	71.209
1987	130.836	69.684	48.964	15.725	4.920	3.738	23.826	0.035	13.610	40.240	80.531	99.598
1988	93.935	67.034	131.578	65.596	12.537	0.077	0.012	0.173	8.902	35.391	44.539	90.737
1989	102.595	91.187	108.640	43.483	10.444	9.502	0.257	10.719	20.570	32.840	62.428	70.720
1990	103.894	73.320	51.428	36.520	10.688	48.268	0.010	7.739	11.114	61.911	85.585	86.097
1991	72.661	108.332	74.705	26.162	10.961	16.417	1.558	0.054	17.496	36.241	74.442	85.982
1992	77.868	79.909	62.234	12.871	1.785	14.535	0.586	24.070	5.989	48.943	93.549	58.144
1993	130.069	89.452	70.452	27.054	2.566	1.974	5.337	19.579	11.933	39.593	75.897	139.377
1994	99.952	133.958	108.470	39.216	11.687	0.336	0.090	0.919	14.340	48.135	50.905	116.252
1995	79.713	77.945	98.828	21.135	4.947	0.450	2.452	3.732	16.046	22.163	68.955	90.523
1996	105.238	86.459	65.366	29.107	9.131	0.201	0.438	19.844	15.035	47.245	52.822	97.457
1997	87.254	110.262	91.122	19.342	10.336	0.196	0.044	13.699	9.981	30.868	96.981	119.053
1998	74.405	99.287	41.117	18.920	1.031	5.153	0.009	1.045	3.097	36.134	52.397	62.822
1999	100.018	114.753	86.644	39.026	4.847	3.302	2.017	0.393	30.065	21.785	47.137	120.797
2000	139.070	104.633	101.202	15.726	6.264	14.825	2.135	6.218	14.034	55.492	22.997	80.446
2001	167.338	118.487	115.528	25.009	16.568	2.572	20.937	20.341	13.277	63.806	75.175	79.027
2002	96.820	143.882	102.075	43.954	8.517	8.247	41.166	5.896	12.203	53.762	67.829	124.656
2003	105.313	106.937	135.891	21.877	9.380	10.073	1.072	25.306	4.722	28.690	28.122	117.686
2004	119.229	90.498	64.086	18.295	7.004	32.174	24.640	18.496	15.478	35.464	56.577	69.524
2005	53.347	100.336	73.310	26.793	4.911	0.492	2.656	5.304	10.557	20.775	52.720	83.838
2006	129.136	82.290	93.087	38.920	1.105	6.681	0.205	11.540	8.519	61.854	81.157	103.139
2007	90.039	70.176	107.634	47.491	7.315	0.892	5.882	2.147	1.806	45.735	62.325	86.725
2008	103.452	97.630	66.841	14.134	12.417	10.467	1.003	4.521	7.863	45.586	72.640	124.495

2009	104.743	99.921	74.226	20.429	5.681	0.663	6.256	2.254	10.800	7.362	137.095	87.309
2010	161.804	110.229	106.878	13.665	3.837	3.099	4.581	6.126	7.698	57.986	30.089	119.753
2011	101.005	153.250	99.627	57.314	8.045	15.744	14.540	4.878	31.029	39.386	48.188	113.166
2012	72.345	130.609	49.066	24.616	3.671	4.641	1.605	0.977	18.466	12.747	89.425	150.449
2013	115.639	118.621	87.236	13.434	8.055	10.439	2.932	21.498	6.309	87.758	77.085	138.969
2014	119.962	80.999	56.687	38.382	15.866	1.399	2.118	5.057	7.419	47.733	33.601	98.850
2015	102.380	95.145	58.034	66.302	16.188	4.250	8.356	11.326	6.139	18.973	69.182	103.075
2016	76.827	104.424	40.239	26.376	8.015	2.964	8.096	0.754	8.504	51.542	36.936	83.422
Promedio	104.471	98.643	83.083	31.341	8.153	7.600	5.601	8.468	12.420	41.730	65.816	98.326
Min	53.347	58.642	40.239	12.871	0.774	0.077	0.009	0.035	1.806	7.362	22.997	58.144
Max	167.338	153.250	135.891	66.302	28.328	48.268	41.166	25.306	31.029	87.758	137.095	150.449
Desv. Std	26.556	21.524	27.621	14.349	5.476	9.805	8.885	7.736	7.255	17.559	25.266	22.982

Anexo 13. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Huatanay 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Precipitación (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huatanay				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	227.868	101.526	137.635	54.037	1.861	1.293	0.000	8.565	26.949	78.708	101.038	128.435
1982	177.125	115.826	148.211	37.866	0.165	2.604	1.148	4.989	18.518	54.738	101.672	75.553
1983	114.003	76.869	52.054	20.056	4.906	2.081	0.002	1.695	3.990	24.368	37.464	87.236
1984	218.209	147.828	74.513	57.405	0.059	1.715	1.148	12.695	3.792	105.743	63.148	96.630
1985	131.415	117.317	82.083	39.780	16.964	8.801	1.161	0.012	41.100	72.387	103.993	136.700
1986	116.504	105.962	150.748	56.646	5.369	0.000	3.347	3.391	9.940	27.431	52.220	72.552
1987	188.963	90.489	56.272	16.003	2.806	1.827	11.951	0.000	14.140	38.976	78.942	100.194
1988	142.707	86.757	175.489	75.048	7.042	0.000	0.000	0.056	13.731	34.557	50.699	99.404
1989	149.667	111.221	123.286	43.794	6.338	4.726	0.000	6.677	21.716	42.639	58.800	65.725
1990	149.354	90.693	63.359	56.335	6.175	26.704	0.000	5.352	11.634	82.751	86.188	75.969
1991	92.175	140.673	86.514	34.247	8.152	6.593	1.061	0.000	19.766	46.172	73.772	89.406
1992	101.851	107.974	86.234	16.938	0.394	5.105	0.000	16.742	7.389	59.554	101.604	60.167
1993	202.769	106.114	89.787	25.465	0.964	0.147	1.178	9.297	13.761	53.032	87.658	139.761
1994	161.520	165.498	148.722	44.305	9.149	0.000	0.000	0.129	17.139	49.608	49.551	119.220
1995	127.718	96.859	125.679	22.527	1.361	0.000	0.936	1.204	23.807	27.556	70.356	94.693
1996	154.663	107.355	78.933	32.910	7.065	0.000	0.000	12.579	15.087	58.249	51.927	107.822
1997	137.875	131.673	124.202	24.534	5.907	0.000	0.001	7.803	8.518	42.177	107.221	131.762
1998	121.255	137.307	45.689	21.372	0.647	1.610	0.000	0.575	3.442	52.588	49.462	62.656
1999	121.983	116.495	110.932	47.260	1.673	1.443	0.396	0.025	41.815	25.943	36.781	119.961
2000	189.312	137.658	122.956	15.585	3.860	5.039	1.366	5.520	14.326	68.039	25.236	81.406
2001	268.707	157.707	147.177	35.400	12.827	0.026	12.986	14.181	19.629	73.618	83.456	82.397

2002	129.040	181.489	132.649	31.105	10.104	1.474	16.627	3.807	17.378	74.884	89.554	123.160
2003	171.003	142.457	173.455	26.804	3.668	3.328	0.000	11.946	5.735	35.152	24.464	123.621
2004	183.970	118.219	79.696	22.388	5.422	18.371	8.954	9.056	26.056	41.081	63.669	84.877
2005	119.454	122.193	113.826	31.435	2.546	0.020	0.687	2.645	6.118	39.207	62.272	97.928
2006	212.984	107.168	149.761	52.152	0.082	2.833	0.000	9.129	7.020	78.167	71.771	117.197
2007	159.820	77.541	133.814	65.693	5.039	0.000	3.012	0.166	1.254	53.775	67.999	82.624
2008	142.040	107.328	64.478	13.304	9.557	3.968	0.000	4.926	13.010	61.082	83.725	136.181
2009	131.688	103.358	82.400	26.053	3.418	0.000	2.337	0.625	14.436	11.441	112.110	92.767
2010	249.198	123.886	130.927	11.563	1.392	0.017	0.670	5.457	7.403	68.452	37.928	155.669
2011	127.484	187.264	145.364	65.418	3.159	2.064	2.757	0.269	37.866	50.307	53.924	117.090
2012	100.192	149.289	48.865	33.084	2.197	0.835	0.280	0.206	20.352	18.974	110.508	167.617
2013	180.970	141.855	91.382	18.108	8.672	4.127	1.397	12.596	8.254	117.301	79.150	148.439
2014	175.605	114.994	60.202	41.174	9.297	0.002	1.313	4.028	10.827	75.246	32.402	123.125
2015	183.259	131.855	80.996	75.810	12.644	0.682	7.392	6.972	8.771	23.584	55.880	115.572
2016	106.589	127.059	58.738	25.316	4.764	0.100	4.911	0.519	12.103	72.273	28.587	73.036
Promedio	157.470	121.827	104.917	36.581	5.157	2.987	2.417	5.106	15.188	53.882	67.920	105.182
Min	92.175	76.869	45.689	11.563	0.059	0.000	0.000	0.000	1.254	11.441	24.464	60.167
Max	268.707	187.264	175.489	75.810	16.964	26.704	16.627	16.742	41.815	117.301	112.110	167.617
Desv. Std	43.139	26.452	37.864	17.795	4.085	5.365	4.085	4.885	10.023	23.844	25.778	27.652

Anexo 14. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Quiquijana 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Precipitación (mm)						Unidad Hidrográfica:		Subcuenca Quiquijana			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	225.408	168.865	134.106	67.856	11.685	0.689	0.803	11.469	35.025	99.665	96.786	111.122
1982	192.167	89.538	111.861	47.911	3.235	1.001	2.569	6.196	44.440	84.595	98.160	66.482
1983	56.911	71.329	46.448	28.697	11.677	0.881	1.429	5.884	9.437	34.138	30.628	72.712
1984	177.827	166.258	76.792	74.111	3.780	2.393	5.957	14.498	9.372	162.793	81.426	102.556
1985	138.587	149.098	73.301	46.727	31.889	9.087	4.158	0.392	73.714	79.571	97.971	123.052
1986	100.614	99.076	115.983	50.507	10.273	0.055	7.976	3.083	30.806	31.754	36.722	69.928
1987	211.227	102.424	53.429	22.127	4.451	2.102	35.351	0.706	23.491	86.708	88.910	117.002
1988	127.192	113.759	147.754	113.278	22.214	0.052	0.092	1.328	21.141	65.614	41.856	105.536
1989	165.238	128.354	121.699	58.372	14.654	4.428	0.774	10.263	42.686	56.285	63.876	71.580
1990	151.575	115.786	56.689	51.563	11.121	34.100	0.071	2.700	24.534	103.629	88.906	115.078
1991	102.779	164.372	86.711	36.489	17.308	13.108	0.576	0.060	31.214	54.215	67.434	77.478
1992	117.673	107.301	56.265	14.938	3.365	7.948	1.587	19.771	10.125	67.094	84.439	52.226
1993	176.874	117.306	89.769	44.016	2.047	1.918	5.408	11.870	33.729	58.767	88.275	138.536
1994	119.530	162.573	111.560	62.263	13.418	0.120	0.449	0.911	30.186	64.964	52.548	121.002

1995	109.936	96.493	108.208	39.837	6.917	0.255	4.161	0.604	30.105	36.964	67.129	87.789
1996	160.887	154.316	70.122	43.412	13.144	0.027	1.138	18.371	36.300	83.661	52.042	113.618
1997	139.403	180.533	108.311	22.419	13.216	0.025	0.879	11.274	12.399	54.193	104.748	100.399
1998	123.800	141.258	70.113	18.271	0.965	2.773	0.153	0.779	3.016	78.413	58.389	75.689
1999	139.614	152.143	95.236	66.383	3.966	0.629	2.507	0.100	59.124	47.124	32.863	132.307
2000	149.363	171.491	91.255	29.389	10.721	5.754	6.779	7.569	27.877	105.108	20.338	93.803
2001	256.268	162.722	126.624	48.469	25.401	1.357	26.396	17.538	29.559	102.472	74.580	90.680
2002	122.423	227.627	130.379	59.055	21.467	1.110	40.652	4.164	56.207	76.876	83.950	115.284
2003	162.192	172.767	123.217	34.960	14.575	7.050	0.883	11.766	9.691	45.566	32.251	123.406
2004	184.336	143.725	71.275	38.573	12.175	14.474	21.497	15.977	46.688	64.715	60.395	112.630
2005	88.860	149.293	87.532	33.060	6.343	0.074	2.515	3.613	5.990	64.408	66.643	90.155
2006	185.009	145.338	112.947	81.812	1.602	5.744	0.885	8.989	11.836	92.177	83.860	110.844
2007	164.324	124.187	130.375	54.033	9.066	0.134	9.641	0.863	5.216	72.812	62.140	78.062
2008	161.544	141.025	63.595	26.308	18.658	5.968	0.815	3.208	16.669	87.906	55.782	128.586
2009	125.978	131.901	71.769	42.776	6.099	0.099	11.560	1.321	18.957	25.509	139.761	98.731
2010	231.714	113.267	95.081	12.546	5.165	0.440	2.913	7.864	10.026	78.412	33.359	143.170
2011	138.972	201.973	112.626	69.589	6.161	3.981	15.105	0.593	63.747	65.356	38.696	128.813
2012	141.891	218.609	63.801	20.754	4.463	3.847	2.790	1.080	41.075	34.909	85.486	147.701
2013	173.137	184.280	78.365	29.147	14.221	3.315	5.640	14.577	18.953	121.463	74.884	145.112
2014	176.383	134.956	63.898	42.621	19.692	0.332	3.499	2.521	19.215	79.942	34.195	111.550
2015	185.261	146.745	85.120	88.045	21.351	1.168	17.099	9.751	20.122	43.241	68.322	105.209
2016	106.666	147.854	44.956	31.629	6.414	1.297	13.630	2.328	25.823	88.352	25.136	66.431
Promedio	152.543	144.404	91.310	45.887	11.192	3.826	7.176	6.499	27.458	72.205	65.914	104.007
Min	56.911	71.329	44.956	12.546	0.965	0.025	0.071	0.060	3.016	25.509	20.338	52.226
Max	256.268	227.627	147.754	113.278	31.889	34.100	40.652	19.771	73.714	162.793	139.761	147.701
Desv. Std	42.013	34.960	27.767	22.107	7.432	6.339	9.913	6.052	17.424	27.996	26.911	24.939

Anexo 15. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6												
Variable:	Precipitación (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Chuquicahuana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	217.671	152.199	170.797	81.768	8.157	0.265	0.059	8.448	36.837	94.741	122.672	131.899
1982	191.665	81.435	137.159	74.221	2.033	0.125	0.559	6.462	35.802	88.565	138.139	73.756
1983	29.904	62.677	57.175	47.028	6.902	0.854	0.451	5.979	9.285	33.542	35.478	81.665
1984	174.217	170.089	97.189	94.560	2.064	2.061	4.222	13.627	5.111	173.824	112.061	120.868
1985	104.519	133.135	94.369	62.747	21.873	6.698	2.277	0.060	67.150	67.277	128.093	132.179

1986	79.046	99.663	145.622	74.245	5.197	0.000	3.611	3.168	24.374	27.099	59.446	92.911
1987	191.460	92.196	62.221	30.290	0.928	1.534	30.569	0.101	29.889	83.795	118.113	132.167
1988	130.722	103.270	177.749	165.059	15.844	0.010	0.033	1.893	16.071	63.602	52.795	127.860
1989	156.025	116.406	150.565	79.200	9.087	3.547	0.136	8.919	35.101	49.677	75.569	81.002
1990	137.031	104.839	72.062	72.838	7.872	30.417	0.027	0.864	22.875	106.833	114.775	122.240
1991	96.280	138.931	110.431	47.139	10.830	9.163	0.202	0.017	26.173	56.481	84.278	86.148
1992	99.771	99.882	68.510	17.957	1.651	5.761	1.407	18.639	10.582	63.325	108.457	58.332
1993	172.484	91.421	108.370	61.011	0.335	1.538	4.893	6.338	29.276	57.347	125.461	142.773
1994	117.974	161.640	132.441	82.422	4.903	0.076	0.054	0.316	22.844	56.222	73.848	130.344
1995	102.322	100.629	128.603	51.833	1.139	0.107	3.152	0.207	29.394	37.269	85.660	107.384
1996	150.553	131.154	89.722	58.094	9.170	0.005	0.596	17.558	30.535	78.574	66.962	121.074
1997	136.318	151.735	139.226	37.303	8.504	0.002	1.583	13.267	5.710	55.762	138.715	129.947
1998	126.546	129.189	82.404	23.719	0.063	0.419	0.023	0.603	1.273	69.857	74.838	86.534
1999	132.058	150.284	113.777	89.670	1.352	0.513	0.868	0.092	55.783	46.964	40.715	144.303
2000	141.749	167.176	117.462	36.327	8.861	6.235	4.937	6.598	24.410	101.145	25.156	120.439
2001	215.635	134.090	156.210	51.828	15.595	2.127	20.908	13.348	20.442	77.252	80.192	131.489
2002	111.090	195.593	163.591	69.666	15.238	0.782	30.961	8.026	52.013	74.033	100.813	122.730
2003	144.441	146.929	130.472	54.824	11.741	7.389	0.238	7.428	4.648	47.491	42.837	115.635
2004	185.993	134.208	76.403	52.666	8.766	9.654	13.175	16.832	54.276	57.911	70.776	142.950
2005	75.183	124.811	115.773	46.947	2.883	0.000	0.923	2.853	1.367	72.851	88.282	93.887
2006	144.568	168.196	101.019	116.279	0.411	6.996	0.317	7.542	7.401	80.540	104.231	134.217
2007	144.508	126.841	183.651	75.006	3.052	0.011	7.134	0.107	5.527	63.916	80.399	89.094
2008	138.900	121.990	109.600	31.971	11.224	4.129	0.258	0.862	13.663	81.720	64.733	128.505
2009	114.051	107.610	76.104	46.888	5.200	0.006	11.549	0.180	12.508	26.088	217.211	106.413
2010	219.366	90.335	104.117	37.841	3.101	0.083	0.559	9.287	6.159	67.633	40.263	145.944
2011	118.354	145.839	125.529	73.603	5.913	3.765	9.754	0.412	55.521	52.000	43.269	154.546
2012	148.840	194.792	91.021	54.858	2.445	6.066	0.802	0.264	36.241	45.134	91.609	156.990
2013	156.541	157.331	89.212	37.888	8.674	2.706	1.097	15.674	17.163	79.872	85.393	167.505
2014	131.507	104.704	77.675	47.011	9.230	0.094	3.092	2.732	31.075	83.890	47.939	123.223
2015	161.340	117.328	118.000	89.039	11.825	0.534	14.027	8.479	19.384	44.048	96.825	117.200
2016	105.614	192.660	57.826	34.841	1.437	0.211	8.801	3.046	19.197	81.105	42.309	71.679
Promedio	139.007	130.589	112.002	61.350	6.764	3.163	5.090	5.840	24.307	67.983	85.509	117.384
Min	29.904	62.677	57.175	17.957	0.063	0.000	0.023	0.017	1.273	26.088	25.156	58.332
Max	219.366	195.593	183.651	165.059	21.873	30.417	30.961	18.639	67.150	173.824	217.211	167.505
Desv. Std	41.138	32.801	34.446	28.291	5.274	5.519	7.996	5.817	17.042	26.818	38.498	26.345

Anexo 16. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Pitumarca 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7

Variable:	Precipitación (mm)	Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Pitumarca
Periodo:	1981-2016	Operador:	Pisco-Senamhi

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	230.049	167.377	141.924	111.830	24.245	2.901	1.084	35.527	33.506	89.074	106.611	124.039
1982	216.939	100.845	132.170	90.840	5.393	2.849	5.241	17.507	45.640	90.343	117.847	83.193
1983	89.044	95.601	80.708	55.569	28.919	3.406	3.783	11.783	8.940	32.933	36.712	94.236
1984	193.428	176.893	129.993	89.008	13.788	7.816	10.708	31.556	8.984	169.064	138.922	134.955
1985	169.586	170.803	120.497	99.852	56.299	14.476	5.775	3.502	65.525	44.575	124.539	147.320
1986	128.057	131.800	160.168	109.028	21.978	1.518	10.178	12.414	37.924	21.243	55.547	110.795
1987	217.251	120.684	83.299	45.452	9.848	5.317	62.449	7.991	20.416	70.135	110.579	136.707
1988	153.306	120.936	184.910	187.572	47.943	1.232	1.077	3.489	17.992	62.279	37.830	111.864
1989	182.469	129.802	152.797	104.653	30.679	11.236	2.816	45.067	49.213	49.974	70.308	87.101
1990	168.221	127.288	94.827	87.278	22.872	60.854	0.342	10.690	24.226	92.352	83.967	106.221
1991	124.560	148.632	92.244	66.637	42.497	31.003	1.109	2.060	23.141	55.373	62.215	88.697
1992	131.907	113.305	69.625	31.754	5.327	14.327	3.734	64.204	10.124	48.528	87.240	64.585
1993	174.528	119.180	125.840	93.115	5.810	6.769	10.303	38.554	33.870	69.375	105.929	164.660
1994	181.313	176.279	134.389	114.908	30.812	3.182	1.729	6.913	25.187	61.259	66.844	143.451
1995	128.128	104.378	171.484	75.463	15.611	2.770	7.807	4.050	29.198	45.158	86.409	106.868
1996	172.601	169.850	97.115	80.297	33.615	0.381	5.627	49.048	35.858	72.924	70.770	147.728
1997	159.180	204.550	166.510	56.809	22.791	0.582	5.228	39.483	16.996	62.099	131.976	116.556
1998	154.869	167.790	120.132	32.514	2.811	6.390	1.078	6.808	4.644	83.999	76.375	87.098
1999	166.929	177.236	111.618	130.816	16.626	4.887	5.061	0.835	57.115	47.928	47.822	149.097
2000	162.550	176.769	132.106	51.067	17.707	15.191	11.501	19.305	23.365	109.670	27.278	116.207
2001	248.629	186.758	185.535	97.343	49.007	4.656	33.700	46.175	27.982	100.011	88.597	100.347
2002	131.607	233.603	175.644	111.279	43.452	7.659	67.717	17.430	58.575	80.091	99.015	135.627
2003	189.228	174.908	147.211	66.392	34.102	15.683	3.938	33.148	11.367	42.711	39.916	144.934
2004	199.841	155.044	101.715	76.165	19.378	20.973	27.122	53.236	44.669	58.943	74.492	146.911
2005	105.566	171.962	121.118	51.986	14.316	1.169	5.509	9.338	9.045	75.154	76.927	105.526
2006	208.969	164.231	132.350	134.422	6.761	13.036	3.049	28.487	19.339	71.523	103.835	144.124
2007	182.955	129.514	173.075	93.480	16.690	2.299	17.405	5.826	10.576	76.411	77.284	101.697
2008	207.588	160.094	118.372	45.805	27.952	10.185	3.241	11.365	13.245	92.831	60.960	155.620
2009	146.820	152.136	103.428	65.451	11.565	1.451	18.779	6.495	24.051	36.871	151.944	127.604
2010	249.044	140.027	127.542	44.165	13.448	3.989	6.199	18.594	10.257	73.620	46.046	141.864
2011	155.114	198.085	129.797	131.742	16.317	10.441	24.505	7.008	58.805	57.014	41.322	162.012
2012	186.411	235.225	119.513	70.997	8.015	11.467	6.131	6.094	38.815	51.506	86.244	178.975
2013	265.645	202.810	123.377	51.952	31.020	10.846	7.433	37.838	11.435	84.846	92.922	191.230
2014	220.129	146.067	102.151	77.055	32.840	2.876	6.681	15.506	32.419	82.688	52.835	173.971
2015	222.142	152.462	130.545	148.284	39.862	5.639	28.381	26.450	21.204	49.289	86.221	137.827
2016	176.257	208.904	80.205	80.332	12.642	4.410	24.867	12.410	30.674	91.337	34.098	95.730
Promedio	177.802	158.662	127.054	85.036	23.137	8.996	12.258	20.727	27.620	69.531	79.399	126.816
Min	89.044	95.601	69.625	31.754	2.811	0.381	0.342	0.835	4.644	21.243	27.278	64.585
Max	265.645	235.225	185.535	187.572	56.299	60.854	67.717	64.204	65.525	169.064	151.944	191.230
Desv. Std	41.005	35.238	30.407	34.632	13.903	11.026	15.653	17.001	16.356	26.718	31.479	30.034

Anexo 17. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Sallca 1981-2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Precipitación (mm)							Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Sallca			
Periodo:	1981-2016							Operador:	Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	191.357	179.062	123.506	89.934	10.830	1.589	0.578	20.663	30.884	61.920	96.888	161.476
1982	173.950	95.747	114.905	74.613	1.934	1.426	2.374	6.776	39.964	67.575	124.248	107.791
1983	79.652	91.392	72.443	53.863	14.640	1.713	1.869	3.261	7.307	18.948	36.620	119.723
1984	169.273	185.988	121.925	52.981	10.741	5.347	5.760	12.025	6.608	134.924	195.788	181.006
1985	129.263	172.548	114.333	109.422	28.466	11.805	2.034	1.241	64.956	25.854	129.178	179.856
1986	116.464	151.552	137.461	107.511	11.584	0.613	3.698	7.120	40.085	11.609	61.057	172.417
1987	175.375	120.352	69.852	44.302	4.894	2.752	41.354	4.232	14.942	39.999	115.208	162.762
1988	139.677	124.389	156.170	139.942	30.069	0.526	0.571	0.878	15.185	40.077	25.455	138.268
1989	153.560	128.259	118.162	90.329	15.694	7.252	1.493	27.767	39.425	34.016	58.607	118.528
1990	144.941	136.992	84.622	69.750	11.684	42.548	0.159	4.800	16.437	69.907	78.560	127.049
1991	120.296	129.345	89.730	51.465	24.119	25.316	0.464	0.922	14.047	38.684	50.310	113.777
1992	113.392	112.277	55.954	24.539	1.470	8.882	1.689	34.261	7.922	35.951	89.444	86.831
1993	149.722	103.459	106.139	84.396	2.306	5.661	5.970	21.198	26.120	53.176	112.544	189.645
1994	158.186	183.121	118.961	96.608	13.886	2.087	0.725	3.714	16.659	40.793	76.677	187.720
1995	112.445	126.024	133.086	60.565	7.793	1.789	3.947	1.068	21.192	29.364	89.714	137.221
1996	149.147	151.711	91.070	66.316	18.336	0.262	3.812	19.835	27.069	42.589	72.677	188.383
1997	141.729	206.643	155.173	52.888	10.666	0.493	3.624	22.260	20.808	42.077	125.754	128.464
1998	134.956	160.420	104.003	23.182	0.659	3.620	0.424	4.665	5.341	70.654	79.796	96.938
1999	139.356	166.921	91.614	110.784	11.114	3.669	2.160	0.589	44.207	32.471	42.283	165.437
2000	131.966	182.728	103.704	33.479	8.783	11.892	7.275	8.394	17.789	83.143	27.966	145.687
2001	220.886	186.438	145.967	74.970	29.732	2.619	16.880	18.393	24.369	57.768	71.793	103.907
2002	114.481	227.600	136.779	87.872	24.403	5.126	40.779	9.812	48.304	61.589	95.747	168.377
2003	157.101	173.048	133.984	57.338	18.136	10.498	2.314	16.376	10.327	29.985	34.569	173.415
2004	162.706	155.529	83.623	61.315	8.715	11.451	13.802	25.938	38.930	32.950	76.328	173.032
2005	85.600	185.938	99.484	44.243	5.887	0.388	3.309	3.492	8.646	54.706	83.050	131.838
2006	176.386	145.552	93.271	106.712	3.836	9.377	1.486	13.354	19.324	47.292	109.513	173.315
2007	139.767	117.823	148.745	74.792	9.092	1.360	10.561	2.299	17.508	50.266	75.680	118.646
2008	170.539	149.462	95.925	30.116	10.985	5.986	1.530	4.575	8.802	62.990	58.693	197.006
2009	113.944	161.358	79.406	47.912	5.895	0.494	10.002	2.352	20.009	28.597	141.660	163.772
2010	204.585	146.359	106.072	48.951	8.363	2.333	2.825	7.947	7.174	46.642	43.277	177.816
2011	123.182	191.313	112.911	121.918	11.090	7.176	13.069	4.297	47.319	37.035	40.770	201.390
2012	163.530	229.886	105.509	77.119	3.117	7.462	3.540	2.359	29.152	35.878	74.056	234.308

2013	223.749	192.756	95.704	35.966	17.495	11.860	3.473	16.860	6.142	54.203	86.899	238.623
2014	179.261	154.139	82.704	66.291	14.041	2.146	4.043	11.025	41.324	54.776	52.256	223.481
2015	185.397	142.311	113.436	122.390	17.006	4.310	16.818	12.841	20.520	34.141	88.495	199.956
2016	144.803	229.333	70.715	89.049	5.582	2.784	14.600	8.733	28.073	67.552	39.879	121.844
Promedio	149.740	158.272	107.418	71.773	12.029	6.239	6.917	10.176	23.691	48.058	79.484	158.603
Min	79.652	91.392	55.954	23.182	0.659	0.262	0.159	0.589	5.341	11.609	25.455	86.831
Max	223.749	229.886	156.170	139.942	30.069	42.548	41.354	34.261	64.956	134.924	195.788	238.623
Desv. Std	33.383	36.172	25.284	29.691	7.908	8.031	9.677	8.812	14.695	21.854	36.393	38.792

Anexo 18. Información de precipitaciones históricas de la Subcuenca Hercca 2016

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9

Variable: Precipitación (mm) **Unidad Hidrográfica :** Subcuenca Hercca
Periodo: 1981-2016 **Operador:** Pisco-Senamhi

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	202.852	218.760	159.175	67.831	7.496	0.604	0.064	13.326	25.794	60.475	98.931	124.379
1982	172.645	93.830	128.224	67.571	1.350	0.489	0.776	4.074	37.263	77.477	173.717	81.683
1983	58.067	94.377	68.054	47.139	6.250	0.638	0.565	1.338	9.925	19.234	32.466	88.387
1984	191.427	233.878	133.431	41.653	7.361	2.522	3.548	5.241	3.066	174.977	273.437	174.833
1985	94.265	196.365	119.757	97.920	21.548	16.464	0.530	0.273	53.727	25.486	161.303	141.993
1986	109.263	176.927	161.268	84.820	7.139	0.045	2.027	3.544	29.532	10.060	69.544	155.232
1987	172.392	112.373	66.849	32.773	2.980	1.029	22.477	1.212	10.834	42.340	121.248	111.533
1988	169.906	131.016	162.820	104.551	17.119	0.207	0.088	0.313	13.388	38.784	26.617	119.347
1989	160.685	141.186	134.561	67.510	10.514	3.038	0.671	13.464	24.790	32.290	63.464	85.397
1990	155.127	151.457	92.465	59.237	10.206	27.008	0.046	1.352	10.826	83.192	103.582	125.333
1991	104.806	153.271	118.243	37.807	18.548	17.914	0.244	0.274	8.334	46.624	59.437	86.488
1992	99.481	113.774	57.929	14.077	0.285	5.103	1.200	19.415	4.547	43.949	99.696	75.513
1993	168.856	99.449	117.641	60.546	0.616	2.710	2.729	11.897	21.180	56.565	141.407	143.818
1994	145.850	199.331	137.015	69.964	7.605	0.306	0.262	1.073	9.552	37.399	95.022	147.728
1995	113.034	149.094	126.597	46.667	3.507	0.426	1.800	0.130	13.667	30.902	105.609	125.092
1996	143.851	176.344	94.128	51.192	8.890	0.053	1.821	10.036	18.376	40.653	83.047	133.553
1997	160.231	225.261	161.172	48.005	6.019	0.035	3.729	14.102	17.383	42.365	155.665	103.025
1998	128.962	172.399	99.454	19.438	0.087	0.802	0.032	2.622	3.931	74.050	94.703	82.858
1999	133.706	195.937	109.105	87.999	7.001	1.545	0.420	0.131	39.762	33.982	36.509	130.661
2000	138.517	205.680	116.569	22.300	8.751	7.906	5.922	3.684	12.428	82.989	29.006	121.140
2001	225.565	196.094	164.473	50.707	23.327	1.465	13.697	7.134	18.691	39.434	57.413	88.161
2002	130.541	232.655	144.127	65.142	22.802	1.266	29.327	4.594	34.677	69.906	109.995	139.382
2003	140.654	183.490	150.707	46.825	12.692	6.156	0.345	7.858	5.796	32.059	40.004	129.706
2004	163.568	159.979	83.309	49.552	5.434	6.676	9.066	14.239	40.264	26.623	90.361	131.308
2005	76.333	212.448	112.642	41.561	2.306	0.075	1.969	1.141	3.611	51.689	100.257	110.961

2006	170.758	174.715	92.669	85.053	1.679	6.224	0.388	6.886	12.985	48.826	130.776	137.495
2007	120.072	127.279	184.809	52.808	6.304	0.170	8.494	0.097	16.768	44.280	88.160	97.457
2008	148.341	161.055	107.934	16.826	6.740	2.321	0.567	1.191	3.553	65.821	62.761	158.039
2009	97.785	163.581	81.055	37.964	4.464	0.057	5.600	0.117	12.378	27.651	167.872	126.102
2010	202.931	146.667	116.624	45.288	4.514	0.254	0.390	3.516	2.772	44.243	50.040	141.608
2011	121.686	190.914	133.029	98.012	8.610	3.221	8.963	2.316	44.066	28.604	48.002	166.439
2012	171.038	234.328	111.602	72.785	2.268	3.114	1.003	0.126	17.218	34.733	69.326	177.847
2013	170.278	202.881	88.265	22.416	8.821	9.680	1.904	10.072	3.062	48.047	88.205	171.845
2014	144.491	150.571	72.615	42.780	7.356	0.741	2.342	6.231	41.444	53.475	49.901	147.602
2015	165.062	137.823	101.759	79.218	7.366	2.016	13.774	7.253	18.041	40.569	87.364	140.135
2016	107.111	282.752	62.361	64.859	2.600	0.969	8.954	6.485	16.085	62.879	53.596	81.201
Promedio	143.893	172.165	115.901	55.578	7.793	3.701	4.326	5.188	18.325	49.240	92.179	125.091
Min	58.067	93.830	57.929	14.077	0.087	0.035	0.032	0.097	2.772	10.060	26.617	75.513
Max	225.565	282.752	184.809	104.551	23.327	27.008	29.327	19.415	53.727	174.977	273.437	177.847
Desv. Std	36.897	44.180	32.510	23.541	6.124	5.843	6.575	5.158	13.585	27.799	50.550	28.951

Anexo 19. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Machu Picchu				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	56.613	46.463	52.048	61.196	71.199	80.857	92.810	93.676	88.884	91.306	84.077	79.171
1982	70.657	53.557	53.117	52.102	59.843	68.316	82.440	93.133	93.988	95.631	92.119	94.406
1983	88.714	70.345	64.870	55.775	55.873	55.370	68.443	80.193	84.871	93.898	90.633	92.252
1984	86.556	76.996	77.672	64.610	55.215	51.125	54.262	64.513	71.228	82.788	91.682	93.600
1985	91.604	81.830	83.602	78.108	69.965	56.890	52.844	53.178	56.536	70.730	78.427	92.498
1986	95.626	83.170	91.649	87.219	84.624	72.659	64.297	55.262	50.291	57.130	60.878	77.582
1987	86.155	83.515	93.037	89.426	88.185	83.658	77.798	65.792	53.628	53.014	51.703	59.535
1988	72.372	78.317	92.425	91.949	91.184	86.038	86.731	77.041	66.179	56.848	51.314	50.675
1989	59.045	62.561	81.100	84.513	94.326	90.460	95.130	92.413	82.753	74.296	58.999	50.986
1990	50.507	50.768	62.577	73.273	82.559	87.429	91.879	59.183	63.684	79.560	83.292	87.761
1991	87.421	74.643	80.348	75.693	66.052	54.915	46.638	45.253	51.582	66.291	70.572	82.455
1992	84.499	79.987	85.315	78.871	77.367	68.136	55.804	47.752	47.225	49.975	57.543	71.764
1993	79.794	79.035	90.779	84.394	86.796	79.259	76.196	62.924	49.939	49.022	51.560	61.236
1994	71.844	73.473	91.905	90.520	92.984	86.699	85.516	79.295	66.404	58.625	47.222	51.271
1995	59.653	63.235	79.487	86.944	91.011	88.141	86.932	83.123	76.855	72.067	58.416	53.606
1996	51.960	50.071	63.718	73.841	85.426	86.749	94.003	90.535	85.063	84.326	76.390	67.188
1997	57.568	45.418	53.432	59.846	70.173	81.162	93.263	94.697	89.811	91.624	85.596	79.391
1998	69.533	54.302	51.985	50.302	56.640	65.820	78.639	86.491	89.156	91.782	87.270	87.711

1999	81.739	66.342	63.946	51.828	51.582	51.380	61.486	72.689	79.835	90.060	89.482	88.354
2000	86.274	77.780	75.679	63.414	54.524	49.283	53.381	56.104	66.196	79.604	86.890	91.985
2001	88.663	76.982	84.274	74.963	67.564	54.900	48.026	49.107	53.793	68.325	74.540	85.431
2002	89.903	83.361	88.397	82.444	79.118	69.742	58.059	50.345	48.998	54.960	62.201	74.080
2003	82.965	81.590	88.638	83.218	83.800	80.108	74.111	65.203	50.291	46.361	48.703	60.183
2004	70.634	76.716	87.632	85.294	89.034	81.697	81.767	74.689	62.586	52.642	47.903	50.813
2005	53.710	62.839	77.503	85.603	95.082	92.912	96.658	92.591	84.578	77.321	60.206	54.425
2006	52.299	51.774	66.794	75.570	86.147	90.257	93.809	91.882	84.448	81.478	74.295	67.065
2007	55.051	45.498	53.168	59.338	72.057	80.571	89.572	92.858	87.330	88.272	82.556	78.012
2008	70.397	55.911	52.753	48.651	59.542	67.266	79.076	88.055	90.723	92.235	84.313	86.415
2009	80.501	67.000	62.646	52.900	53.324	54.846	65.653	79.143	85.231	95.734	92.891	93.614
2010	89.515	76.913	78.959	66.007	58.488	51.850	53.043	63.182	71.347	85.700	88.924	95.334
2011	96.318	84.827	87.836	78.162	71.152	56.670	53.391	51.737	54.984	66.216	77.061	89.775
2012	95.314	86.376	90.313	83.862	83.228	70.641	59.577	50.849	48.488	52.594	60.655	73.581
2013	84.141	82.985	91.547	87.520	89.280	83.073	76.608	63.374	51.441	49.150	49.666	59.917
2014	69.445	71.433	89.292	89.280	88.156	85.048	85.368	78.058	65.732	53.907	49.098	49.265
2015	58.790	60.156	76.832	84.405	90.769	88.448	93.627	88.166	78.269	72.333	58.611	52.100
2016	51.177	51.421	65.054	74.442	84.219	87.328	91.511	88.437	82.990	80.021	71.225	61.445
Promedio	74.360	68.544	75.843	74.041	76.014	73.325	74.954	72.803	69.870	72.384	70.470	73.469
Min	50.507	45.418	51.985	48.651	51.582	49.283	46.638	45.253	47.225	46.361	47.222	49.265
Max	96.318	86.376	93.037	91.949	95.082	92.912	96.658	94.697	93.988	95.734	92.891	95.334
Desv. Std	14.960	13.220	14.143	13.411	13.987	14.201	16.203	16.360	15.535	16.157	15.683	15.982

Anexo 20. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Huarcocondo 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huarcocondo				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	60.175	49.190	55.514	66.690	77.714	87.400	98.706	98.342	94.044	96.481	89.454	85.049
1982	75.226	56.623	56.328	55.358	64.115	73.761	88.869	98.775	97.068	99.036	95.610	98.861
1983	92.927	73.729	68.647	58.614	59.496	59.325	74.337	87.562	92.645	100.845	95.951	98.871
1984	93.020	83.727	83.743	68.836	58.748	54.174	58.649	69.275	77.309	91.451	96.932	98.608
1985	96.773	87.236	89.696	83.757	75.423	60.271	56.115	55.784	59.975	75.729	85.041	98.928
1986	100.622	87.402	95.875	93.340	91.479	77.102	69.216	58.245	53.140	60.735	66.021	83.994
1987	92.721	87.851	96.630	93.951	93.765	89.180	81.938	69.942	56.970	55.994	54.381	64.134
1988	78.153	83.029	97.896	95.799	94.129	90.468	92.315	83.637	69.921	60.179	53.661	53.661
1989	62.293	67.359	87.416	88.933	97.524	92.256	99.152	96.682	88.007	78.792	62.742	54.353
1990	53.182	53.618	67.854	78.924	88.235	92.008	95.534	63.921	70.053	86.010	88.254	91.996
1991	92.111	79.630	86.307	81.217	70.466	58.180	49.299	47.940	55.162	71.460	76.351	88.820

1992	88.651	84.296	91.239	85.122	83.249	72.672	58.941	50.808	50.418	53.658	63.186	78.354
1993	86.818	83.899	95.470	89.811	93.359	85.274	80.961	66.980	53.201	52.358	54.879	66.044
1994	78.783	79.453	96.811	94.634	97.235	92.841	91.753	84.307	70.413	62.480	50.482	54.063
1995	64.181	68.316	85.481	92.273	95.969	92.744	92.286	89.914	83.263	76.948	62.419	57.254
1996	54.977	54.517	70.068	79.976	92.618	92.067	99.246	95.642	90.526	89.496	80.668	71.475
1997	60.287	48.408	57.075	64.082	76.559	87.116	97.588	98.547	95.034	97.674	90.674	84.903
1998	73.748	57.540	55.694	53.066	60.155	70.361	84.777	91.099	93.017	96.003	92.457	93.463
1999	87.082	70.787	67.726	54.950	54.687	55.151	66.824	79.449	85.907	94.458	93.126	93.447
2000	92.009	82.461	81.049	67.217	58.356	52.266	56.849	61.490	72.645	86.498	91.607	96.621
2001	93.597	82.837	90.151	79.718	71.835	58.277	50.957	52.391	57.736	73.017	80.667	90.781
2002	94.232	87.863	92.892	86.894	84.329	73.989	61.616	53.041	51.611	59.187	65.880	79.989
2003	89.447	85.382	92.143	89.140	89.866	86.587	79.418	69.201	53.592	49.332	51.367	64.388
2004	75.808	82.497	92.404	88.405	94.339	87.819	86.800	80.794	66.431	56.166	51.719	53.105
2005	58.738	67.704	85.224	91.413	99.977	96.835	102.083	99.228	90.580	82.677	64.023	57.740
2006	55.855	56.246	73.027	82.422	92.712	95.242	97.802	97.178	89.764	88.180	79.113	71.133
2007	58.693	48.851	55.454	63.808	78.116	85.196	95.156	96.791	92.474	94.132	88.916	83.758
2008	75.231	59.657	56.831	52.892	63.946	73.932	85.319	95.032	95.173	96.749	89.811	92.237
2009	87.457	71.272	66.574	56.532	56.473	58.441	69.714	85.411	91.589	99.975	95.849	98.731
2010	94.927	82.636	84.440	69.200	62.571	54.230	56.604	67.031	77.492	91.714	92.973	99.062
2011	99.774	88.685	93.660	83.320	75.419	59.727	56.711	54.800	58.968	71.547	83.852	94.871
2012	99.628	89.823	95.964	88.944	87.930	75.629	63.082	53.248	50.463	54.890	64.899	79.091
2013	90.670	87.116	95.390	92.464	93.911	88.441	80.777	67.230	55.104	51.880	52.325	64.600
2014	75.468	77.435	94.023	94.070	93.265	89.456	91.260	83.371	69.623	57.100	51.512	50.808
2015	62.617	65.585	82.825	89.654	93.959	91.332	97.736	93.971	83.478	76.987	62.892	54.688
2016	54.279	55.088	70.085	79.324	91.091	91.660	95.897	93.749	89.221	86.456	77.141	66.012
Promedio	79.171	72.993	80.767	78.743	80.917	77.817	79.564	77.522	74.500	77.119	74.912	78.164
Min	53.182	48.408	55.454	52.892	54.687	52.266	49.299	47.940	50.418	49.332	50.482	50.808
Max	100.622	89.823	97.896	95.799	99.977	96.835	102.083	99.228	97.068	100.845	96.932	99.062
Desv. Std	15.638	13.705	14.618	13.965	14.502	14.774	16.831	17.286	16.431	17.074	16.349	16.875

Anexo 21. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Pisac 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Evapotranspiración (mm)							Unidad Hidrográfica:		Subcuenca Pisac		
Periodo:	1981-2016							Operador:		Pisco-Senamhi		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	60.314	49.947	55.797	66.925	77.508	86.992	97.554	97.295	92.789	95.011	87.917	83.354
1982	74.162	56.549	57.069	55.462	64.350	73.891	88.388	98.137	96.576	98.154	94.240	97.590
1983	91.517	72.683	68.169	59.289	59.705	59.274	74.172	86.916	91.598	99.201	94.682	96.747
1984	91.134	81.683	81.867	67.883	58.820	54.627	58.383	69.416	77.044	90.463	95.709	97.478

1985	94.995	85.445	87.737	81.745	73.848	60.146	56.902	55.972	60.454	75.787	84.281	98.077
1986	99.567	86.316	94.263	91.555	89.207	75.585	68.309	58.696	53.451	60.720	65.877	83.627
1987	91.979	86.863	95.870	92.624	92.323	87.629	80.688	69.383	57.308	56.663	54.638	64.382
1988	78.100	82.907	96.861	94.938	93.153	89.134	90.686	81.535	69.073	60.325	54.862	53.867
1989	63.166	67.536	87.253	88.691	96.860	91.794	97.622	95.460	86.138	77.559	62.178	54.783
1990	53.637	53.893	67.861	78.677	87.775	91.230	94.952	64.196	69.946	85.506	87.252	90.960
1991	90.502	78.070	84.585	79.786	69.485	58.151	50.136	48.273	55.789	71.610	76.278	87.920
1992	87.652	83.171	89.309	83.359	81.576	71.491	59.045	51.361	50.570	53.983	63.459	78.060
1993	86.125	82.921	94.264	88.046	91.375	83.357	79.677	66.359	53.516	52.982	55.135	66.480
1994	78.667	79.125	96.140	93.738	95.996	91.122	90.227	82.893	69.638	62.267	51.405	54.224
1995	64.626	68.634	85.676	92.110	95.113	91.731	90.611	87.953	81.304	75.545	61.873	57.741
1996	55.241	54.711	70.135	79.843	91.728	90.678	97.909	93.752	88.724	87.845	79.449	70.786
1997	60.585	48.870	57.094	64.517	76.281	86.715	96.850	97.598	93.262	95.769	89.024	83.133
1998	72.651	57.291	56.355	53.057	60.535	70.538	84.562	90.557	92.098	94.700	90.422	91.639
1999	85.185	69.264	67.317	55.551	55.032	55.091	66.949	79.340	85.437	93.415	92.069	91.538
2000	90.297	80.993	79.367	66.520	58.491	52.971	56.827	61.582	72.412	86.048	90.806	95.502
2001	92.168	80.976	88.458	78.208	70.850	58.250	51.930	52.514	58.143	73.171	80.534	90.195
2002	93.338	86.563	91.378	85.841	82.854	72.743	61.277	53.890	52.132	59.430	66.455	79.999
2003	89.057	84.641	91.397	87.171	88.261	84.797	78.110	68.687	53.897	50.126	51.625	64.819
2004	76.072	82.206	91.645	87.899	92.785	86.210	85.166	78.995	65.576	56.213	52.595	53.630
2005	59.139	67.916	84.893	90.997	99.307	96.165	100.764	97.490	88.725	81.172	63.646	58.376
2006	56.001	56.350	73.107	82.111	92.171	94.221	97.013	95.530	88.569	86.454	77.926	70.489
2007	58.842	49.208	55.704	63.947	78.113	85.204	94.161	95.897	90.981	92.357	87.112	82.208
2008	74.193	59.313	57.176	52.591	64.114	73.548	84.931	94.230	94.185	95.264	87.727	90.411
2009	85.217	70.117	65.896	56.877	56.436	58.335	70.162	85.116	90.560	99.003	95.040	96.667
2010	93.371	80.783	82.748	68.595	62.548	54.700	56.648	67.415	77.105	91.321	92.095	97.967
2011	98.390	87.226	91.872	81.612	74.398	59.701	57.455	54.793	59.187	71.592	83.273	94.156
2012	98.793	88.758	93.848	87.554	86.316	74.282	62.611	53.944	51.131	55.593	65.427	79.098
2013	90.188	86.288	94.530	90.778	92.573	86.872	79.639	66.596	55.507	52.820	52.870	65.065
2014	75.542	77.193	93.335	93.237	91.751	88.193	89.613	82.010	68.515	56.999	52.532	51.590
2015	63.157	65.889	82.637	89.011	93.514	90.517	96.432	92.368	81.908	75.755	62.391	55.380
2016	54.725	55.485	70.472	79.291	90.367	90.624	95.200	92.083	87.570	84.533	75.501	65.092
Promedio	78.564	72.383	80.058	78.057	80.153	77.125	78.932	76.895	73.912	76.538	74.397	77.584
Min	53.637	48.870	55.704	52.591	55.032	52.971	50.136	48.273	50.570	50.126	51.405	51.590
Max	99.567	88.758	96.861	94.938	99.307	96.165	100.764	98.137	96.576	99.201	95.709	98.077
Desv. Std	14.946	13.095	14.016	13.468	14.004	14.259	16.212	16.614	15.720	16.329	15.588	16.119

Anexo 22. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huatanay				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	61.987	51.576	58.415	70.161	80.827	89.515	99.199	98.809	95.090	97.337	90.171	85.699
1982	76.064	57.807	58.753	57.790	67.389	76.953	91.029	100.041	98.258	99.794	96.248	99.588
1983	93.285	73.947	70.153	60.823	61.883	61.868	77.386	89.667	94.079	100.328	96.430	99.204
1984	94.133	84.058	84.148	69.684	60.661	56.457	61.398	72.599	80.282	93.381	96.830	98.659
1985	97.188	87.787	90.580	83.769	75.960	61.930	58.525	58.399	63.226	78.890	87.089	100.122
1986	100.820	88.204	96.234	93.894	91.532	77.116	70.025	59.781	55.140	63.127	68.999	86.537
1987	94.532	87.757	97.412	94.884	94.165	89.380	82.073	71.167	58.927	58.403	57.124	67.499
1988	80.955	84.611	97.717	95.721	94.598	91.256	92.821	83.948	70.678	61.996	56.146	56.344
1989	65.696	70.345	89.914	90.172	97.457	92.760	99.613	97.551	88.116	79.394	63.997	56.800
1990	55.856	56.336	71.435	81.536	90.082	92.695	96.581	67.524	73.349	88.026	88.504	92.683
1991	92.763	80.354	87.278	81.658	71.259	59.427	51.582	50.587	58.371	74.515	79.190	89.993
1992	89.456	85.100	92.401	86.378	83.962	73.379	61.077	52.988	52.958	56.964	67.324	81.767
1993	88.763	84.438	96.576	90.998	94.275	85.926	81.611	68.268	55.353	55.162	57.957	70.056
1994	82.452	81.764	97.903	95.214	98.048	94.252	92.977	85.033	71.652	64.242	53.161	56.470
1995	67.720	71.630	88.291	93.953	96.735	93.292	93.341	90.980	83.836	77.564	63.554	59.517
1996	57.270	57.773	73.705	83.068	94.475	92.212	99.148	96.182	91.012	89.719	80.689	72.466
1997	62.063	50.677	59.762	67.671	79.886	89.331	98.443	98.818	95.482	98.168	91.124	85.204
1998	74.369	58.670	58.290	55.537	63.351	73.733	87.838	92.691	93.280	96.488	92.960	94.084
1999	87.055	70.899	69.089	57.211	57.172	58.049	70.497	82.942	88.059	94.752	93.190	93.868
2000	92.997	82.672	81.506	67.981	60.460	54.938	59.651	65.244	76.012	89.247	92.379	97.384
2001	94.594	83.858	90.939	80.173	72.631	59.854	53.588	55.146	61.139	76.179	83.654	92.372
2002	94.760	88.573	93.430	87.480	84.795	74.305	62.782	55.325	53.954	62.053	68.563	82.744
2003	91.229	85.422	92.460	89.691	90.792	87.170	80.108	70.107	55.647	51.919	53.989	67.735
2004	78.921	83.918	92.872	88.915	94.894	89.020	87.602	81.411	67.503	58.168	54.906	56.305
2005	62.952	70.970	88.662	93.593	100.715	98.105	103.382	100.134	90.956	83.240	65.617	60.117
2006	58.500	59.196	76.402	85.042	94.978	95.666	98.036	97.354	90.907	89.165	80.052	72.163
2007	60.614	51.057	57.822	67.003	81.571	87.445	95.827	96.954	92.955	94.639	89.614	84.528
2008	76.185	61.052	59.088	55.261	67.217	77.020	87.789	96.569	95.461	97.096	90.540	93.132
2009	88.250	72.081	67.362	58.556	58.775	61.302	73.223	88.124	92.645	99.987	96.143	98.509
2010	95.745	83.033	84.735	69.947	64.310	56.190	59.564	70.464	80.407	93.913	93.406	99.316
2011	99.836	89.014	94.339	83.569	76.043	61.070	59.310	57.284	62.292	74.987	86.200	95.834
2012	99.503	90.465	96.405	89.837	88.108	76.305	64.180	55.375	53.101	57.997	68.610	82.270
2013	92.854	87.528	96.120	93.187	94.912	88.698	81.284	68.145	57.349	54.657	55.321	68.346

2014	78.443	79.705	94.798	94.478	94.061	90.776	91.932	84.281	69.896	58.624	54.071	53.802
2015	66.179	69.080	85.367	90.620	94.549	91.809	98.533	94.617	84.154	77.718	64.260	56.566
2016	57.077	58.101	73.609	81.340	92.615	91.845	96.625	95.068	90.048	86.973	77.938	67.064
Promedio	80.863	74.429	82.333	80.189	82.365	79.196	81.072	79.155	76.155	78.745	76.554	79.854
Min	55.856	50.677	57.822	55.261	57.172	54.938	51.582	50.587	52.958	51.919	53.161	53.802
Max	100.820	90.465	97.903	95.721	100.715	98.105	103.382	100.134	98.258	100.328	96.830	100.122
Desv. Std	14.801	12.961	13.893	13.361	13.862	14.212	16.141	16.619	15.708	16.265	15.441	16.017

Anexo 23. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Quiquijana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	55.571	45.868	51.442	62.854	73.543	82.370	91.836	91.538	87.691	89.389	83.013	78.888
1982	69.934	52.493	51.795	51.052	59.770	69.665	83.635	92.502	91.326	92.773	89.058	92.273
1983	86.885	68.913	63.988	54.949	55.132	55.187	70.248	82.146	86.525	92.764	88.945	91.225
1984	86.016	77.297	77.763	63.843	54.315	50.022	54.206	65.381	73.347	85.217	89.582	91.757
1985	89.256	80.238	82.532	77.180	69.895	55.870	51.776	51.553	56.025	71.824	79.639	92.713
1986	93.825	81.622	88.631	86.394	84.487	71.214	64.156	53.601	48.883	56.479	61.954	79.458
1987	87.073	81.493	90.454	87.587	86.823	82.956	76.476	65.317	52.978	52.134	50.729	60.644
1988	74.342	78.041	90.453	88.973	87.519	83.743	85.555	77.039	65.099	56.108	49.961	49.576
1989	58.767	63.667	82.413	83.303	90.270	85.887	91.867	90.009	81.573	73.357	58.111	50.104
1990	49.238	50.223	63.857	74.788	82.329	85.042	89.644	60.364	66.191	80.702	81.478	85.251
1991	84.706	73.000	79.488	75.504	65.411	53.755	45.237	43.876	51.631	67.619	71.813	81.930
1992	81.765	77.920	83.950	78.168	77.171	67.567	54.864	46.139	46.112	49.765	60.027	73.919
1993	80.643	77.261	88.832	83.197	85.807	78.620	75.363	62.183	49.115	48.335	50.906	62.632
1994	75.099	74.537	90.226	88.275	90.480	86.274	85.267	78.711	65.948	57.973	46.462	49.602
1995	60.407	65.487	80.995	86.389	88.925	86.493	85.450	82.700	76.853	71.532	57.721	53.106
1996	50.628	50.893	65.999	76.145	86.441	84.028	91.413	88.001	82.730	82.734	74.893	66.355
1997	56.195	44.397	52.825	60.459	72.100	81.731	91.076	91.825	87.679	90.281	83.857	78.444
1998	68.471	53.160	50.909	48.650	56.405	66.883	79.999	84.607	86.002	88.736	84.603	85.637
1999	80.028	65.089	62.928	50.739	50.397	51.149	62.996	75.140	80.429	86.924	86.298	85.917
2000	84.817	76.401	75.416	62.541	54.368	48.413	52.750	58.073	69.236	81.483	85.333	90.165
2001	86.990	76.458	83.497	73.991	66.970	54.177	46.697	48.366	54.253	69.088	75.962	84.591
2002	87.260	81.571	85.762	80.196	78.052	68.472	56.724	48.621	47.239	54.955	62.018	75.429
2003	83.447	78.761	85.126	81.953	82.950	80.129	74.166	64.718	49.625	45.244	47.532	60.751
2004	72.070	77.299	85.384	82.416	87.086	81.076	80.094	74.605	61.484	51.889	47.523	49.448
2005	55.644	64.788	80.958	86.075	93.148	91.324	95.968	92.583	84.614	77.237	59.662	53.602
2006	51.795	52.550	69.288	78.032	86.830	88.230	91.380	89.983	83.296	81.995	74.071	66.466

2007	54.469	44.681	51.424	60.108	74.184	80.440	88.048	89.980	85.620	87.057	82.302	78.230
2008	70.315	55.402	52.102	48.376	60.226	69.698	80.186	88.155	88.135	89.329	82.363	85.145
2009	81.094	66.709	61.668	52.358	51.887	54.430	66.134	80.714	85.102	92.657	88.934	90.476
2010	87.810	76.487	78.593	64.388	58.008	49.989	52.529	63.386	73.409	86.312	86.284	92.021
2011	92.683	81.934	86.942	77.410	70.325	55.483	52.286	50.666	55.377	67.965	78.639	88.346
2012	92.729	83.803	88.233	82.431	81.677	70.502	58.064	48.933	46.648	51.600	61.978	75.045
2013	85.251	80.882	89.025	85.269	86.881	82.012	75.405	62.031	51.046	47.997	48.894	60.770
2014	71.648	72.746	87.121	87.611	86.206	83.202	84.467	77.916	64.408	52.562	47.611	47.152
2015	59.226	62.424	78.163	83.937	87.703	85.165	91.140	86.853	77.677	71.954	58.637	50.590
2016	50.570	51.741	67.060	75.224	85.077	84.743	89.545	87.264	82.317	79.843	71.806	60.861
Promedio	73.796	67.951	75.146	73.355	75.244	72.387	74.074	72.097	69.323	71.773	69.683	72.737
Min	49.238	44.397	50.909	48.376	50.397	48.413	45.237	43.876	46.112	45.244	46.462	47.152
Max	93.825	83.803	90.454	88.973	93.148	91.324	95.968	92.583	91.326	92.773	89.582	92.713
Desv. Std	14.404	12.636	13.576	13.056	13.424	13.777	15.824	16.199	15.310	15.829	15.077	15.614

Anexo 24. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6

Variable: Evapotranspiración (mm)

Unidad Hidrográfica:

Subcuenca Chuquicahuana

Periodo: 1981-2016

Operador:

Pisco-Senamhi

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	52.734	44.122	49.837	60.542	70.853	79.156	87.103	84.859	81.376	83.072	76.471	73.090
1982	64.843	49.695	49.442	49.161	57.513	67.008	80.193	87.916	85.385	85.855	83.518	85.236
1983	80.715	63.650	60.377	52.306	52.798	53.219	67.658	78.761	82.501	87.010	81.294	85.292
1984	79.117	71.243	72.001	59.732	51.750	47.848	52.460	62.738	70.391	81.421	84.262	84.639
1985	82.458	74.224	75.456	71.245	64.525	52.728	49.111	49.734	53.943	69.088	76.298	88.124
1986	87.404	75.214	82.566	79.391	78.461	65.650	60.800	50.695	46.838	54.304	59.494	76.353
1987	83.191	76.535	83.022	81.673	79.764	76.694	70.650	61.198	50.698	50.470	49.163	58.557
1988	71.268	74.591	85.308	82.500	81.292	77.620	79.199	71.429	60.388	53.389	47.955	48.252
1989	56.660	61.309	79.218	78.987	84.124	79.269	86.231	83.441	76.332	67.998	55.340	48.205
1990	47.502	48.720	61.805	72.385	78.837	79.600	82.572	57.818	63.522	77.237	76.282	78.379
1991	78.266	67.315	73.128	69.773	60.540	50.849	43.096	42.339	49.765	64.829	68.834	77.445
1992	75.618	71.429	78.497	71.414	71.615	62.254	51.435	43.765	44.146	48.051	57.823	70.973
1993	76.934	72.541	81.511	77.978	79.185	72.736	69.655	58.134	46.777	46.366	49.210	60.584
1994	72.196	71.375	85.029	81.955	84.327	80.467	78.667	73.104	61.167	54.944	44.215	47.776
1995	58.231	62.919	77.174	81.767	82.652	79.526	79.773	75.831	71.259	65.971	54.554	50.522
1996	48.451	49.003	63.236	72.879	82.735	78.288	83.669	82.118	75.764	76.143	68.677	61.732
1997	53.072	42.142	50.308	57.701	68.772	77.754	85.300	84.575	81.134	83.676	77.262	72.339
1998	63.422	50.230	48.225	46.758	54.394	63.938	76.466	79.551	79.340	81.456	78.462	78.090

1999	73.411	59.741	59.182	48.002	47.837	49.070	60.110	71.763	76.092	80.779	78.952	79.625
2000	77.575	70.225	69.627	58.192	51.612	46.256	50.778	55.921	66.367	77.696	79.992	83.461
2001	80.650	70.814	76.705	68.270	61.903	51.218	44.467	46.881	52.418	66.228	72.861	80.213
2002	81.089	75.339	80.016	73.199	72.223	63.133	53.613	46.227	45.138	52.991	59.645	72.189
2003	79.539	73.608	77.580	76.694	76.525	74.122	68.810	60.810	47.193	43.404	46.084	58.414
2004	69.247	74.303	80.158	76.218	80.742	74.668	73.734	68.784	56.638	49.242	45.332	48.141
2005	53.898	62.558	77.665	81.909	86.686	84.921	90.424	85.915	79.235	71.936	56.851	51.361
2006	49.868	50.880	66.692	75.069	82.875	82.839	84.207	84.278	76.497	75.763	68.640	62.186
2007	51.843	42.702	49.571	58.016	71.004	76.542	82.542	83.193	79.297	80.575	75.827	72.314
2008	65.179	52.518	49.400	46.684	57.872	66.781	76.436	83.003	81.804	82.136	76.646	78.163
2009	75.368	61.511	58.286	49.926	49.748	52.815	63.495	77.249	81.256	86.708	81.381	84.397
2010	80.557	70.631	72.740	59.866	54.903	47.496	50.527	60.675	70.312	82.364	81.130	85.044
2011	86.344	76.047	80.271	71.701	65.027	52.451	49.652	48.844	53.258	65.320	75.239	83.737
2012	86.313	77.447	82.046	75.480	75.775	65.017	54.886	46.690	44.510	49.837	59.496	72.123
2013	81.484	76.001	82.076	79.591	79.953	76.105	70.094	58.110	48.847	46.245	47.297	58.555
2014	68.617	69.718	82.213	81.143	79.939	77.403	78.066	72.289	59.749	49.962	45.383	45.620
2015	57.223	60.038	74.954	79.907	81.801	78.891	85.655	79.701	72.308	66.655	55.719	48.470
2016	48.733	49.739	64.629	72.251	81.185	79.530	82.213	81.845	75.628	73.599	66.519	57.073
Promedio	69.417	63.891	70.554	68.896	70.604	67.885	69.549	67.783	65.202	67.576	65.614	68.519
Min	47.502	42.142	48.225	46.684	47.837	46.256	43.096	42.339	44.146	43.404	44.215	45.620
Max	87.404	77.447	85.308	82.500	86.686	84.921	90.424	87.916	85.385	87.010	84.262	88.124
Desv. Std	12.819	11.264	12.114	11.767	12.109	12.398	14.319	14.612	13.786	14.163	13.370	13.882

Anexo 25. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Pitumarca				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	38.432	31.228	32.381	43.355	52.767	62.942	71.690	72.050	69.216	69.938	64.130	59.747
1982	51.839	37.711	34.756	33.293	40.082	49.889	63.647	72.548	72.896	74.267	71.090	72.992
1983	68.971	53.389	46.974	40.207	38.196	37.378	50.897	61.252	66.790	72.124	69.452	71.752
1984	65.528	58.748	59.248	46.879	37.308	34.113	35.016	46.368	54.084	64.227	70.335	72.309
1985	69.481	62.160	61.564	58.606	51.719	38.841	34.856	33.238	36.921	52.290	59.878	72.666
1986	74.385	63.914	69.574	66.868	65.514	53.864	47.600	38.199	32.855	38.830	42.927	59.804
1987	67.037	64.178	71.405	69.221	67.526	65.040	59.158	47.759	36.747	35.978	33.408	41.976
1988	55.477	60.479	70.868	70.956	69.419	65.062	66.340	57.578	48.427	39.753	34.789	31.405
1989	40.367	45.403	62.013	64.182	70.629	67.755	72.853	70.617	63.423	55.129	41.350	33.330
1990	32.201	33.677	43.776	55.453	61.828	64.486	70.617	41.188	46.179	61.014	62.307	65.386

1991	65.383	54.997	59.386	57.877	48.382	38.659	30.112	26.347	34.045	49.023	52.229	60.587
1992	61.277	59.321	63.897	57.779	58.564	50.055	37.235	29.676	29.259	31.171	40.471	53.289
1993	59.565	58.421	68.754	64.256	65.048	59.391	56.919	44.537	32.683	31.493	32.250	43.254
1994	54.395	55.747	69.832	69.630	71.400	66.856	64.997	60.640	48.869	40.869	30.555	32.058
1995	41.237	48.034	61.438	66.895	68.367	68.024	65.752	61.270	57.776	53.661	41.268	36.992
1996	34.006	32.886	45.261	56.690	65.547	62.471	71.272	68.643	62.348	63.598	57.392	48.549
1997	40.630	29.060	34.419	41.427	51.043	62.257	71.476	72.541	68.441	70.607	64.927	59.626
1998	50.657	37.766	33.405	30.869	37.640	47.927	59.708	64.340	66.527	68.758	64.621	64.666
1999	60.196	47.557	44.901	34.594	32.842	33.142	42.849	53.600	60.190	66.176	67.977	65.888
2000	63.894	58.691	56.665	45.602	37.311	31.757	34.067	38.213	49.433	60.598	66.190	70.716
2001	67.689	58.135	63.693	56.317	49.847	37.762	30.034	30.250	36.026	49.721	55.743	64.327
2002	67.395	63.810	67.044	61.432	59.422	51.162	39.683	32.188	30.543	36.454	43.616	55.567
2003	62.971	60.671	65.885	63.257	63.225	61.517	56.724	48.776	33.591	28.534	30.366	42.463
2004	52.872	59.412	65.554	64.898	67.745	61.229	60.162	55.221	43.471	33.910	29.213	30.647
2005	35.668	46.820	59.645	65.582	72.763	72.568	77.072	72.458	66.890	58.951	42.652	36.932
2006	34.293	34.915	49.922	58.507	66.241	68.553	72.810	71.791	63.926	62.342	56.672	49.758
2007	38.429	28.900	33.845	41.780	53.636	61.554	66.903	70.366	66.715	66.827	62.835	59.687
2008	52.526	39.974	35.157	30.581	41.468	49.527	59.611	66.392	68.568	69.271	62.913	64.406
2009	61.406	49.885	45.308	36.781	34.364	35.930	46.988	60.713	65.629	72.722	70.434	71.451
2010	67.664	58.261	60.179	47.940	41.517	34.600	33.973	44.129	53.760	66.405	66.956	72.804
2011	74.266	64.610	67.220	59.503	52.909	39.784	35.196	32.665	36.792	48.408	58.107	67.884
2012	73.360	66.205	68.154	62.706	63.483	52.636	41.305	33.037	30.525	34.306	43.992	55.008
2013	65.041	62.491	69.745	66.006	67.123	63.893	57.902	44.546	34.532	31.153	31.772	40.837
2014	52.470	54.851	67.166	69.123	66.271	63.899	64.402	59.533	47.993	35.819	31.854	28.519
2015	40.829	43.999	57.744	64.910	68.406	67.221	72.774	66.584	59.594	54.056	42.778	35.254
2016	33.672	34.766	48.892	57.293	64.985	65.561	70.508	67.724	62.427	59.979	53.104	43.041
Promedio	54.875	50.585	55.991	55.035	56.237	54.092	55.364	53.249	51.058	53.010	51.404	53.766
Min	32.201	28.900	32.381	30.581	32.842	31.757	30.034	26.347	29.259	28.534	29.213	28.519
Max	74.385	66.205	71.405	70.956	72.763	72.568	77.072	72.548	72.896	74.267	71.090	72.992
Desv. Std	13.441	11.875	12.819	12.315	12.561	12.779	14.954	15.158	14.340	14.695	14.182	14.683

Anexo 26. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Sallca 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Sallca				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	37.954	30.418	31.367	42.297	51.587	63.017	71.372	72.085	69.238	70.189	64.573	60.231
1982	52.008	37.454	33.927	32.411	38.875	48.660	63.099	72.340	73.209	74.531	71.414	73.462

1983	69.526	53.583	46.973	39.701	37.287	36.321	50.114	60.351	66.788	71.353	69.790	71.813
1984	66.022	59.365	59.821	47.152	37.254	33.499	34.285	45.449	53.435	63.995	69.823	72.267
1985	69.824	62.390	62.356	59.203	52.170	39.013	34.292	32.369	35.912	51.492	59.666	72.489
1986	74.223	64.439	69.886	67.164	65.990	53.962	47.570	37.570	32.014	37.745	41.896	58.942
1987	67.202	63.670	71.790	69.485	67.526	65.287	59.468	47.938	36.421	35.338	32.616	41.075
1988	54.589	60.414	69.807	70.435	69.598	65.328	66.744	58.300	48.746	39.668	34.036	30.433
1989	39.133	44.347	61.433	64.045	70.269	67.777	72.818	70.923	63.677	55.379	41.298	32.752
1990	31.268	32.825	42.622	54.689	61.688	63.927	70.847	40.351	45.047	61.124	61.707	65.543
1991	65.401	55.033	60.028	58.170	48.609	38.512	29.483	25.312	32.821	47.987	51.963	60.073
1992	61.259	59.531	64.051	58.230	58.971	50.342	37.285	28.922	28.232	29.893	39.482	52.729
1993	59.197	58.023	69.333	64.440	65.191	59.784	57.208	44.502	32.165	30.521	31.330	42.013
1994	53.139	55.643	69.447	69.513	71.448	67.036	65.539	61.170	49.172	40.724	29.671	30.891
1995	40.040	47.246	60.946	66.383	67.959	68.173	66.127	62.094	58.445	54.137	41.386	36.567
1996	33.054	31.880	44.033	56.166	65.643	62.127	71.071	68.936	62.779	64.123	57.466	48.538
1997	40.490	28.339	33.429	40.301	49.845	62.282	71.148	72.439	68.428	70.536	65.200	60.070
1998	51.068	37.701	32.557	29.930	36.426	47.355	59.320	64.465	66.386	69.120	64.900	65.151
1999	60.882	47.933	45.001	34.174	32.109	32.276	41.841	52.824	60.460	65.690	68.030	66.082
2000	64.386	59.282	57.459	45.969	37.282	31.049	33.317	37.440	48.859	61.104	65.996	71.016
2001	68.180	58.583	64.314	56.947	50.188	37.795	29.277	29.259	35.038	48.951	55.372	63.978
2002	67.107	63.893	67.049	61.534	59.781	51.358	39.516	31.439	29.547	35.074	42.109	54.720
2003	62.697	59.992	65.599	63.035	63.183	61.633	56.851	48.599	33.119	27.531	29.342	41.353
2004	51.403	58.938	64.683	64.592	67.701	61.395	60.761	55.475	43.558	33.886	28.583	29.757
2005	34.796	46.053	59.323	65.412	72.115	72.751	77.108	72.586	67.279	59.040	42.375	36.119
2006	33.584	33.808	48.646	57.450	66.165	67.951	72.825	71.568	64.285	63.050	57.174	49.820
2007	38.043	28.131	33.151	40.905	52.815	61.741	66.433	70.329	66.871	67.213	63.430	60.565
2008	52.900	40.065	34.631	29.595	40.752	48.750	59.553	66.265	68.476	69.728	63.359	65.282
2009	62.487	50.646	45.454	36.254	33.720	35.187	46.179	60.262	65.655	72.485	70.643	71.461
2010	68.166	59.129	60.815	48.319	41.456	33.997	33.383	43.509	53.278	66.611	66.911	73.075
2011	74.783	64.861	68.001	60.231	53.184	39.880	34.557	31.888	36.049	47.658	57.888	67.886
2012	73.032	66.802	68.540	63.326	64.192	53.237	41.215	32.440	29.948	33.471	43.439	54.801
2013	65.081	62.198	70.149	66.235	67.544	64.151	58.377	44.446	34.105	30.158	30.717	39.610
2014	51.063	54.827	66.786	68.844	66.356	64.373	64.692	60.035	48.055	35.594	31.095	27.517
2015	39.830	42.771	57.362	64.826	68.275	67.446	72.906	66.941	60.294	54.476	42.670	34.617
2016	32.793	33.778	47.895	56.756	64.623	65.064	70.346	68.184	62.455	60.405	53.558	43.099
Promedio	54.628	50.389	55.796	54.837	56.049	53.957	55.192	53.028	50.840	52.777	51.136	53.494
Min	31.268	28.131	31.367	29.595	32.109	31.049	29.277	25.312	28.232	27.531	28.583	27.517
Max	74.783	66.802	71.790	70.435	72.115	72.751	77.108	72.586	73.209	74.531	71.414	73.462
Desv. Std	13.878	12.253	13.182	12.586	12.804	13.017	15.205	15.528	14.741	15.093	14.576	15.119

Anexo 27. Información de evapotranspiración históricas Subcuenca Hercca 1981-2016

REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9												
Variable:	Evapotranspiración (mm)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Hercca			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	45.741	37.282	40.473	51.749	62.495	72.554	80.916	80.350	77.279	79.464	73.595	68.562
1982	59.573	44.112	41.862	40.740	48.410	58.696	72.860	81.798	81.704	82.430	80.111	82.871
1983	77.440	59.784	54.417	46.454	45.003	44.929	60.324	71.032	75.995	80.712	77.836	81.012
1984	76.292	68.026	67.959	54.761	45.321	41.177	43.819	55.122	63.930	73.955	78.870	80.649
1985	78.702	71.125	72.564	67.639	60.136	46.907	42.462	41.329	45.646	62.081	69.518	82.156
1986	82.915	72.163	78.896	76.990	74.523	61.029	55.133	44.567	39.641	46.472	51.806	69.077
1987	77.065	71.512	79.877	77.878	76.548	73.522	66.798	55.357	43.838	43.189	41.095	50.920
1988	64.650	68.907	78.500	77.793	77.542	74.258	76.078	67.080	55.953	47.068	41.146	39.160
1989	48.231	53.871	71.514	73.257	79.003	75.371	81.652	80.407	71.960	62.917	48.986	40.796
1990	39.504	41.201	53.035	65.190	71.610	72.953	78.910	49.912	55.550	70.898	70.431	74.155
1991	73.937	63.509	70.027	65.680	55.862	45.284	36.949	33.708	41.454	57.707	62.012	70.142
1992	70.800	67.491	73.667	68.345	67.340	57.584	44.982	36.420	36.126	39.121	49.269	63.468
1993	69.028	66.993	77.818	73.468	75.478	68.743	64.907	52.112	39.784	38.615	40.291	51.748
1994	63.758	64.617	78.927	77.795	80.062	76.560	75.385	69.243	56.506	48.679	36.980	39.189
1995	49.451	56.249	70.212	74.812	76.698	76.134	75.664	73.182	67.402	61.763	49.070	44.133
1996	41.035	40.583	54.544	66.263	75.938	71.910	79.067	77.897	72.688	72.806	64.343	55.975
1997	47.568	35.520	42.076	49.548	60.763	71.568	80.167	80.453	76.744	79.922	74.115	68.273
1998	58.705	44.572	40.588	38.317	45.848	57.270	69.355	73.834	74.738	77.690	74.369	75.582
1999	69.551	55.322	52.960	41.644	40.563	41.290	52.007	63.678	70.072	74.937	75.562	75.296
2000	74.700	67.323	65.727	53.568	45.225	38.960	42.472	47.974	59.633	71.268	74.652	79.530
2001	76.763	67.543	73.755	64.589	57.468	45.247	37.188	37.902	44.215	59.174	65.489	73.625
2002	75.844	71.485	76.002	70.563	68.240	58.578	47.240	39.095	37.477	44.073	52.165	65.139
2003	72.537	68.485	73.347	71.912	72.947	70.070	64.261	55.601	40.197	35.378	37.794	50.602
2004	61.453	67.673	73.968	72.297	76.320	70.810	70.658	64.026	51.161	42.350	37.347	39.228
2005	45.036	56.044	70.277	75.245	81.126	80.891	86.265	82.839	75.530	66.773	50.066	44.012
2006	41.983	42.425	58.352	67.515	75.831	77.050	80.570	79.954	73.842	72.232	64.697	57.128
2007	45.367	35.604	42.088	50.427	63.607	71.027	75.941	78.751	75.354	77.188	72.840	68.829
2008	60.403	47.021	42.578	38.059	50.184	59.117	69.803	76.036	76.890	78.340	72.826	75.897
2009	71.828	57.836	52.900	43.544	42.318	44.698	56.175	70.511	75.203	81.730	78.169	80.302
2010	78.171	67.750	68.872	55.666	49.158	41.486	42.562	53.371	63.907	76.293	76.234	81.333
2011	83.068	73.157	77.499	68.295	60.280	46.921	42.403	40.609	45.473	58.092	67.854	77.511
2012	81.519	74.532	78.089	73.113	72.349	60.713	48.670	39.739	37.499	42.150	52.867	65.425
2013	74.872	70.760	78.491	75.027	76.886	72.142	65.971	51.925	41.452	38.027	39.064	49.518

2014	61.080	63.640	76.060	76.514	75.282	73.929	74.322	68.125	55.106	43.172	38.346	36.447
2015	49.005	52.100	67.518	74.296	77.285	75.501	81.532	76.830	68.638	62.130	50.078	42.020
2016	40.834	42.021	57.372	66.422	74.000	74.125	78.067	77.864	72.402	69.814	61.889	51.010
Promedio	63.567	58.562	64.800	63.483	64.935	62.472	63.931	61.906	59.472	61.628	59.772	62.520
Min	39.504	35.520	40.473	38.059	40.563	38.960	36.949	33.708	36.126	35.378	36.980	36.447
Max	83.068	74.532	79.877	77.878	81.126	80.891	86.265	82.839	81.704	82.430	80.111	82.871
Desv. Std	14.175	12.475	13.377	12.848	13.034	13.320	15.426	15.948	15.102	15.450	14.798	15.403

Anexo 28. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Machu Picchu				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	18.587	17.836	18.374	18.220	19.619	19.417	18.964	17.983	17.647	19.278	21.763	20.009
1982	17.925	17.905	17.961	18.732	19.536	19.441	20.009	18.941	19.315	19.607	20.895	20.160
1983	20.939	19.708	19.712	20.320	20.765	19.790	20.147	19.382	19.346	20.333	21.667	19.285
1984	16.347	16.970	17.688	17.717	20.100	18.868	18.503	18.440	19.347	19.444	20.817	19.278
1985	18.125	17.339	18.493	18.152	19.720	18.371	18.477	19.710	19.435	20.686	20.530	18.916
1986	17.984	16.857	17.506	18.716	19.415	19.567	18.208	19.020	19.217	19.999	21.701	19.644
1987	18.282	19.358	19.365	19.507	19.921	19.591	20.111	20.260	20.556	20.696	21.990	21.017
1988	18.766	19.204	18.138	18.604	19.439	19.521	19.477	20.771	20.081	20.697	21.967	19.652
1989	17.824	16.949	16.935	17.995	18.720	18.772	18.545	18.533	19.674	19.724	21.965	21.037
1990	18.226	19.036	19.420	19.771	19.544	17.906	18.492	19.412	19.683	19.763	21.480	19.832
1991	19.475	19.156	18.277	19.021	20.283	19.726	19.515	19.604	19.039	19.275	21.421	20.398
1992	18.971	19.071	19.088	19.742	21.035	19.114	18.317	17.887	19.333	19.332	21.522	20.321
1993	17.978	17.986	17.710	18.348	19.698	19.911	19.250	18.326	18.815	19.330	21.000	19.582
1994	18.056	17.629	18.010	18.522	20.080	19.697	19.665	19.774	20.015	20.482	21.826	20.457
1995	19.411	19.299	18.140	19.748	20.142	19.906	20.226	20.747	19.866	20.987	21.802	20.130
1996	17.941	18.029	18.503	18.724	19.521	19.153	19.310	18.773	19.995	20.472	21.407	19.703
1997	17.730	17.579	17.990	18.723	18.999	19.466	20.167	17.891	19.515	20.883	21.812	21.400
1998	20.315	20.037	20.088	20.856	21.394	19.790	20.373	20.087	20.836	20.310	21.779	20.366
1999	18.938	17.313	17.052	18.278	19.218	19.358	18.785	19.625	19.205	19.411	22.165	19.925
2000	17.618	17.107	17.137	18.913	19.915	18.841	18.560	18.984	20.049	19.287	22.817	20.048
2001	17.138	17.370	17.248	18.924	19.321	19.198	19.109	19.148	19.954	20.576	22.145	21.018
2002	19.982	17.893	18.142	18.576	19.491	19.422	17.630	19.241	19.168	19.921	21.521	20.610
2003	19.793	19.163	18.188	19.083	19.662	20.158	19.443	18.725	19.543	21.194	23.052	20.493
2004	18.974	18.780	19.371	19.765	19.896	19.073	18.291	18.330	19.119	20.258	22.291	20.566

2005	20.060	19.361	19.316	20.132	20.904	20.414	20.196	20.519	19.684	20.052	22.248	20.245
2006	18.610	19.088	18.679	19.153	20.026	19.985	20.364	19.856	20.233	20.692	21.265	20.782
2007	20.146	19.299	18.095	18.885	19.815	20.496	18.954	20.018	19.462	20.494	22.237	20.447
2008	17.711	18.345	18.155	19.054	19.541	19.636	20.023	20.322	20.468	20.373	22.607	20.095
2009	18.974	18.318	18.506	19.174	20.005	19.951	19.419	20.586	20.859	21.754	22.088	20.654
2010	19.629	20.056	19.967	20.428	20.420	20.664	20.741	20.927	21.128	20.791	22.533	19.774
2011	18.867	17.292	17.941	18.931	20.084	20.134	19.507	20.406	19.882	20.456	23.062	19.838
2012	18.996	17.728	18.470	18.648	20.035	19.525	20.345	20.587	20.674	21.299	22.470	19.374
2013	19.530	18.854	19.187	20.715	20.196	19.419	19.425	19.773	20.895	20.377	22.500	20.239
2014	19.348	19.656	19.421	19.823	19.968	21.273	19.918	19.731	20.104	21.009	23.318	21.302
2015	19.174	19.305	18.870	18.781	19.704	20.760	20.362	20.867	21.310	21.456	23.089	21.491
2016	21.961	20.430	20.975	20.661	21.045	20.426	20.815	20.518	21.291	20.669	23.051	20.924
Promedio	18.843	18.481	18.503	19.148	19.922	19.632	19.435	19.547	19.854	20.316	21.994	20.250
Min	16.347	16.857	16.935	17.717	18.720	17.906	17.630	17.887	17.647	19.275	20.530	18.916
Max	21.961	20.430	20.975	20.856	21.394	21.273	20.815	20.927	21.310	21.754	23.318	21.491
Desv. Std	1.111	1.014	0.915	0.805	0.578	0.672	0.816	0.910	0.773	0.669	0.686	0.628

Anexo 29. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Huarcocondo 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:		Subcuenca Huarcocondo			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	19.666	19.459	19.954	19.748	20.974	20.670	20.032	19.596	18.974	20.835	22.046	20.823
1982	19.142	19.640	19.309	20.220	20.870	20.771	21.163	20.609	21.244	21.587	21.060	21.234
1983	22.294	21.228	21.506	22.147	22.253	21.480	21.733	21.304	21.089	22.003	22.371	20.476
1984	17.859	18.472	19.563	19.452	21.517	20.233	19.854	20.140	21.314	21.090	21.190	20.111
1985	19.706	18.715	20.254	19.787	20.875	19.390	19.556	21.370	21.014	22.510	20.761	19.885
1986	19.469	18.503	19.074	20.193	20.284	20.913	19.380	20.732	20.690	22.160	22.484	20.675
1987	19.553	20.762	21.013	21.027	21.208	20.887	21.482	22.177	22.410	22.239	22.262	22.068
1988	20.161	20.858	19.676	20.122	20.733	21.105	20.723	22.733	21.658	22.523	22.487	20.674
1989	18.883	18.656	18.752	19.459	19.985	20.073	19.812	20.363	21.567	21.631	22.520	22.360
1990	19.501	20.583	20.887	21.232	20.870	19.051	19.588	20.948	21.448	21.299	21.728	20.655
1991	21.052	20.497	19.729	20.523	21.522	21.112	20.705	21.202	20.546	20.634	21.431	21.260
1992	20.148	20.388	20.577	21.319	22.384	20.272	19.374	19.577	20.966	21.001	21.827	21.258
1993	19.303	19.459	19.273	19.934	21.150	21.339	20.495	20.106	20.600	21.027	21.356	20.567
1994	19.395	19.429	19.414	19.893	21.149	20.797	20.736	21.463	21.436	22.040	22.166	21.365
1995	20.650	20.695	19.673	21.324	21.677	21.283	21.525	22.692	21.626	22.786	22.255	21.262
1996	19.691	19.764	20.443	20.243	20.802	20.610	20.463	20.409	21.589	22.126	21.709	20.305

1997	19.269	18.935	19.627	20.285	20.199	21.019	21.144	19.539	21.458	22.737	22.156	22.074
1998	21.475	21.601	21.737	22.476	22.604	21.013	21.847	22.142	22.843	21.949	22.172	21.206
1999	20.211	18.846	18.735	19.544	20.574	20.996	19.870	21.385	20.952	20.652	22.743	20.777
2000	18.964	18.912	18.967	20.705	21.379	20.392	20.057	20.746	22.073	20.504	23.710	20.981
2001	18.419	18.813	19.062	20.094	20.577	20.427	20.259	20.522	21.568	22.223	22.671	21.810
2002	21.167	19.328	19.767	19.922	20.558	20.655	18.613	20.734	20.922	21.252	21.685	21.224
2003	20.682	20.464	19.626	20.512	20.810	21.345	20.508	20.363	21.144	22.879	23.395	21.159
2004	19.984	20.016	20.545	21.227	21.213	19.831	19.246	19.534	20.452	21.845	22.651	21.461
2005	21.261	20.445	20.777	21.441	22.227	21.683	21.217	22.140	21.200	21.438	22.508	21.128
2006	19.503	20.478	20.192	20.448	21.196	20.926	21.274	21.362	21.977	21.970	21.071	21.256
2007	20.966	20.590	19.529	20.275	21.065	21.770	20.250	21.777	20.900	22.096	22.623	21.451
2008	18.927	20.071	19.724	20.779	21.185	21.120	21.386	22.483	22.282	21.968	23.230	20.982
2009	19.937	19.738	20.012	20.759	21.376	21.534	20.629	22.368	22.541	23.515	22.187	21.346
2010	20.422	20.989	21.117	21.866	21.697	22.124	22.308	23.080	23.383	22.879	23.653	21.146
2011	20.649	19.001	19.785	20.822	21.483	21.744	20.831	22.423	21.541	22.616	23.943	20.860
2012	20.729	19.299	20.236	20.526	21.340	20.944	21.403	22.273	22.274	23.202	23.097	20.224
2013	20.348	20.325	21.036	22.275	21.887	20.619	20.659	21.590	22.758	22.054	22.990	20.841
2014	20.512	20.741	21.160	21.004	21.241	22.631	21.130	21.552	21.669	22.336	23.849	22.102
2015	19.957	20.739	20.790	20.133	20.818	21.912	21.628	22.377	22.952	22.998	23.479	21.707
2016	22.796	21.338	22.561	22.097	22.482	21.718	21.964	22.183	22.973	21.790	23.465	21.611
Promedio	20.074	19.938	20.113	20.661	21.227	20.955	20.635	21.278	21.556	21.955	22.415	21.120
Min	17.859	18.472	18.735	19.452	19.985	19.051	18.613	19.534	18.974	20.504	20.761	19.885
Max	22.796	21.601	22.561	22.476	22.604	22.631	22.308	23.080	23.383	23.515	23.943	22.360
Desv. Std	1.021	0.889	0.887	0.817	0.634	0.732	0.876	1.014	0.874	0.763	0.842	0.575

Anexo 30. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Pisac 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Pisac			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	19.322	19.164	19.613	19.392	20.881	20.628	20.137	19.565	18.828	20.606	21.718	20.524
1982	18.757	19.292	18.986	19.865	20.758	20.712	21.161	20.385	20.779	21.180	20.714	20.748
1983	21.762	20.807	21.029	21.675	22.045	21.265	21.575	21.025	20.845	21.706	21.854	20.104
1984	17.435	18.085	19.063	19.075	21.425	20.180	19.859	19.983	20.934	20.686	20.820	19.737
1985	19.195	18.395	19.883	19.380	20.819	19.349	19.576	21.202	20.716	22.095	20.374	19.519
1986	19.097	18.122	18.707	19.841	20.337	20.855	19.360	20.616	20.407	21.646	21.954	20.238
1987	19.205	20.418	20.562	20.628	21.059	20.800	21.493	21.942	22.084	21.968	21.928	21.678
1988	19.792	20.575	19.321	19.795	20.634	20.996	20.770	22.538	21.550	22.185	22.207	20.377

1989	18.653	18.307	18.322	19.091	19.890	20.057	19.815	20.183	21.280	21.293	22.034	21.791
1990	19.102	20.175	20.583	20.904	20.755	19.049	19.640	20.838	21.164	21.013	21.435	20.372
1991	20.623	20.227	19.390	20.155	21.445	21.036	20.697	21.005	20.302	20.438	21.196	20.835
1992	19.703	20.069	20.184	20.897	22.263	20.345	19.442	19.375	20.739	20.711	21.484	20.808
1993	18.941	19.156	18.946	19.523	21.032	21.216	20.545	19.918	20.257	20.729	21.061	20.201
1994	19.064	19.034	19.085	19.569	21.109	20.768	20.795	21.286	21.203	21.681	21.837	20.967
1995	20.321	20.406	19.299	20.917	21.428	21.187	21.512	22.448	21.338	22.453	21.902	20.808
1996	19.143	19.431	19.953	19.914	20.703	20.469	20.470	20.232	21.291	21.767	21.295	20.014
1997	18.854	18.597	19.115	19.857	20.089	20.909	21.218	19.385	21.166	22.419	21.935	21.942
1998	21.356	21.280	21.361	22.057	22.469	20.988	21.801	21.913	22.493	21.607	21.755	20.904
1999	19.850	18.621	18.367	19.300	20.475	20.815	19.896	21.167	20.673	20.546	22.369	20.471
2000	18.691	18.532	18.547	20.374	21.268	20.251	19.941	20.529	21.643	20.351	23.273	20.561
2001	18.045	18.478	18.599	19.872	20.437	20.395	20.257	20.405	21.329	21.846	22.268	21.433
2002	20.734	18.995	19.341	19.582	20.522	20.591	18.648	20.600	20.655	21.044	21.422	20.887
2003	20.377	20.170	19.277	20.175	20.794	21.326	20.558	20.160	20.856	22.509	23.034	20.931
2004	19.631	19.825	20.300	20.899	20.980	19.869	19.391	19.518	20.285	21.590	22.348	21.170
2005	20.913	20.192	20.469	21.096	22.070	21.604	21.292	22.013	20.990	21.158	22.137	20.847
2006	19.241	20.260	19.901	20.160	21.103	20.968	21.400	21.267	21.740	21.709	20.970	21.011
2007	20.772	20.291	19.181	19.971	20.919	21.713	20.226	21.649	20.689	21.708	22.241	21.092
2008	18.625	19.723	19.296	20.330	20.900	20.938	21.343	22.096	21.846	21.632	22.777	20.580
2009	19.748	19.499	19.693	20.387	21.255	21.332	20.583	22.112	22.252	23.214	21.972	21.053
2010	20.236	20.819	20.827	21.548	21.546	22.046	22.124	22.734	22.920	22.373	23.108	20.705
2011	20.234	18.592	19.318	20.361	21.346	21.591	20.765	22.146	21.235	22.116	23.496	20.525
2012	20.160	18.914	19.748	20.045	21.276	20.884	21.427	22.096	22.026	22.808	22.688	20.057
2013	20.131	19.995	20.582	21.882	21.646	20.605	20.649	21.307	22.430	21.693	22.616	20.618
2014	20.328	20.608	20.797	20.765	21.144	22.489	21.073	21.279	21.409	22.094	23.411	21.764
2015	19.675	20.449	20.278	19.790	20.736	21.890	21.522	22.238	22.673	22.726	23.105	21.518
2016	22.497	21.127	22.103	21.725	22.239	21.595	21.997	22.018	22.616	21.554	23.070	21.355
Promedio	19.728	19.629	19.723	20.300	21.106	20.881	20.638	21.088	21.268	21.635	22.050	20.782
Min	17.435	18.085	18.322	19.075	19.890	19.049	18.648	19.375	18.828	20.351	20.374	19.519
Max	22.497	21.280	22.103	22.057	22.469	22.489	22.124	22.734	22.920	23.214	23.496	21.942
Desv. Std	1.031	0.918	0.885	0.801	0.601	0.702	0.848	0.974	0.836	0.717	0.797	0.572

Anexo 31. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Huatanay			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	19.992	19.992	20.579	20.274	21.184	20.716	20.480	20.200	19.769	21.536	22.187	21.083
1982	19.519	20.188	19.862	20.740	21.035	20.852	21.495	21.125	21.655	22.186	21.271	21.564
1983	22.445	21.626	22.066	22.657	22.357	21.553	22.081	21.800	21.708	22.590	22.591	20.970
1984	18.343	18.861	19.989	20.143	21.671	20.309	20.289	20.606	21.848	21.354	21.177	20.413
1985	19.951	19.167	20.803	20.318	21.009	19.426	19.832	21.758	21.509	22.801	20.907	20.225
1986	19.927	19.099	19.633	20.783	20.669	21.059	19.724	21.320	21.338	22.590	22.530	21.046
1987	19.970	21.103	21.503	21.514	21.328	20.944	21.866	22.704	22.980	22.752	22.396	22.284
1988	20.523	21.429	20.208	20.786	20.976	21.183	21.102	23.225	22.298	23.019	22.638	20.924
1989	19.258	19.141	19.353	19.969	20.220	20.223	20.157	20.912	22.058	22.162	22.513	22.245
1990	19.795	20.867	21.317	21.695	21.050	19.169	19.890	21.412	22.073	21.804	21.807	20.967
1991	21.244	20.852	20.236	21.027	21.570	21.107	20.959	21.554	21.213	21.429	21.428	21.363
1992	20.363	20.688	20.964	21.692	22.497	20.415	19.741	20.081	21.663	21.635	21.921	21.314
1993	19.610	19.901	19.847	20.444	21.280	21.405	20.918	20.681	21.265	21.702	21.581	20.940
1994	19.822	19.993	19.965	20.470	21.299	20.835	21.059	21.977	22.069	22.421	22.334	21.621
1995	20.982	21.054	20.201	21.790	21.785	21.334	21.804	23.079	22.272	23.190	22.291	21.427
1996	19.880	20.204	20.913	20.730	20.964	20.624	20.715	20.811	22.001	22.334	21.546	20.458
1997	19.498	19.371	20.031	20.799	20.364	21.063	21.405	20.000	22.188	23.247	22.465	22.434
1998	21.962	21.975	22.218	22.901	22.574	20.991	22.124	22.543	23.277	22.413	22.112	21.269
1999	20.246	19.327	19.337	20.185	20.738	21.029	20.132	21.801	21.591	21.250	22.736	20.952
2000	19.228	19.264	19.581	21.309	21.539	20.407	20.230	21.178	22.458	21.064	23.642	21.109
2001	18.775	19.271	19.633	20.626	20.550	20.427	20.583	20.917	22.026	22.480	22.626	21.896
2002	21.191	19.685	20.266	20.352	20.749	20.665	18.973	21.178	21.661	21.773	21.815	21.301
2003	20.789	20.810	20.149	21.030	20.988	21.406	20.780	20.837	21.648	23.221	23.206	21.447
2004	20.163	20.511	21.066	21.708	21.264	19.919	19.778	20.120	21.204	22.435	22.809	21.806
2005	21.501	20.909	21.301	21.868	22.323	21.704	21.560	22.600	21.653	21.822	22.548	21.372
2006	19.828	20.932	20.779	20.978	21.286	20.926	21.602	21.878	22.539	22.179	21.308	21.480
2007	21.243	20.825	20.096	20.846	21.063	21.816	20.605	22.255	21.463	22.350	22.597	21.652
2008	19.349	20.487	20.178	21.240	21.233	21.119	21.659	22.802	22.590	22.240	23.165	21.168
2009	20.262	20.286	20.657	21.342	21.526	21.602	20.899	22.718	23.082	24.008	22.503	21.607
2010	20.781	21.396	21.641	22.372	21.806	22.209	22.390	23.458	23.675	22.993	23.396	21.394
2011	20.884	19.402	20.227	21.321	21.635	21.771	20.954	22.820	22.041	22.799	23.818	21.099
2012	20.836	19.675	20.766	21.067	21.576	21.043	21.712	22.736	22.891	23.540	23.125	20.664
2013	20.638	20.662	21.545	22.705	21.949	20.625	20.999	21.905	23.253	22.375	22.886	21.200

2014	20.847	21.087	21.598	21.519	21.400	22.548	21.443	21.903	22.148	22.543	23.599	22.193
2015	20.210	21.127	21.226	20.649	20.964	21.977	21.817	22.682	23.441	23.298	23.462	21.830
2016	22.883	21.642	22.970	22.528	22.559	21.748	22.256	22.668	23.294	22.108	23.467	21.898
Promedio	20.354	20.356	20.631	21.177	21.360	21.004	20.945	21.729	22.107	22.379	22.456	21.350
Min	18.343	18.861	19.337	19.969	20.220	19.169	18.973	20.000	19.769	21.064	20.907	20.225
Max	22.883	21.975	22.970	22.901	22.574	22.548	22.390	23.458	23.675	24.008	23.818	22.434
Desv. Std	0.962	0.855	0.857	0.777	0.596	0.716	0.843	0.974	0.792	0.682	0.761	0.520

Anexo 32. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Quiquijana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	18.139	18.090	18.646	18.573	19.485	19.102	18.836	18.732	18.133	19.728	20.538	19.541
1982	17.561	18.330	17.986	19.030	19.319	19.153	19.676	19.481	19.728	20.184	19.546	19.762
1983	20.610	19.683	20.208	20.836	20.572	19.808	20.150	20.172	20.085	20.799	20.681	19.224
1984	16.284	16.885	17.964	18.450	19.987	18.670	18.460	19.126	20.224	19.566	19.501	18.559
1985	17.948	17.208	18.912	18.517	19.312	17.761	18.044	20.218	19.884	21.073	19.072	18.400
1986	17.896	16.926	17.690	18.922	18.836	19.283	17.768	19.730	19.588	20.612	20.628	19.149
1987	18.019	19.300	19.498	19.805	19.620	19.229	19.902	21.048	21.327	20.990	20.723	20.686
1988	18.644	19.500	18.376	19.043	19.178	19.513	19.308	21.655	20.865	21.226	21.126	19.315
1989	17.496	17.192	17.350	18.211	18.544	18.606	18.374	19.256	20.525	20.402	20.658	20.548
1990	17.857	18.875	19.619	20.029	19.355	17.505	18.155	19.875	20.379	20.009	20.243	19.353
1991	19.412	19.101	18.334	19.298	19.984	19.396	19.136	20.108	19.539	19.493	20.009	19.586
1992	18.334	18.837	19.168	20.042	20.798	18.812	18.054	18.445	20.003	19.768	20.145	19.590
1993	17.725	18.014	18.010	18.776	19.640	19.684	19.113	19.118	19.623	19.835	19.920	19.195
1994	17.888	17.983	18.059	18.732	19.583	19.135	19.305	20.385	20.322	20.630	20.517	19.831
1995	19.137	19.284	18.290	20.044	20.078	19.559	20.016	21.644	20.688	21.503	20.687	19.686
1996	17.965	18.305	19.006	19.132	19.268	18.986	19.043	19.324	20.487	20.824	19.856	18.843
1997	17.577	17.363	18.075	18.962	18.703	19.355	19.708	18.539	20.462	21.555	20.745	21.013
1998	20.287	20.277	20.460	21.268	21.051	19.468	20.370	21.087	21.731	20.672	20.407	19.868
1999	18.639	17.379	17.358	18.476	19.128	19.324	18.398	20.229	19.895	19.574	21.097	19.462
2000	17.469	17.386	17.647	19.675	19.946	18.732	18.452	19.632	20.850	19.241	21.923	19.347
2001	16.777	17.280	17.636	18.961	18.915	18.917	18.724	19.322	20.498	20.748	21.072	20.224
2002	19.389	17.764	18.323	18.636	19.022	19.005	17.044	19.577	19.930	20.013	20.175	19.680
2003	19.033	18.937	18.276	19.346	19.357	19.761	19.034	19.292	19.972	21.481	21.655	19.975
2004	18.222	18.735	19.281	19.964	19.516	18.273	17.946	18.567	19.531	20.720	21.246	20.229
2005	19.605	18.913	19.563	20.249	20.654	20.059	19.890	21.092	20.133	20.149	20.806	19.810
2006	17.921	19.179	18.921	19.343	19.650	19.338	19.850	20.370	20.978	20.706	19.816	19.985

2007	19.601	19.028	18.196	19.234	19.473	20.274	18.780	20.854	19.900	20.720	20.933	20.029
2008	17.490	18.604	18.317	19.573	19.494	19.579	19.918	21.211	21.045	20.651	21.617	19.448
2009	18.592	18.396	18.786	19.672	19.819	19.963	19.098	21.132	21.502	22.342	20.841	20.058
2010	19.066	19.686	19.895	20.758	20.146	20.674	20.687	21.892	22.104	21.330	21.857	19.567
2011	19.078	17.462	18.312	19.594	19.977	20.095	19.184	21.238	20.358	21.070	22.268	19.512
2012	18.782	17.661	18.708	19.143	19.845	19.358	19.936	21.141	21.260	21.784	21.509	19.112
2013	18.819	18.830	19.613	20.991	20.231	18.986	19.218	20.322	21.600	20.715	21.407	19.525
2014	19.084	19.534	19.798	19.942	19.791	21.045	19.646	20.302	20.456	20.960	22.028	20.663
2015	18.393	19.243	19.252	18.906	19.305	20.485	20.037	21.172	21.788	21.697	21.892	20.368
2016	21.207	19.908	21.157	20.785	20.797	20.109	20.455	21.105	21.795	20.479	21.727	20.321
Promedio	18.498	18.474	18.741	19.470	19.677	19.361	19.159	20.178	20.477	20.646	20.802	19.707
Min	16.284	16.885	17.350	18.211	18.544	17.505	17.044	18.445	18.133	19.241	19.072	18.400
Max	21.207	20.277	21.157	21.268	21.051	21.045	20.687	21.892	22.104	22.342	22.268	21.013
Desv. Std	1.026	0.934	0.904	0.792	0.602	0.735	0.855	0.975	0.824	0.722	0.791	0.578

Anexo 33. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-

2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Chuquicahuana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	16.679	16.419	17.143	16.234	17.551	16.878	16.946	16.424	16.523	18.028	18.959	17.394
1982	16.150	16.820	16.543	16.815	17.421	16.891	17.740	17.451	18.091	18.500	17.962	17.731
1983	19.408	18.207	18.970	18.652	18.628	17.602	18.249	18.161	18.399	19.174	19.249	17.104
1984	14.780	15.225	16.466	16.305	18.045	16.451	16.542	17.002	18.720	17.833	17.740	16.241
1985	16.501	15.522	17.431	16.207	17.360	15.512	16.066	18.101	18.224	19.430	17.374	16.032
1986	16.418	15.196	16.188	16.585	16.716	17.044	15.746	17.475	18.014	19.033	19.087	16.907
1987	16.516	17.771	18.060	17.653	17.715	16.989	17.786	18.926	19.718	19.311	19.129	18.615
1988	17.215	17.907	16.915	16.780	17.206	17.323	17.345	19.523	19.185	19.589	19.541	16.997
1989	15.981	15.476	15.849	15.955	16.753	16.420	16.413	17.047	18.887	18.860	18.997	18.364
1990	16.450	17.243	18.143	17.792	17.479	15.136	16.126	17.619	18.730	18.315	18.582	17.056
1991	17.925	17.479	16.820	17.044	18.024	16.999	17.115	18.093	17.930	17.908	18.308	17.359
1992	16.873	17.211	17.771	17.923	18.896	16.461	16.085	16.207	18.396	18.058	18.433	17.367
1993	16.174	16.363	16.517	16.584	17.720	17.486	17.151	17.002	18.100	18.168	18.345	17.037
1994	16.412	16.395	16.585	16.472	17.578	16.826	17.331	18.294	18.725	19.059	18.853	17.642
1995	17.714	17.682	16.814	17.876	18.277	17.263	18.009	19.551	19.111	19.889	19.044	17.466
1996	16.577	16.642	17.634	16.970	17.353	16.870	17.135	17.254	18.955	19.339	18.204	16.604

1997	16.003	15.650	16.598	16.595	16.759	16.991	17.690	16.340	18.784	19.897	19.055	18.853
1998	18.821	18.749	19.141	19.218	19.217	17.240	18.427	18.968	20.136	19.136	18.801	17.763
1999	17.245	15.603	15.765	16.192	17.280	17.182	16.467	18.162	18.288	17.779	19.501	17.365
2000	15.893	15.670	16.232	17.511	18.125	16.578	16.576	17.575	19.352	17.495	20.293	17.129
2001	15.251	15.578	16.169	16.609	17.004	16.843	16.792	17.128	18.906	19.180	19.567	18.108
2002	18.008	16.075	16.870	16.340	17.026	16.790	14.995	17.393	18.353	18.320	18.570	17.533
2003	17.581	17.331	16.834	17.157	17.416	17.530	17.061	17.232	18.376	19.903	20.076	17.884
2004	16.640	17.099	17.851	17.692	17.706	16.100	15.958	16.390	18.001	19.164	19.731	18.149
2005	18.089	17.211	18.154	18.113	18.859	17.862	17.986	18.928	18.434	18.573	19.234	17.626
2006	16.365	17.521	17.424	17.071	17.728	17.037	17.803	18.218	19.312	19.067	18.204	17.897
2007	18.185	17.323	16.735	17.036	17.586	18.179	16.791	18.787	18.265	19.203	19.351	17.889
2008	16.033	16.939	16.866	17.435	17.668	17.621	17.999	19.117	19.586	19.073	20.189	17.166
2009	17.108	16.706	17.355	17.489	17.885	17.932	17.176	19.017	19.985	20.784	19.226	17.962
2010	17.639	18.096	18.554	18.627	18.315	18.607	18.837	19.932	20.574	19.772	20.368	17.310
2011	17.636	15.746	16.857	17.417	18.141	17.952	17.221	19.117	18.776	19.491	20.711	17.298
2012	17.253	15.966	17.270	16.783	17.901	17.181	18.059	19.046	19.731	20.204	19.967	16.777
2013	17.300	17.158	18.202	18.846	18.406	16.699	17.315	18.252	20.052	19.164	19.919	17.266
2014	17.517	17.906	18.361	17.788	17.971	19.063	17.788	18.170	18.708	19.240	20.415	18.561
2015	16.952	17.569	17.815	16.572	17.402	18.418	18.173	18.948	20.078	20.000	20.359	18.215
2016	19.818	18.309	19.890	18.541	18.952	17.988	18.434	18.971	20.303	18.858	20.078	18.151
Promedio	17.031	16.827	17.300	17.247	17.780	17.165	17.204	18.051	18.881	19.022	19.206	17.523
Min	14.780	15.196	15.765	15.955	16.716	15.136	14.995	16.207	16.523	17.495	17.374	16.032
Max	19.818	18.749	19.890	19.218	19.217	19.063	18.837	19.932	20.574	20.784	20.711	18.853
Desv. Std	1.063	0.980	0.958	0.844	0.631	0.796	0.873	1.008	0.840	0.758	0.832	0.636

Anexo 34. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Pitumarca				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	14.305	14.009	14.656	14.366	16.446	16.406	16.192	15.650	14.977	16.427	17.575	15.944
1982	13.700	14.426	14.196	14.958	16.264	16.232	16.589	16.166	16.120	16.487	16.207	15.932
1983	16.998	15.766	16.298	16.548	17.251	16.640	16.922	16.887	16.853	17.592	17.545	15.415
1984	12.051	12.697	13.856	14.211	16.960	15.890	15.544	16.070	17.161	16.254	16.463	14.696
1985	14.051	13.105	15.049	14.224	16.352	14.975	15.224	17.157	16.749	17.935	15.976	14.538
1986	13.963	12.558	13.667	14.605	15.461	16.414	14.700	16.447	16.317	17.292	17.549	15.156
1987	14.136	15.638	15.667	15.791	16.621	16.416	16.807	17.891	18.221	17.925	17.833	17.268
1988	14.904	15.690	14.469	14.793	16.001	16.695	16.474	18.524	18.022	18.190	18.471	15.785
1989	13.902	13.053	13.232	14.140	15.555	15.815	15.473	15.947	17.476	17.347	17.561	16.926

1990	14.152	14.992	16.038	16.098	16.370	14.632	15.331	16.741	17.250	16.891	17.395	15.667
1991	15.891	15.455	14.467	15.198	17.087	16.531	16.200	17.183	16.431	16.545	17.417	16.005
1992	14.513	15.121	15.505	16.135	17.842	16.073	15.194	15.092	17.038	16.505	17.187	15.981
1993	13.794	14.103	14.016	14.542	16.435	16.702	16.064	15.840	16.383	16.486	17.028	15.431
1994	14.071	13.906	14.123	14.578	16.506	16.261	16.502	17.230	17.231	17.601	17.536	16.200
1995	15.577	15.618	14.338	16.008	16.986	16.646	16.983	18.471	17.470	18.456	17.763	15.917
1996	14.193	14.416	15.286	15.302	16.300	16.296	16.322	16.352	17.673	18.122	17.134	15.480
1997	13.734	13.386	14.020	14.649	15.596	16.361	16.929	15.460	17.181	18.512	17.846	17.814
1998	16.999	16.791	17.002	17.497	18.348	16.875	17.539	18.077	18.846	17.691	17.543	16.616
1999	15.436	13.396	13.288	14.396	16.201	16.480	15.628	17.179	16.685	16.465	18.244	16.031
2000	13.811	13.208	13.559	15.671	17.070	15.940	15.586	16.499	17.849	16.053	19.141	15.688
2001	12.883	13.192	13.489	14.919	15.952	16.408	15.802	16.197	17.554	17.723	18.290	16.858
2002	16.012	13.775	14.261	14.538	15.906	16.215	13.940	16.375	16.678	16.936	17.345	16.285
2003	15.674	15.200	14.326	15.335	16.394	17.021	16.267	16.179	16.852	18.427	19.057	16.758
2004	14.450	14.930	15.675	15.911	16.607	15.649	15.092	15.480	16.423	17.719	18.491	16.771
2005	15.974	15.107	15.971	16.411	17.697	17.347	17.133	17.999	17.284	17.166	17.980	16.312
2006	14.218	15.450	15.056	15.342	16.745	16.682	16.973	17.293	17.969	17.857	17.064	16.739
2007	16.396	15.454	14.229	15.225	16.646	17.637	15.837	17.969	16.861	17.891	18.245	16.630
2008	13.764	14.838	14.497	15.546	16.454	17.050	17.041	17.951	18.153	17.812	18.900	15.864
2009	15.383	14.639	14.999	15.595	16.804	17.209	16.257	18.103	18.650	19.419	17.943	16.791
2010	15.718	16.271	16.309	16.980	17.222	18.098	17.969	18.676	19.033	18.300	19.153	15.657
2011	15.365	13.284	14.299	15.392	16.940	17.213	16.208	18.012	17.198	18.001	19.479	15.917
2012	14.972	13.548	14.568	14.683	16.665	16.418	17.046	17.957	18.242	18.737	18.658	15.406
2013	15.324	14.975	15.821	17.117	17.175	16.215	16.327	17.284	18.596	17.701	18.921	15.919
2014	15.655	16.185	16.204	16.166	16.874	18.508	16.723	17.012	17.275	18.062	19.430	17.374
2015	14.871	15.406	15.190	14.634	16.260	17.881	17.142	18.132	18.630	18.697	19.072	17.165
2016	18.016	16.423	17.549	16.789	17.641	17.371	17.526	17.931	18.907	17.621	18.851	16.891
Promedio	14.857	14.611	14.866	15.397	16.656	16.589	16.264	17.039	17.395	17.579	17.953	16.162
Min	12.051	12.558	13.232	14.140	15.461	14.632	13.940	15.092	14.977	16.053	15.976	14.538
Max	18.016	16.791	17.549	17.497	18.348	18.508	17.969	18.676	19.033	19.419	19.479	17.814
Desv. Std	1.220	1.149	1.058	0.901	0.639	0.777	0.866	0.994	0.907	0.810	0.893	0.740

Anexo 35. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Sallca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Sallca				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	14.342	14.088	14.931	14.617	16.326	16.058	15.805	15.334	15.079	16.562	17.561	16.104
1982	13.749	14.545	14.424	15.203	16.136	15.958	16.211	15.980	15.918	16.532	16.220	16.189
1983	17.042	15.889	16.618	16.750	17.107	16.333	16.547	16.757	16.845	17.558	17.527	15.640
1984	12.150	12.782	14.073	14.553	16.844	15.591	15.172	15.898	17.132	16.297	16.239	14.831
1985	13.987	13.230	15.229	14.463	16.235	14.706	14.818	16.901	16.720	17.881	15.856	14.689
1986	13.990	12.665	13.888	14.855	15.461	16.181	14.313	16.277	16.461	17.323	17.502	15.460
1987	14.193	15.693	15.865	16.078	16.511	16.062	16.339	17.721	18.258	17.978	17.735	17.378
1988	14.870	15.744	14.700	15.083	15.949	16.371	16.062	18.306	18.003	18.146	18.297	15.853
1989	13.931	13.143	13.509	14.388	15.551	15.594	15.117	15.812	17.410	17.445	17.441	16.956
1990	14.255	15.054	16.175	16.262	16.317	14.341	14.939	16.533	17.248	16.959	17.266	15.828
1991	15.721	15.456	14.687	15.437	16.991	16.147	15.792	17.005	16.568	16.824	17.252	16.147
1992	14.526	15.170	15.743	16.374	17.733	15.783	14.845	14.925	17.003	16.628	17.015	16.012
1993	13.776	14.192	14.327	14.900	16.386	16.449	15.757	15.740	16.527	16.690	16.963	15.655
1994	14.136	13.989	14.429	14.841	16.374	15.926	16.076	17.090	17.243	17.529	17.344	16.308
1995	15.550	15.630	14.510	16.187	16.884	16.304	16.561	18.248	17.548	18.438	17.569	15.898
1996	14.089	14.326	15.411	15.495	16.170	15.945	15.894	16.169	17.583	18.076	16.853	15.555
1997	13.689	13.405	14.257	14.839	15.554	16.060	16.546	15.285	17.215	18.504	17.766	17.960
1998	16.959	16.798	17.184	17.648	18.156	16.479	17.102	17.807	18.736	17.722	17.380	16.674
1999	15.335	13.409	13.527	14.641	16.063	16.148	15.223	16.962	16.796	16.548	18.065	16.180
2000	13.744	13.285	13.905	15.940	16.975	15.641	15.166	16.382	17.843	16.214	18.902	15.797
2001	12.942	13.303	13.796	15.170	15.812	16.062	15.418	16.055	17.569	17.790	18.203	16.937
2002	15.955	13.822	14.609	14.794	15.889	15.961	13.645	16.266	16.841	17.028	17.317	16.445
2003	15.630	15.252	14.660	15.586	16.310	16.703	15.885	16.057	16.909	18.461	18.855	16.946
2004	14.478	15.034	15.926	16.117	16.466	15.409	14.780	15.364	16.639	17.818	18.415	16.980
2005	15.949	15.176	16.197	16.629	17.602	17.020	16.755	17.777	17.169	17.245	17.877	16.430
2006	14.224	15.483	15.319	15.612	16.659	16.393	16.603	17.146	17.915	17.858	17.081	16.896
2007	16.425	15.409	14.561	15.539	16.489	17.366	15.479	17.745	16.965	17.917	18.058	16.696
2008	13.829	14.812	14.765	15.815	16.369	16.766	16.682	17.752	18.135	17.793	18.813	15.959
2009	15.356	14.680	15.276	15.873	16.685	16.921	15.873	17.836	18.635	19.414	17.979	16.916
2010	15.742	16.305	16.609	17.196	17.124	17.816	17.511	18.532	19.022	18.331	18.919	15.861
2011	15.339	13.402	14.571	15.669	16.903	16.933	15.828	17.806	17.301	17.965	19.294	16.069
2012	14.884	13.597	14.899	14.944	16.627	16.188	16.701	17.799	18.300	18.710	18.534	15.610
2013	15.318	14.953	16.014	17.248	16.990	15.884	15.961	16.969	18.519	17.737	18.687	16.064

2014	15.519	16.161	16.307	16.363	16.777	18.154	16.357	16.830	17.241	17.995	19.084	17.418
2015	14.908	15.398	15.467	14.932	16.208	17.622	16.765	17.835	18.606	18.657	18.978	17.322
2016	17.924	16.443	17.737	16.974	17.558	17.043	17.108	17.774	18.857	17.630	18.650	17.042
Promedio	14.846	14.659	15.114	15.639	16.561	16.287	15.879	16.852	17.410	17.617	17.819	16.297
Min	12.150	12.665	13.509	14.388	15.461	14.341	13.645	14.925	15.079	16.214	15.856	14.689
Max	17.924	16.798	17.737	17.648	18.156	18.154	17.511	18.532	19.022	19.414	19.294	17.960
Desv. Std	1.191	1.126	1.032	0.870	0.616	0.770	0.849	0.974	0.871	0.757	0.861	0.723

Anexo 36. Información de temperaturas máximas históricas Subcuenca Hercca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Hercca				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	16.377	16.188	16.865	16.315	17.640	16.774	16.676	16.224	16.861	18.528	19.446	17.758
1982	15.789	16.697	16.288	16.850	17.499	16.831	17.294	17.371	17.885	18.689	18.311	18.100
1983	19.142	18.135	18.771	18.617	18.631	17.352	17.746	18.119	18.589	19.457	19.638	17.502
1984	14.397	14.985	16.043	16.444	18.131	16.359	16.181	16.978	18.851	18.228	17.914	16.454
1985	16.078	15.360	17.035	16.205	17.457	15.540	15.713	17.966	18.450	19.768	17.662	16.301
1986	15.997	14.910	15.815	16.595	16.827	17.015	15.374	17.364	18.293	19.295	19.444	17.235
1987	16.149	17.657	17.746	17.798	17.826	16.856	17.196	18.807	19.945	19.711	19.550	18.941
1988	16.797	17.700	16.612	16.806	17.368	17.185	16.964	19.437	19.497	19.864	19.886	17.314
1989	15.770	15.317	15.527	16.053	16.989	16.438	16.055	17.001	19.110	19.302	19.238	18.520
1990	16.187	17.019	17.828	17.796	17.702	15.164	15.821	17.584	18.921	18.778	18.987	17.288
1991	17.446	17.274	16.530	17.133	18.223	16.812	16.709	18.101	18.246	18.646	18.734	17.621
1992	16.518	17.111	17.591	18.034	19.049	16.540	15.851	16.152	18.579	18.542	18.712	17.581
1993	15.768	16.266	16.290	16.777	17.885	17.442	16.860	17.027	18.443	18.701	18.703	17.392
1994	16.079	16.113	16.374	16.574	17.729	16.754	16.969	18.277	19.008	19.411	19.164	17.895
1995	17.405	17.535	16.416	17.852	18.344	17.196	17.609	19.504	19.415	20.280	19.380	17.580
1996	16.137	16.350	17.292	17.055	17.514	16.747	16.816	17.336	19.248	19.849	18.599	16.989
1997	15.594	15.449	16.256	16.573	17.026	16.941	17.507	16.331	18.994	20.254	19.532	19.291
1998	18.561	18.627	18.962	19.232	19.291	17.219	18.011	18.911	20.299	19.580	19.105	18.162
1999	17.065	15.387	15.419	16.263	17.404	16.986	16.129	18.066	18.561	18.208	19.724	17.728
2000	15.519	15.416	15.993	17.616	18.210	16.455	16.114	17.587	19.537	18.032	20.469	17.363
2001	14.940	15.406	15.870	16.704	17.103	16.785	16.405	17.215	19.191	19.716	20.047	18.425
2002	17.768	15.836	16.609	16.433	17.294	16.816	14.704	17.419	18.681	18.823	19.072	17.964
2003	17.320	17.143	16.651	17.244	17.621	17.471	16.789	17.264	18.659	20.320	20.462	18.453
2004	16.362	17.060	17.692	17.735	17.807	16.210	15.701	16.511	18.506	19.704	20.164	18.607
2005	17.757	16.975	17.910	18.205	18.903	17.779	17.670	18.874	18.632	19.140	19.633	17.974

2006	16.067	17.376	17.174	17.225	17.921	17.109	17.531	18.276	19.513	19.570	18.806	18.388
2007	18.029	17.200	16.496	17.249	17.771	18.145	16.459	18.780	18.672	19.640	19.662	18.153
2008	15.778	16.698	16.698	17.599	17.778	17.552	17.666	18.975	19.832	19.538	20.553	17.465
2009	16.989	16.531	17.131	17.607	18.054	17.786	16.872	18.894	20.152	21.114	19.724	18.401
2010	17.458	17.981	18.466	18.707	18.438	18.577	18.399	19.830	20.801	20.186	20.643	17.593
2011	17.318	15.541	16.604	17.478	18.291	17.814	16.907	19.030	19.168	19.852	21.007	17.605
2012	16.770	15.675	16.947	16.783	18.098	17.184	17.696	18.985	20.034	20.503	20.368	17.126
2013	17.052	16.961	17.882	18.834	18.375	16.665	16.967	18.083	20.188	19.630	20.284	17.656
2014	17.202	17.932	18.034	17.935	18.167	18.993	17.413	18.122	18.974	19.644	20.577	18.868
2015	16.755	17.275	17.483	16.682	17.618	18.471	17.752	18.861	20.269	20.400	20.712	18.753
2016	19.514	18.210	19.596	18.526	19.034	17.881	18.064	18.961	20.515	19.312	20.249	18.566
Promedio	16.718	16.647	17.025	17.320	17.917	17.107	16.850	18.006	19.125	19.450	19.560	17.861
Min	14.397	14.910	15.419	16.053	16.827	15.164	14.704	16.152	16.861	18.032	17.662	16.301
Max	19.514	18.627	19.596	19.232	19.291	18.993	18.399	19.830	20.801	21.114	21.007	19.291
Desv. Std	1.090	1.020	0.981	0.828	0.596	0.775	0.846	0.983	0.820	0.715	0.816	0.674

Anexo 37. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-

2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Machu Picchu			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	7.084	7.250	6.323	4.194	-0.003	-2.595	-1.844	-0.660	1.171	4.135	5.632	7.217
1982	7.033	7.003	6.479	4.315	-0.842	-2.235	-2.207	-0.813	1.397	4.081	5.888	6.412
1983	6.773	6.841	6.788	5.052	0.317	-2.024	-1.565	0.337	1.741	3.375	4.399	6.561
1984	6.693	7.149	6.714	5.048	0.489	-0.680	-2.317	-1.724	0.084	4.498	5.398	6.307
1985	6.404	6.566	6.095	4.856	0.738	-1.809	-3.473	-0.755	1.446	2.483	4.362	6.388
1986	6.966	6.663	6.325	4.681	-1.046	-2.016	-3.028	-1.149	1.476	2.756	4.629	7.019
1987	7.754	6.609	5.188	4.159	0.147	-1.843	-2.267	-0.938	1.740	3.935	6.254	6.829
1988	7.774	6.740	6.838	5.397	1.296	-2.167	-2.246	-0.831	1.983	3.815	4.790	6.129
1989	6.691	6.204	5.923	4.669	0.677	-1.047	-2.875	-1.248	1.543	3.939	3.604	5.637
1990	7.040	5.280	5.166	4.128	0.799	-0.324	-2.159	-1.060	0.789	4.674	6.212	6.806
1991	7.169	6.860	6.703	4.245	0.340	-2.416	-2.906	-0.904	1.196	4.101	4.580	5.785
1992	6.494	5.916	5.262	3.656	0.125	-0.755	-2.649	-1.028	0.827	3.640	4.330	6.296
1993	6.629	6.182	6.088	5.053	0.648	-2.522	-1.883	-1.612	1.086	4.017	5.967	7.205
1994	7.028	6.886	6.083	5.057	0.334	-2.602	-2.709	-1.439	1.870	3.188	5.267	7.119
1995	7.096	6.619	6.549	4.201	-0.162	-1.637	-1.388	-0.293	2.162	3.760	5.291	6.285
1996	6.946	7.090	6.520	5.540	1.593	-2.116	-2.568	0.428	1.957	4.135	5.075	6.907

1997	7.133	6.898	5.702	3.741	0.125	-3.480	-2.415	-0.547	2.321	4.537	5.822	7.467
1998	8.414	8.274	7.413	5.399	-0.331	-0.657	-2.177	0.203	1.336	4.856	5.267	6.639
1999	7.137	7.256	6.744	5.211	1.416	-2.050	-2.264	-1.582	1.620	4.057	4.160	6.356
2000	7.172	7.042	6.385	4.754	0.931	-1.618	-2.243	0.020	1.180	4.107	3.994	6.167
2001	6.941	6.986	6.303	4.164	0.861	-1.366	-1.577	-1.197	2.456	4.688	5.777	6.743
2002	6.870	7.597	6.899	5.336	1.558	-0.017	-0.772	-0.232	2.519	4.954	5.811	7.314
2003	7.717	7.543	6.954	4.929	1.566	-1.585	-2.198	-0.632	1.222	3.625	4.668	7.057
2004	7.193	6.825	6.541	4.443	0.063	-1.411	-1.404	-0.252	2.249	4.174	5.253	6.913
2005	7.089	7.586	6.856	4.896	0.234	-2.547	-1.744	-1.323	1.613	4.416	5.049	7.192
2006	7.187	7.173	7.031	5.138	-0.843	-0.804	-2.664	0.357	1.514	4.098	5.792	7.026
2007	7.774	7.117	6.926	5.394	1.229	-1.116	-1.411	-0.496	2.697	4.069	4.830	6.461
2008	7.302	6.420	5.581	3.729	-0.741	-1.804	-2.503	-0.859	1.012	4.418	5.323	6.683
2009	7.103	7.268	6.483	5.151	0.857	-2.406	-1.397	-1.143	1.966	4.257	6.439	7.382
2010	7.685	8.056	7.540	5.353	1.434	-0.201	-2.013	-0.788	2.005	4.194	4.556	7.007
2011	7.046	7.166	6.509	5.121	0.579	-1.619	-1.861	-0.605	2.460	3.761	5.546	6.763
2012	6.924	6.670	6.260	5.370	0.325	-1.668	-2.262	-1.568	1.782	4.376	5.935	7.494
2013	7.175	7.529	6.791	3.740	1.583	-0.184	-0.996	-0.539	1.367	4.639	5.437	7.371
2014	7.087	6.922	6.470	5.158	1.012	-0.881	-0.983	-0.358	3.223	4.888	5.466	7.427
2015	7.025	7.240	6.657	5.686	1.785	-0.355	-2.009	-0.256	2.447	4.497	5.863	7.072
2016	7.457	8.370	7.090	5.425	0.481	-1.761	-1.988	-0.335	1.452	4.177	4.278	6.719
Promedio	7.139	6.994	6.449	4.788	0.544	-1.564	-2.082	-0.717	1.692	4.092	5.193	6.782
Min	6.404	5.280	5.166	3.656	-1.046	-3.480	-3.473	-1.724	0.084	2.483	3.604	5.637
Max	8.414	8.370	7.540	5.686	1.785	-0.017	-0.772	0.428	3.223	4.954	6.439	7.494
Desv. Std	0.401	0.607	0.563	0.586	0.750	0.831	0.603	0.576	0.624	0.543	0.706	0.474

Anexo 38. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Huarrocondo 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Huarrocondo				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	7.946	8.138	7.100	4.818	0.671	-2.149	-1.271	0.072	2.223	5.290	6.977	7.825
1982	7.708	7.720	7.192	4.935	-0.169	-1.917	-1.546	-0.225	2.504	5.387	7.380	7.053
1983	7.745	7.861	7.632	5.900	1.180	-1.171	-0.599	1.227	2.940	4.422	5.498	7.066
1984	7.401	7.900	7.620	5.797	1.171	-0.119	-1.579	-0.759	1.159	5.766	6.843	6.958
1985	7.009	7.485	6.957	5.675	1.521	-1.240	-2.935	-0.310	2.515	3.606	5.981	7.116
1986	7.698	7.739	7.422	5.432	-0.051	-1.740	-2.158	-0.174	2.784	4.029	5.904	7.785
1987	8.668	7.636	6.350	4.802	0.782	-1.503	-1.755	-0.337	3.051	5.175	7.478	7.264
1988	8.430	7.572	7.768	6.096	1.977	-1.712	-2.047	-0.567	2.979	4.625	5.951	6.894

1989	7.633	7.170	6.903	5.509	1.478	-0.433	-2.075	-0.240	2.793	5.165	5.163	6.420
1990	7.650	6.239	5.913	4.667	1.411	0.422	-1.387	-0.387	1.963	5.773	7.435	7.458
1991	7.951	7.683	7.701	4.896	1.169	-1.643	-2.540	-0.627	2.051	5.174	5.924	6.348
1992	7.204	6.903	6.061	4.220	0.713	-0.245	-2.083	-0.179	2.029	4.737	5.654	6.782
1993	7.303	6.913	6.878	5.723	1.429	-2.260	-1.209	-0.742	2.349	5.275	7.321	7.985
1994	7.797	7.749	7.012	5.847	1.236	-1.975	-1.908	-0.861	3.015	4.462	6.696	7.718
1995	7.610	7.191	7.334	4.596	0.230	-1.314	-0.839	0.150	2.685	4.892	6.421	6.558
1996	7.622	8.004	7.383	6.332	2.316	-1.634	-2.113	0.907	2.787	5.147	6.391	7.515
1997	7.952	7.667	6.833	4.502	0.763	-2.791	-1.986	0.316	3.440	5.849	7.308	8.149
1998	9.146	9.311	8.372	6.262	0.265	-0.240	-1.573	0.980	2.409	5.971	6.729	7.165
1999	7.797	7.999	7.693	5.849	2.173	-1.482	-1.979	-1.053	2.714	4.967	5.534	7.047
2000	7.991	7.844	7.294	5.407	1.735	-0.831	-1.278	0.799	2.433	5.416	5.573	6.807
2001	7.723	7.821	7.510	4.982	1.832	-0.722	-0.574	-0.917	3.449	5.594	6.886	7.131
2002	7.463	8.324	7.904	6.209	2.127	0.281	0.131	0.082	3.565	6.095	6.947	7.846
2003	8.288	8.350	7.907	5.487	2.226	-1.040	-1.649	0.072	2.271	4.729	6.041	7.644
2004	8.168	7.669	7.357	5.350	0.828	-1.340	-0.920	0.082	3.317	5.430	6.615	7.481
2005	7.888	8.298	7.748	5.566	0.860	-2.101	-1.326	-0.653	2.914	5.951	6.580	7.995
2006	8.051	8.087	8.015	5.954	-0.246	-0.395	-2.559	0.901	2.693	5.493	7.048	7.551
2007	8.433	8.075	7.840	6.209	2.198	-1.125	-0.690	-0.126	3.414	5.150	6.130	7.153
2008	8.133	7.216	6.568	4.660	-0.026	-1.566	-1.975	-0.063	2.114	5.715	6.589	7.630
2009	7.844	7.998	7.288	5.766	1.563	-2.086	-0.830	-0.606	3.054	5.209	7.756	7.981
2010	8.310	8.735	8.194	5.766	2.004	-0.008	-1.315	-0.350	3.026	5.632	6.302	7.770
2011	7.840	8.100	7.640	5.873	1.111	-1.224	-1.185	-0.081	3.593	5.186	6.756	7.275
2012	7.583	7.556	7.075	6.129	1.062	-1.298	-2.002	-1.272	2.625	5.519	7.309	8.370
2013	7.734	8.443	7.897	4.331	2.430	0.172	-0.771	0.021	2.317	5.833	6.821	8.008
2014	8.076	7.758	7.327	5.653	1.860	-0.474	-0.559	0.130	4.297	5.949	6.789	7.982
2015	7.567	8.018	7.568	6.420	2.738	-0.125	-1.585	0.005	3.631	5.442	7.087	7.354
2016	8.093	9.171	7.839	6.188	1.078	-1.229	-1.474	0.211	2.543	5.453	5.676	7.301
Promedio	7.874	7.843	7.364	5.495	1.268	-1.118	-1.504	-0.127	2.768	5.264	6.541	7.400
Min	7.009	6.239	5.913	4.220	-0.246	-2.791	-2.935	-1.272	1.159	3.606	5.163	6.348
Max	9.146	9.311	8.372	6.420	2.738	0.422	0.131	1.227	4.297	6.095	7.756	8.370
Desv. Std	0.414	0.590	0.559	0.623	0.786	0.806	0.660	0.585	0.598	0.558	0.664	0.501

Anexo 39. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Pisac 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Pisac				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	7.578	7.778	6.704	4.563	0.700	-1.428	-1.212	0.412	2.499	5.441	7.042	7.828
1982	7.363	7.430	6.895	4.701	-0.087	-1.194	-1.451	0.146	2.699	5.460	7.282	7.023
1983	7.243	7.442	7.101	5.508	1.203	-0.517	-0.605	1.476	3.165	4.661	5.608	7.112
1984	7.039	7.637	7.202	5.493	1.190	0.435	-1.515	-0.429	1.473	5.845	6.822	6.900
1985	6.691	7.128	6.515	5.354	1.488	-0.753	-2.850	0.168	2.774	3.811	5.850	7.014
1986	7.275	7.338	6.971	5.123	-0.090	-1.138	-2.210	0.216	3.028	4.198	5.948	7.699
1987	8.209	7.203	5.859	4.532	0.791	-0.843	-1.668	0.029	3.309	5.299	7.489	7.266
1988	8.052	7.224	7.352	5.810	1.944	-1.111	-2.008	-0.082	3.248	4.944	6.013	6.783
1989	7.178	6.699	6.408	5.171	1.374	0.163	-2.057	0.073	3.067	5.165	5.110	6.415
1990	7.285	5.868	5.493	4.407	1.440	0.894	-1.389	-0.011	2.143	5.912	7.443	7.366
1991	7.554	7.328	7.235	4.587	1.138	-1.060	-2.438	-0.166	2.391	5.311	5.925	6.377
1992	6.823	6.498	5.610	3.900	0.771	0.356	-2.096	0.180	2.347	4.889	5.651	6.817
1993	6.895	6.583	6.448	5.415	1.438	-1.548	-1.123	-0.451	2.616	5.397	7.307	7.930
1994	7.393	7.417	6.579	5.550	1.247	-1.364	-1.897	-0.501	3.290	4.616	6.696	7.707
1995	7.266	6.961	6.953	4.357	0.258	-0.635	-0.749	0.582	3.042	5.039	6.452	6.649
1996	7.289	7.694	7.005	6.063	2.421	-0.997	-2.040	1.356	3.190	5.349	6.485	7.534
1997	7.601	7.390	6.381	4.213	0.787	-2.027	-1.846	0.691	3.752	6.012	7.323	8.124
1998	8.740	8.903	7.892	5.913	0.260	0.357	-1.532	1.337	2.704	6.142	6.753	7.173
1999	7.473	7.726	7.293	5.563	2.162	-0.900	-1.903	-0.723	3.028	5.099	5.545	6.987
2000	7.595	7.550	6.885	5.141	1.692	-0.320	-1.356	1.168	2.676	5.492	5.605	6.740
2001	7.303	7.477	7.029	4.697	1.750	-0.236	-0.637	-0.502	3.782	5.780	6.957	7.180
2002	7.159	8.034	7.462	5.888	2.156	0.894	0.080	0.546	3.811	6.185	6.930	7.852
2003	7.927	8.028	7.490	5.241	2.231	-0.363	-1.630	0.455	2.581	4.881	6.056	7.597
2004	7.721	7.318	6.917	5.016	0.762	-0.588	-0.823	0.512	3.584	5.527	6.589	7.426
2005	7.498	8.002	7.302	5.230	0.915	-1.334	-1.216	-0.207	3.101	6.055	6.567	7.938
2006	7.622	7.689	7.539	5.589	-0.325	0.303	-2.305	1.341	2.989	5.592	7.000	7.524
2007	8.066	7.750	7.393	5.859	2.073	-0.438	-0.598	0.326	3.667	5.301	6.149	7.128
2008	7.725	6.868	6.077	4.306	-0.026	-0.855	-1.819	0.440	2.447	5.807	6.582	7.542
2009	7.450	7.679	6.826	5.466	1.566	-1.361	-0.710	-0.118	3.297	5.362	7.786	7.974
2010	7.960	8.433	7.829	5.494	2.035	0.661	-1.216	0.050	3.304	5.722	6.197	7.685
2011	7.454	7.779	7.180	5.545	1.068	-0.533	-1.130	0.312	3.832	5.305	6.736	7.258
2012	7.227	7.218	6.624	5.776	0.988	-0.592	-1.871	-0.802	2.931	5.629	7.292	8.230
2013	7.362	8.083	7.376	4.003	2.331	0.781	-0.716	0.363	2.573	5.939	6.832	7.988

2014	7.607	7.441	6.886	5.403	1.908	0.241	-0.449	0.565	4.551	6.069	6.794	7.981
2015	7.261	7.705	7.081	6.092	2.705	0.638	-1.419	0.567	3.876	5.612	7.104	7.411
2016	7.743	8.828	7.378	5.834	1.081	-0.651	-1.421	0.588	2.748	5.539	5.702	7.310
Promedio	7.490	7.504	6.921	5.189	1.260	-0.474	-1.440	0.275	3.042	5.400	6.545	7.374
Min	6.691	5.868	5.493	3.900	-0.325	-2.027	-2.850	-0.802	1.473	3.811	5.110	6.377
Max	8.740	8.903	7.892	6.092	2.705	0.894	0.080	1.476	4.551	6.185	7.786	8.230
Desv. Std	0.402	0.599	0.561	0.610	0.780	0.776	0.643	0.581	0.592	0.533	0.661	0.486

Anexo 40. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huatanay				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	7.918	8.061	6.665	4.502	1.411	-0.493	-0.087	1.436	3.196	5.824	7.057	7.770
1982	7.627	7.596	6.846	4.703	0.668	-0.300	-0.108	1.322	3.510	5.966	7.416	7.012
1983	7.762	7.819	7.134	5.627	2.176	0.704	0.872	2.663	3.891	4.953	5.489	7.010
1984	7.306	7.862	7.226	5.483	1.853	1.318	-0.229	0.883	2.212	6.247	6.870	6.851
1985	6.916	7.384	6.536	5.413	2.095	0.100	-1.623	1.124	3.420	4.186	6.006	6.985
1986	7.546	7.647	7.066	5.158	0.774	-0.427	-0.901	1.499	3.876	4.563	5.912	7.716
1987	8.584	7.509	5.996	4.566	1.535	0.050	-0.332	1.174	4.208	5.671	7.436	7.130
1988	8.327	7.484	7.410	5.844	2.636	-0.242	-0.993	0.865	3.924	5.058	5.993	6.752
1989	7.571	7.034	6.451	5.268	2.021	1.128	-0.734	1.327	3.959	5.548	5.235	6.380
1990	7.516	6.163	5.441	4.388	2.190	1.868	-0.042	1.190	2.940	6.251	7.443	7.323
1991	7.857	7.542	7.294	4.591	1.928	0.061	-1.190	0.822	3.030	5.661	5.937	6.284
1992	7.136	6.828	5.628	3.926	1.564	1.290	-0.839	1.430	3.141	5.222	5.626	6.696
1993	7.182	6.808	6.432	5.416	2.222	-0.626	0.200	0.727	3.369	5.786	7.309	7.939
1994	7.714	7.665	6.622	5.606	2.043	-0.379	-0.539	0.598	4.024	5.058	6.750	7.648
1995	7.387	6.981	6.885	4.206	0.841	0.211	0.358	1.508	3.200	5.320	6.274	6.361
1996	7.539	7.940	6.977	5.987	3.053	-0.088	-0.870	2.311	3.787	5.545	6.416	7.442
1997	7.921	7.554	6.471	4.269	1.598	-0.808	-0.427	2.027	4.510	6.437	7.399	8.169
1998	9.075	9.183	7.975	6.000	1.139	1.333	-0.135	2.496	3.429	6.457	6.815	7.074
1999	7.706	7.929	7.360	5.584	2.898	0.070	-0.810	0.342	3.750	5.406	5.572	6.983
2000	7.909	7.749	6.944	5.243	2.470	0.715	0.035	2.331	3.486	5.912	5.706	6.715
2001	7.625	7.739	7.303	4.870	2.568	0.717	0.826	0.574	4.482	6.052	6.874	7.029
2002	7.365	8.207	7.566	5.969	2.756	1.586	1.382	1.580	4.438	6.521	6.864	7.783
2003	8.128	8.267	7.570	5.196	2.939	0.653	-0.323	1.659	3.347	5.244	6.098	7.548
2004	8.101	7.570	6.930	5.156	1.542	0.127	0.283	1.415	4.272	5.907	6.585	7.325
2005	7.819	8.163	7.294	5.213	1.610	-0.395	-0.104	0.967	3.823	6.521	6.580	7.907
2006	7.973	7.933	7.607	5.591	0.368	1.180	-1.165	2.400	3.663	6.036	6.838	7.325

2007	8.345	7.998	7.460	5.880	2.865	0.103	0.667	1.247	4.013	5.547	6.135	6.998
2008	8.125	7.074	6.107	4.469	0.799	-0.082	-0.587	1.676	3.209	6.232	6.538	7.618
2009	7.741	7.860	6.753	5.458	2.236	-0.483	0.458	1.071	3.927	5.585	7.814	7.902
2010	8.227	8.618	7.760	5.426	2.876	1.343	0.142	1.012	4.007	6.189	6.322	7.623
2011	7.771	8.060	7.265	5.574	1.805	0.430	0.215	1.437	4.555	5.764	6.661	7.157
2012	7.487	7.526	6.632	5.784	1.754	0.306	-0.682	0.200	3.543	5.945	7.306	8.244
2013	7.564	8.317	7.448	3.980	2.989	1.467	0.189	1.388	3.225	6.349	6.864	7.950
2014	8.017	7.603	6.885	5.310	2.747	1.134	0.751	1.643	5.173	6.354	6.762	7.895
2015	7.500	7.874	7.135	6.180	3.527	1.397	-0.180	1.569	4.666	5.879	7.048	7.232
2016	8.025	9.104	7.366	5.911	1.862	0.347	-0.152	1.729	3.504	5.921	5.790	7.265
Promedio	7.786	7.740	6.957	5.215	2.010	0.425	-0.186	1.379	3.742	5.753	6.548	7.307
Min	6.916	6.163	5.441	3.926	0.368	-0.808	-1.623	0.200	2.212	4.186	5.235	6.284
Max	9.075	9.183	7.975	6.180	3.527	1.868	1.382	2.663	5.173	6.521	7.814	8.244
Desv. Std	0.423	0.593	0.573	0.619	0.770	0.739	0.659	0.589	0.580	0.551	0.651	0.513

Anexo 41. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Quiquijana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	6.594	6.723	5.725	3.570	-0.051	-2.811	-2.031	-0.482	1.698	4.310	5.712	6.616
1982	6.363	6.282	6.083	3.738	-0.773	-2.524	-2.119	-0.820	1.935	4.401	6.098	5.649
1983	6.199	6.282	6.110	4.586	0.605	-1.651	-1.241	0.644	2.443	3.447	4.067	5.856
1984	6.078	6.647	6.379	4.566	0.538	-0.768	-2.185	-1.239	0.587	4.851	5.677	5.634
1985	5.512	6.118	5.609	4.548	0.884	-1.789	-3.561	-0.750	2.044	2.598	4.630	5.750
1986	6.265	6.285	6.164	4.276	-0.718	-2.485	-2.959	-0.633	2.331	3.013	4.609	6.487
1987	7.268	5.983	4.970	3.524	0.190	-2.091	-2.329	-0.888	2.555	4.085	6.145	5.833
1988	7.052	6.071	6.487	4.891	1.328	-2.441	-2.830	-1.105	2.491	3.634	4.517	5.505
1989	6.204	5.615	5.534	4.323	0.760	-0.958	-2.709	-0.809	2.380	3.977	3.729	4.974
1990	6.189	4.639	4.455	3.356	0.854	-0.258	-2.091	-0.924	1.187	4.806	6.210	6.057
1991	6.507	6.118	6.304	3.635	0.466	-2.349	-3.183	-1.106	1.604	4.097	4.540	4.977
1992	5.764	5.237	4.500	2.803	0.059	-0.875	-2.813	-0.699	1.539	3.723	4.252	5.512
1993	5.882	5.373	5.534	4.511	0.936	-2.785	-1.794	-1.258	1.884	4.394	6.032	6.762
1994	6.420	6.343	5.711	4.702	0.749	-2.579	-2.523	-1.443	2.539	3.478	5.431	6.444
1995	6.132	5.619	6.006	3.283	-0.545	-2.017	-1.665	-0.549	1.866	3.700	4.960	5.147
1996	6.247	6.664	6.057	5.192	1.875	-2.233	-2.822	0.425	2.287	4.079	5.202	6.316
1997	6.673	6.298	5.498	3.255	0.148	-3.310	-2.503	0.014	3.129	4.886	6.044	6.899
1998	7.836	7.852	7.003	4.981	-0.401	-0.714	-2.123	0.429	1.838	4.979	5.505	5.862

1999	6.429	6.715	6.549	4.771	1.595	-2.161	-2.585	-1.522	2.232	4.100	4.147	5.698
2000	6.682	6.503	6.069	4.266	1.090	-1.479	-2.020	0.366	1.895	4.447	4.198	5.495
2001	6.352	6.458	6.351	4.006	1.235	-1.274	-1.205	-1.358	3.043	4.623	5.538	5.823
2002	6.049	6.960	6.678	5.090	1.623	-0.251	-0.454	-0.261	3.039	5.106	5.618	6.559
2003	6.877	6.952	6.646	4.292	1.606	-1.625	-2.231	-0.367	1.839	3.701	4.675	6.272
2004	6.771	6.216	6.006	4.198	-0.032	-1.874	-1.539	-0.302	2.876	4.365	5.226	6.070
2005	6.459	6.849	6.319	4.255	0.183	-2.683	-1.845	-1.192	2.356	4.971	5.225	6.651
2006	6.629	6.540	6.697	4.658	-1.061	-0.915	-3.005	0.448	2.124	4.500	5.682	6.115
2007	7.034	6.669	6.552	4.986	1.515	-1.687	-1.188	-0.612	2.888	4.123	4.779	5.769
2008	6.859	5.732	5.159	3.341	-0.731	-2.087	-2.570	-0.543	1.593	4.803	5.227	6.366
2009	6.425	6.572	5.853	4.439	0.887	-2.791	-1.379	-1.191	2.455	4.126	6.583	6.724
2010	7.021	7.373	6.879	4.505	1.465	-0.576	-1.944	-0.949	2.420	4.590	4.819	6.366
2011	6.439	6.819	6.356	4.616	0.439	-1.734	-1.696	-0.554	3.103	4.163	5.345	5.941
2012	6.217	6.196	5.732	4.928	0.348	-1.826	-2.586	-1.849	2.064	4.496	5.938	7.063
2013	6.323	6.996	6.416	2.926	1.674	-0.491	-1.506	-0.603	1.633	4.899	5.537	6.789
2014	6.641	6.254	5.943	4.448	1.301	-0.989	-1.040	-0.188	3.954	4.966	5.394	6.639
2015	6.227	6.576	6.190	5.270	2.116	-0.645	-2.120	-0.442	3.111	4.386	5.693	5.963
2016	6.611	7.728	6.352	4.907	0.434	-1.816	-1.982	-0.331	1.948	4.408	4.320	6.097
Promedio	6.479	6.396	6.024	4.268	0.628	-1.709	-2.122	-0.629	2.248	4.256	5.203	6.074
Min	5.512	4.639	4.455	2.803	-1.061	-3.310	-3.561	-1.849	0.587	2.598	3.729	4.974
Max	7.836	7.852	7.003	5.270	2.116	-0.251	-0.454	0.644	3.954	5.106	6.583	7.063
Desv. Std	0.439	0.642	0.596	0.663	0.828	0.821	0.673	0.604	0.644	0.576	0.710	0.535

Anexo 42. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6												
Variable: Temperatura (C°)							Unidad Hidrográfica : Subcuenca Chuquicahuana					
Periodo: 1981-2016							Operador: Pisco-Senamhi					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	5.784	5.436	4.565	3.075	0.358	-1.749	-0.919	0.744	2.061	4.463	4.970	5.771
1982	5.550	4.899	4.970	3.261	-0.303	-1.442	-0.841	0.441	2.446	4.648	5.536	4.686
1983	5.327	4.823	4.927	4.181	1.164	-0.473	0.082	1.863	2.841	3.570	3.216	4.941
1984	5.286	5.357	5.364	4.099	0.996	0.239	-0.969	0.023	0.944	5.070	5.064	4.792
1985	4.558	4.876	4.532	4.198	1.355	-0.681	-2.312	0.392	2.438	2.779	4.061	4.952
1986	5.487	4.986	5.151	3.908	-0.201	-1.496	-1.714	0.662	2.729	3.153	3.901	5.688
1987	6.515	4.547	3.801	3.040	0.688	-0.988	-0.990	0.392	2.927	4.261	5.444	4.897
1988	6.265	4.712	5.440	4.479	1.796	-1.439	-1.656	0.060	2.854	3.626	3.715	4.711
1989	5.439	4.377	4.507	3.958	1.263	0.100	-1.441	0.466	2.752	4.194	3.050	3.967

1990	5.315	3.179	3.258	2.855	1.296	0.782	-0.912	0.295	1.532	4.924	5.566	5.242
1991	5.654	4.726	5.206	3.214	0.948	-1.197	-1.955	0.068	1.983	4.165	3.814	3.992
1992	4.882	3.763	3.167	2.298	0.548	0.184	-1.559	0.539	1.871	3.901	3.522	4.607
1993	5.084	3.916	4.433	4.097	1.423	-1.602	-0.596	0.063	2.283	4.621	5.360	5.969
1994	5.641	5.029	4.624	4.296	1.236	-1.431	-1.226	-0.159	2.923	3.668	4.753	5.581
1995	5.242	4.064	4.903	2.791	-0.093	-0.998	-0.555	0.577	2.141	3.815	4.215	4.137
1996	5.387	5.379	4.890	4.779	2.278	-1.184	-1.636	1.502	2.545	4.180	4.477	5.470
1997	5.872	4.945	4.357	2.791	0.675	-2.012	-1.097	1.410	3.619	5.068	5.343	6.024
1998	7.053	6.488	5.882	4.521	0.108	0.354	-0.799	1.583	2.173	5.076	4.803	4.946
1999	5.548	5.421	5.561	4.402	2.004	-1.092	-1.363	-0.239	2.563	4.335	3.380	4.829
2000	5.920	5.212	5.042	3.860	1.571	-0.387	-0.791	1.562	2.274	4.661	3.414	4.686
2001	5.600	5.209	5.398	3.705	1.728	-0.213	0.045	-0.036	3.345	4.753	4.768	4.876
2002	5.128	5.656	5.626	4.725	2.105	0.709	0.767	0.987	3.367	5.278	4.954	5.678
2003	6.030	5.603	5.592	3.844	2.055	-0.537	-0.923	0.876	2.222	3.907	3.953	5.404
2004	5.990	4.881	4.932	3.842	0.401	-0.887	-0.386	0.865	3.238	4.529	4.524	5.198
2005	5.592	5.483	5.183	3.833	0.625	-1.565	-0.646	0.082	2.723	5.088	4.512	5.781
2006	5.830	5.189	5.677	4.254	-0.514	0.099	-1.714	1.617	2.481	4.686	5.062	5.202
2007	6.181	5.289	5.529	4.589	1.965	-0.668	-0.044	0.496	3.241	4.255	4.059	4.851
2008	6.111	4.353	4.031	2.858	-0.265	-1.064	-1.335	0.680	1.934	4.980	4.526	5.513
2009	5.582	5.222	4.713	3.957	1.331	-1.721	-0.196	0.042	2.813	4.274	5.932	5.837
2010	6.222	6.062	5.736	4.061	1.933	0.381	-0.793	0.263	2.773	4.725	4.091	5.518
2011	5.605	5.533	5.293	4.194	0.993	-0.606	-0.430	0.640	3.454	4.284	4.629	5.071
2012	5.383	4.884	4.636	4.583	0.888	-0.724	-1.302	-0.564	2.457	4.683	5.240	6.327
2013	5.520	5.676	5.314	2.457	2.170	0.508	-0.333	0.605	2.023	5.083	4.840	5.971
2014	5.846	4.820	4.807	4.010	1.749	0.135	0.170	1.072	4.358	5.141	4.659	5.725
2015	5.340	5.197	5.127	4.946	2.579	0.357	-0.841	0.788	3.546	4.573	4.973	4.991
2016	5.681	6.400	5.174	4.523	0.948	-0.664	-0.674	0.929	2.390	4.626	3.590	5.244
Promedio	5.651	5.044	4.926	3.847	1.106	-0.638	-0.886	0.600	2.618	4.418	4.498	5.197
Min	4.558	3.179	3.167	2.298	-0.514	-2.012	-2.312	-0.564	0.944	2.779	3.050	3.967
Max	7.053	6.488	5.882	4.946	2.579	0.782	0.767	1.863	4.358	5.278	5.932	6.327
Desv. Std	0.467	0.679	0.640	0.698	0.816	0.786	0.658	0.582	0.652	0.584	0.740	0.573

Anexo 43. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :			Subcuenca Pitumarca		
Periodo:	1981-2016						Operador:			Pisco-Senamhi		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	2.822	2.550	1.623	-0.740	-5.996	-9.681	-9.071	-6.701	-4.110	-0.946	0.626	2.838
1982	2.668	2.085	2.284	-0.597	-6.979	-9.245	-9.620	-7.526	-4.049	-1.033	0.805	1.096
1983	1.674	1.471	1.580	-0.293	-6.006	-8.859	-9.084	-5.816	-3.380	-1.995	-1.366	1.955
1984	2.415	2.705	2.520	0.357	-5.095	-6.949	-9.487	-7.883	-5.570	-0.177	0.832	1.658
1985	1.693	2.045	1.531	0.465	-4.301	-7.678	-10.809	-6.842	-3.457	-3.037	-0.777	1.730
1986	2.486	2.017	2.284	0.080	-6.867	-8.668	-10.203	-7.362	-3.516	-2.565	-0.607	2.523
1987	3.422	1.382	0.492	-1.038	-5.655	-8.552	-9.852	-7.527	-3.631	-1.466	1.174	1.725
1988	3.297	1.689	2.601	0.734	-4.298	-8.909	-9.710	-7.499	-3.025	-1.591	-0.862	1.410
1989	2.311	1.138	1.436	0.038	-4.745	-7.178	-9.760	-7.455	-3.627	-1.502	-1.954	0.629
1990	2.414	-0.064	0.130	-1.136	-5.002	-6.519	-9.365	-7.516	-5.106	-0.277	1.396	2.024
1991	2.556	1.705	2.166	-0.769	-5.711	-9.482	-10.558	-7.512	-4.263	-1.188	-0.851	0.654
1992	1.713	0.450	-0.189	-2.213	-6.394	-7.354	-10.020	-7.361	-4.725	-1.690	-1.150	1.555
1993	2.005	0.872	1.477	0.186	-5.057	-9.602	-9.119	-7.844	-4.089	-0.833	1.086	2.907
1994	2.566	2.157	1.665	0.530	-5.152	-9.269	-9.819	-8.001	-3.286	-2.169	0.273	2.498
1995	2.341	1.332	2.093	-1.049	-6.504	-8.579	-8.850	-6.948	-3.529	-1.759	-0.153	1.257
1996	2.476	2.584	2.053	1.213	-3.649	-8.688	-9.967	-5.610	-3.458	-1.182	0.195	2.509
1997	2.875	2.197	1.218	-1.436	-6.125	-10.935	-10.335	-6.767	-2.806	-0.747	0.635	2.655
1998	3.927	3.406	2.752	0.336	-6.769	-6.989	-9.529	-6.044	-4.224	-0.244	0.246	1.901
1999	2.714	2.648	2.752	0.822	-3.920	-8.795	-9.417	-7.735	-3.640	-0.815	-1.265	1.632
2000	2.934	2.467	2.162	-0.112	-4.713	-8.036	-9.327	-5.997	-4.180	-0.821	-1.555	1.344
2001	2.555	2.223	2.173	-0.399	-4.470	-7.456	-8.773	-7.923	-2.549	-0.477	0.517	1.802
2002	2.227	2.883	2.589	0.830	-3.818	-6.025	-7.533	-6.577	-2.554	0.002	0.612	2.572
2003	3.065	2.684	2.679	0.073	-4.027	-8.439	-9.505	-6.903	-4.114	-1.910	-0.835	2.204
2004	2.839	1.910	1.921	-0.296	-6.194	-8.053	-8.364	-6.100	-2.703	-1.032	-0.030	1.972
2005	2.429	2.659	2.229	-0.144	-5.892	-9.618	-8.708	-8.071	-3.391	-0.338	-0.031	2.658
2006	2.652	2.097	2.674	0.453	-7.037	-7.249	-10.450	-5.850	-3.941	-0.990	0.742	2.066
2007	3.084	2.213	2.551	0.748	-4.091	-7.539	-8.162	-6.690	-2.165	-1.011	-0.527	1.697
2008	2.965	1.332	0.825	-1.480	-7.065	-8.392	-10.134	-7.511	-4.695	-0.466	0.064	2.308
2009	2.565	2.417	1.785	0.037	-4.947	-9.688	-8.470	-8.200	-3.326	-1.152	1.735	2.788
2010	3.277	3.205	2.940	0.247	-4.239	-6.473	-9.300	-7.343	-3.508	-0.863	-0.701	2.470
2011	2.609	2.678	2.406	0.296	-5.466	-8.361	-8.890	-6.893	-2.526	-1.329	0.286	1.928
2012	2.377	1.876	1.650	0.704	-5.793	-8.409	-9.876	-8.535	-3.761	-0.781	0.764	3.168
2013	2.504	2.739	2.196	-1.595	-3.962	-6.476	-7.934	-6.942	-4.432	-0.288	0.405	2.875

2014	2.539	1.887	1.767	0.199	-4.942	-7.686	-8.007	-6.359	-1.281	-0.061	0.136	2.683
2015	2.408	2.274	2.051	1.076	-3.848	-6.965	-9.571	-7.021	-2.927	-1.046	0.367	1.783
2016	2.469	3.397	1.976	0.358	-5.745	-8.448	-9.062	-6.897	-4.093	-1.048	-1.336	2.073
Promedio	2.608	2.092	1.918	-0.098	-5.291	-8.201	-9.351	-7.104	-3.601	-1.078	-0.031	2.043
Min	1.674	-0.064	-0.189	-2.213	-7.065	-10.935	-10.809	-8.535	-5.570	-3.037	-1.954	0.629
Max	3.927	3.406	2.940	1.213	-3.649	-6.025	-7.533	-5.610	-1.281	0.002	1.735	3.168
Desv. Std	0.467	0.764	0.727	0.821	1.049	1.125	0.774	0.735	0.848	0.698	0.906	0.624

Anexo 44. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Sallca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Sallca				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	2.832	2.651	1.678	-0.859	-5.961	-9.900	-9.380	-7.114	-4.650	-0.987	0.509	2.766
1981	2.723	2.194	2.348	-0.659	-6.993	-9.380	-9.757	-7.888	-4.453	-1.016	0.793	1.007
1981	1.798	1.610	1.618	-0.255	-5.807	-8.916	-9.197	-6.145	-3.818	-2.015	-1.515	1.888
1981	2.465	2.823	2.612	0.273	-4.948	-7.046	-9.623	-8.194	-6.059	-0.130	0.784	1.594
1981	1.650	2.174	1.612	0.487	-4.145	-7.693	-10.961	-7.181	-3.839	-3.006	-0.813	1.678
1981	2.551	2.130	2.346	0.103	-6.775	-8.868	-10.512	-7.718	-3.978	-2.648	-0.720	2.451
1981	3.488	1.446	0.566	-1.108	-5.504	-8.671	-9.869	-7.884	-4.183	-1.531	1.075	1.634
1981	3.357	1.825	2.689	0.736	-4.135	-9.072	-9.912	-7.915	-3.425	-1.681	-1.023	1.366
1981	2.342	1.346	1.514	0.053	-4.640	-7.305	-10.012	-7.820	-4.058	-1.523	-1.989	0.480
1981	2.401	0.075	0.178	-1.182	-4.890	-6.616	-9.576	-7.912	-5.656	-0.353	1.290	1.906
1981	2.565	1.752	2.189	-0.769	-5.541	-9.602	-10.754	-7.963	-4.770	-1.306	-0.955	0.547
1981	1.785	0.556	-0.118	-2.241	-6.221	-7.463	-10.151	-7.709	-5.238	-1.687	-1.244	1.472
1981	2.074	0.952	1.543	0.175	-4.854	-9.720	-9.312	-8.152	-4.531	-0.809	0.984	2.873
1981	2.649	2.277	1.721	0.533	-4.932	-9.346	-9.947	-8.366	-3.692	-2.142	0.226	2.423
1981	2.392	1.364	2.157	-1.090	-6.372	-8.759	-9.112	-7.407	-4.175	-1.829	-0.290	1.146
1981	2.500	2.696	2.038	1.106	-3.488	-8.813	-10.108	-5.951	-4.013	-1.303	0.054	2.436
1981	2.966	2.288	1.299	-1.461	-5.929	-10.950	-10.402	-6.950	-3.186	-0.782	0.528	2.594
1981	4.011	3.491	2.802	0.300	-6.620	-7.045	-9.597	-6.434	-4.758	-0.333	0.131	1.802
1981	2.690	2.778	2.843	0.809	-3.808	-8.911	-9.457	-7.943	-4.118	-0.794	-1.413	1.545
1981	3.020	2.577	2.252	-0.105	-4.527	-8.097	-9.480	-6.294	-4.599	-0.781	-1.604	1.367
1981	2.665	2.423	2.378	-0.227	-4.252	-7.521	-8.861	-8.179	-2.964	-0.502	0.386	1.751
1981	2.249	3.009	2.694	0.879	-3.583	-6.113	-7.602	-6.850	-2.963	-0.001	0.535	2.524
1981	3.155	2.821	2.756	0.062	-3.836	-8.541	-9.587	-7.199	-4.530	-1.885	-0.884	2.153
1981	2.932	2.048	2.025	-0.212	-6.076	-8.164	-8.506	-6.352	-3.107	-1.051	-0.120	1.914
1981	2.497	2.762	2.247	-0.137	-5.805	-9.769	-8.885	-8.491	-3.889	-0.443	-0.128	2.535

1981	2.706	2.223	2.746	0.371	-6.901	-7.382	-10.592	-6.187	-4.452	-0.965	0.650	1.970
1981	3.154	2.357	2.644	0.735	-3.914	-7.657	-8.258	-7.035	-2.587	-1.064	-0.607	1.578
1981	3.090	1.441	0.889	-1.523	-6.950	-8.571	-10.320	-7.874	-5.197	-0.414	-0.019	2.230
1981	2.599	2.527	1.781	-0.026	-4.842	-9.870	-8.576	-8.606	-3.782	-1.197	1.671	2.706
1981	3.348	3.362	2.935	0.177	-4.121	-6.632	-9.509	-7.689	-3.986	-0.919	-0.862	2.338
1981	2.638	2.807	2.401	0.248	-5.202	-8.438	-8.930	-7.178	-2.948	-1.400	0.141	1.875
1981	2.443	2.035	1.685	0.716	-5.607	-8.531	-10.028	-8.894	-4.221	-0.802	0.664	3.140
1981	2.582	2.836	2.216	-1.653	-3.816	-6.603	-8.066	-7.273	-4.914	-0.252	0.328	2.865
1981	2.658	1.978	1.793	0.189	-4.762	-7.699	-8.075	-6.625	-1.662	-0.089	-0.011	2.555
1981	2.441	2.404	2.144	1.135	-3.710	-7.090	-9.697	-7.369	-3.334	-1.078	0.255	1.678
1981	2.493	3.528	2.002	0.375	-5.591	-8.489	-9.130	-7.218	-4.539	-1.030	-1.383	2.025
Promedio	2.664	2.210	1.978	-0.112	-5.141	-8.312	-9.493	-7.443	-4.063	-1.104	-0.127	1.967
Min	1.650	0.075	-0.118	-2.241	-6.993	-10.950	-10.961	-8.894	-6.059	-3.006	-1.989	0.480
Max	4.011	3.528	2.935	1.135	-3.488	-6.113	-7.602	-5.951	-1.662	-0.001	1.671	3.140
Desv. Std	0.478	0.767	0.729	0.832	1.069	1.133	0.793	0.751	0.881	0.700	0.907	0.635

Anexo 45. Información de temperaturas mínimas históricas Subcuenca Hercca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Hercca			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	4.338	4.656	3.326	0.862	-3.285	-6.184	-5.650	-3.325	-1.572	1.185	2.263	4.089
1982	4.248	4.131	3.850	1.063	-4.237	-5.642	-5.589	-3.890	-0.986	1.417	2.992	2.676
1983	3.729	3.922	3.576	1.917	-2.650	-4.855	-4.874	-2.259	-0.611	0.143	0.317	3.193
1984	4.001	4.662	4.286	1.986	-2.233	-3.553	-5.607	-4.215	-2.795	2.103	2.671	3.092
1985	3.036	4.200	3.381	2.335	-1.532	-4.071	-6.901	-3.597	-0.776	-0.670	1.430	3.266
1986	4.169	4.199	3.995	1.968	-3.856	-5.384	-6.480	-3.738	-0.871	-0.411	1.182	3.962
1987	5.138	3.598	2.414	0.697	-2.703	-4.944	-5.584	-3.899	-1.067	0.759	2.872	3.076
1988	4.926	3.929	4.302	2.496	-1.399	-5.503	-6.024	-4.205	-0.465	0.240	0.755	2.955
1989	3.975	3.651	3.337	1.941	-1.889	-3.748	-5.989	-3.819	-0.935	0.878	0.159	1.928
1990	3.866	2.299	1.984	0.642	-2.141	-3.017	-5.613	-4.017	-2.333	1.738	3.072	3.480
1991	4.145	3.855	3.930	1.137	-2.617	-5.550	-6.669	-4.219	-1.568	0.750	1.032	2.067
1992	3.436	2.807	1.685	-0.184	-3.227	-3.789	-6.073	-3.775	-1.975	0.601	0.742	2.874
1993	3.729	3.060	3.274	2.044	-1.985	-5.780	-5.286	-4.046	-1.254	1.450	2.777	4.311
1994	4.280	4.296	3.412	2.299	-2.110	-5.487	-5.848	-4.401	-0.547	0.192	2.144	3.859
1995	4.021	3.315	3.831	0.751	-3.478	-5.094	-5.199	-3.612	-1.051	0.446	1.616	2.433
1996	3.969	4.628	3.570	2.763	-0.938	-5.188	-6.151	-2.418	-1.111	0.794	1.815	3.810
1997	4.536	4.233	3.094	0.481	-2.914	-6.610	-5.939	-2.715	0.223	1.546	2.533	4.155

1998	5.728	5.684	4.593	2.193	-3.628	-3.441	-5.400	-2.706	-1.578	1.729	2.017	3.158
1999	4.100	4.781	4.496	2.507	-1.256	-5.176	-5.502	-4.031	-1.044	1.470	0.474	3.023
2000	4.633	4.521	3.905	1.728	-1.744	-4.346	-5.373	-2.510	-1.356	1.500	0.379	3.007
2001	4.324	4.577	4.278	1.791	-1.447	-3.876	-4.664	-4.072	-0.051	1.595	2.096	3.104
2002	3.674	5.000	4.450	2.754	-0.872	-2.788	-3.544	-2.973	0.066	2.192	2.447	3.963
2003	4.703	4.883	4.408	1.796	-1.169	-4.780	-5.407	-3.318	-1.333	0.459	1.146	3.646
2004	4.627	4.139	3.778	1.780	-3.250	-4.711	-4.711	-2.767	-0.070	1.200	1.831	3.464
2005	4.160	4.751	3.919	1.756	-3.031	-5.960	-5.049	-4.447	-0.783	1.688	1.787	3.948
2006	4.399	4.436	4.510	2.179	-3.913	-3.883	-6.459	-2.484	-1.238	1.359	2.635	3.448
2007	4.771	4.496	4.389	2.556	-1.208	-4.190	-4.443	-3.470	0.298	1.037	1.318	3.023
2008	4.840	3.603	2.755	0.404	-4.053	-5.050	-6.220	-3.958	-1.955	1.776	1.846	3.738
2009	4.172	4.540	3.487	1.737	-2.088	-6.079	-4.679	-4.630	-0.646	1.021	3.469	4.090
2010	4.935	5.416	4.512	1.966	-1.397	-3.290	-5.609	-3.839	-0.842	1.284	1.086	3.783
2011	4.212	4.843	4.020	2.052	-2.209	-4.632	-4.843	-3.336	0.063	0.804	1.975	3.368
2012	4.043	4.167	3.448	2.632	-2.584	-4.765	-5.891	-4.853	-1.009	1.452	2.554	4.715
2013	4.275	4.933	3.995	0.216	-1.030	-3.160	-4.282	-3.442	-1.624	1.947	2.174	4.352
2014	4.405	3.980	3.525	1.980	-1.879	-3.895	-4.165	-2.822	1.266	2.072	1.870	3.905
2015	3.982	4.526	3.972	3.060	-0.887	-3.593	-5.543	-3.483	-0.001	1.258	2.251	3.166
2016	4.143	5.634	3.826	2.379	-2.612	-4.632	-5.018	-3.280	-1.188	1.335	0.699	3.535
Promedio	4.269	4.288	3.709	1.741	-2.318	-4.629	-5.452	-3.571	-0.909	1.121	1.790	3.435
Min	3.036	2.299	1.685	-0.184	-4.237	-6.610	-6.901	-4.853	-2.795	-0.670	0.159	1.928
Max	5.728	5.684	4.593	3.060	-0.872	-2.788	-3.544	-2.259	1.266	2.192	3.469	4.715
Desv. Std	0.500	0.724	0.689	0.805	0.987	0.986	0.739	0.668	0.804	0.680	0.865	0.624

Anexo 46. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Machu Picchu 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Temperatura (C°)					Unidad Hidrográfica :			Subcuenca Machu Picchu			
Periodo:	1981-2016					Operador:			Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	12.835	12.543	12.349	11.207	9.808	8.411	8.560	8.661	9.409	11.707	13.698	13.613
1982	12.479	12.454	12.220	11.523	9.347	8.603	8.901	9.064	10.356	11.844	13.392	13.286
1983	13.856	13.274	13.250	12.686	10.541	8.883	9.291	9.859	10.544	11.854	13.033	12.923
1984	11.520	12.059	12.201	11.382	10.294	9.094	8.093	8.358	9.715	11.971	13.107	12.792
1985	12.264	11.952	12.294	11.504	10.229	8.281	7.502	9.477	10.440	11.584	12.446	12.652
1986	12.475	11.760	11.916	11.698	9.184	8.775	7.590	8.935	10.347	11.377	13.165	13.331
1987	13.018	12.984	12.276	11.833	10.034	8.874	8.922	9.661	11.148	12.316	14.122	13.923
1988	13.270	12.972	12.488	12.001	10.368	8.677	8.615	9.970	11.032	12.256	13.378	12.891
1989	12.258	11.577	11.429	11.332	9.699	8.863	7.835	8.643	10.608	11.832	12.785	13.337
1990	12.633	12.158	12.293	11.950	10.172	8.791	8.167	9.176	10.236	12.218	13.846	13.319

1991	13.322	13.008	12.490	11.633	10.311	8.655	8.305	9.350	10.117	11.688	13.000	13.092
1992	12.732	12.494	12.175	11.699	10.580	9.180	7.834	8.430	10.080	11.486	12.926	13.308
1993	12.304	12.084	11.899	11.701	10.173	8.695	8.684	8.357	9.950	11.674	13.483	13.394
1994	12.542	12.258	12.046	11.790	10.207	8.548	8.478	9.167	10.943	11.835	13.546	13.788
1995	13.253	12.959	12.345	11.974	9.990	9.134	9.419	10.227	11.014	12.373	13.546	13.207
1996	12.444	12.560	12.512	12.132	10.557	8.518	8.371	9.601	10.976	12.303	13.241	13.305
1997	12.431	12.238	11.846	11.232	9.562	7.993	8.876	8.672	10.918	12.710	13.817	14.434
1998	14.364	14.156	13.751	13.128	10.531	9.567	9.098	10.145	11.086	12.583	13.523	13.502
1999	13.037	12.284	11.898	11.744	10.317	8.654	8.261	9.021	10.412	11.734	13.162	13.141
2000	12.395	12.075	11.761	11.833	10.423	8.612	8.158	9.502	10.614	11.697	13.405	13.107
2001	12.039	12.178	11.776	11.544	10.091	8.916	8.766	8.975	11.205	12.632	13.961	13.880
2002	13.426	12.745	12.520	11.956	10.525	9.703	8.429	9.504	10.843	12.437	13.666	13.962
2003	13.755	13.353	12.571	12.006	10.614	9.287	8.623	9.047	10.383	12.409	13.860	13.775
2004	13.084	12.802	12.956	12.104	9.980	8.831	8.444	9.039	10.684	12.216	13.772	13.740
2005	13.574	13.473	13.086	12.514	10.569	8.934	9.226	9.598	10.648	12.234	13.648	13.718
2006	12.898	13.130	12.855	12.145	9.592	9.590	8.850	10.107	10.873	12.395	13.529	13.904
2007	13.960	13.208	12.510	12.139	10.522	9.690	8.771	9.761	11.080	12.282	13.534	13.454
2008	12.506	12.383	11.868	11.391	9.400	8.916	8.760	9.731	10.740	12.395	13.965	13.389
2009	13.038	12.793	12.494	12.162	10.431	8.773	9.011	9.722	11.412	13.006	14.264	14.018
2010	13.657	14.056	13.754	12.890	10.927	10.231	9.364	10.070	11.566	12.493	13.545	13.391
2011	12.956	12.229	12.225	12.026	10.331	9.258	8.823	9.901	11.171	12.109	14.304	13.300
2012	12.960	12.199	12.365	12.009	10.180	8.928	9.042	9.509	11.228	12.838	14.202	13.434
2013	13.352	13.192	12.989	12.227	10.889	9.618	9.214	9.617	11.131	12.508	13.969	13.805
2014	13.217	13.289	12.945	12.491	10.490	10.196	9.468	9.686	11.663	12.949	14.392	14.365
2015	13.100	13.272	12.763	12.233	10.744	10.203	9.177	10.306	11.878	12.977	14.476	14.281
2016	14.709	14.400	14.033	13.043	10.763	9.332	9.414	10.091	11.372	12.423	13.664	13.822
Promedio	12.991	12.737	12.476	11.968	10.233	9.034	8.676	9.415	10.773	12.204	13.594	13.516
Min	11.520	11.577	11.429	11.207	9.184	7.993	7.502	8.357	9.409	11.377	12.446	12.652
Max	14.709	14.400	14.033	13.128	10.927	10.231	9.468	10.306	11.878	13.006	14.476	14.434
Desv. Std	0.662	0.668	0.588	0.477	0.433	0.534	0.521	0.553	0.545	0.437	0.467	0.428

Anexo 47. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Huarcocondo 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huarcocondo				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	13.806	13.799	13.527	12.283	10.823	9.261	9.380	9.834	10.599	13.063	14.512	14.324
1982	13.425	13.680	13.251	12.577	10.350	9.427	9.808	10.192	11.874	13.487	14.220	14.143
1983	15.019	14.545	14.569	14.023	11.716	10.155	10.567	11.265	12.014	13.213	13.935	13.771
1984	12.630	13.186	13.592	12.625	11.344	10.057	9.138	9.691	11.237	13.428	14.016	13.534
1985	13.357	13.100	13.606	12.731	11.198	9.075	8.310	10.530	11.765	13.058	13.371	13.500
1986	13.583	13.121	13.248	12.813	10.116	9.587	8.611	10.279	11.737	13.095	14.194	14.230
1987	14.110	14.199	13.681	12.914	10.995	9.692	9.863	10.920	12.730	13.707	14.870	14.666
1988	14.295	14.215	13.722	13.109	11.355	9.697	9.338	11.083	12.319	13.574	14.219	13.784
1989	13.258	12.913	12.828	12.484	10.732	9.820	8.868	10.061	12.180	13.398	13.841	14.390
1990	13.576	13.411	13.400	12.950	11.140	9.737	9.100	10.280	11.706	13.536	14.581	14.057
1991	14.501	14.090	13.715	12.709	11.346	9.734	9.083	10.287	11.299	12.904	13.677	13.804
1992	13.676	13.645	13.319	12.769	11.548	10.013	8.645	9.699	11.497	12.869	13.740	14.020
1993	13.303	13.186	13.075	12.828	11.289	9.540	9.643	9.682	11.474	13.151	14.338	14.276
1994	13.596	13.589	13.213	12.870	11.192	9.411	9.414	10.301	12.226	13.251	14.431	14.541
1995	14.130	13.943	13.503	12.960	10.953	9.984	10.343	11.421	12.155	13.839	14.338	13.910
1996	13.657	13.884	13.913	13.288	11.559	9.488	9.175	10.658	12.188	13.637	14.050	13.910
1997	13.610	13.301	13.230	12.393	10.481	9.114	9.579	9.927	12.449	14.293	14.732	15.111
1998	15.311	15.456	15.055	14.369	11.434	10.386	10.137	11.561	12.626	13.960	14.450	14.186
1999	14.004	13.422	13.214	12.697	11.374	9.757	8.946	10.166	11.833	12.810	14.138	13.912
2000	13.478	13.378	13.130	13.056	11.557	9.781	9.389	10.772	12.253	12.960	14.641	13.894
2001	13.071	13.317	13.286	12.538	11.205	9.852	9.842	9.802	12.508	13.909	14.778	14.470
2002	14.315	13.826	13.836	13.066	11.342	10.468	9.372	10.408	12.243	13.674	14.316	14.535
2003	14.485	14.407	13.766	13.000	11.518	10.152	9.429	10.217	11.707	13.804	14.718	14.401
2004	14.076	13.843	13.951	13.289	11.020	9.246	9.163	9.808	11.884	13.637	14.633	14.471
2005	14.575	14.372	14.263	13.503	11.544	9.791	9.946	10.743	12.057	13.694	14.544	14.562
2006	13.777	14.282	14.104	13.201	10.475	10.265	9.357	11.131	12.335	13.732	14.059	14.403
2007	14.700	14.333	13.684	13.242	11.632	10.322	9.780	10.825	12.157	13.623	14.377	14.302
2008	13.530	13.644	13.146	12.719	10.579	9.777	9.706	11.210	12.198	13.841	14.910	14.306
2009	13.890	13.868	13.650	13.262	11.470	9.724	9.900	10.881	12.797	14.362	14.972	14.664
2010	14.366	14.862	14.655	13.816	11.850	11.058	10.497	11.365	13.204	14.255	14.977	14.458
2011	14.244	13.550	13.712	13.347	11.297	10.260	9.823	11.171	12.567	13.901	15.350	14.067
2012	14.156	13.427	13.656	13.328	11.201	9.823	9.700	10.501	12.449	14.360	15.203	14.297
2013	14.041	14.384	14.467	13.303	12.159	10.396	9.944	10.806	12.538	13.943	14.905	14.425
2014	14.294	14.249	14.243	13.328	11.550	11.078	10.285	10.841	12.983	14.143	15.319	15.042

2015	13.762	14.379	14.179	13.277	11.778	10.893	10.022	11.191	13.291	14.220	15.283	14.531
2016	15.444	15.254	15.200	14.142	11.780	10.245	10.245	11.197	12.758	13.622	14.571	14.456
Promedio	13.974	13.891	13.739	13.078	11.247	9.918	9.565	10.575	12.162	13.610	14.478	14.260
Min	12.630	12.913	12.828	12.283	10.116	9.075	8.310	9.682	10.599	12.810	13.371	13.500
Max	15.444	15.456	15.200	14.369	12.159	11.078	10.567	11.561	13.291	14.362	15.350	15.111
Desv. Std	0.603	0.599	0.556	0.476	0.453	0.492	0.539	0.559	0.561	0.442	0.479	0.366

Anexo 48. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Pisac 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Pisac			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	13.450	13.471	13.158	11.978	10.790	9.600	9.462	9.988	10.663	13.023	14.380	14.176
1982	13.060	13.361	12.941	12.283	10.336	9.759	9.855	10.266	11.739	13.320	13.998	13.886
1983	14.502	14.124	14.065	13.592	11.624	10.374	10.485	11.251	12.005	13.184	13.731	13.608
1984	12.237	12.861	13.132	12.284	11.308	10.307	9.172	9.777	11.204	13.266	13.821	13.318
1985	12.943	12.762	13.199	12.367	11.154	9.298	8.363	10.685	11.745	12.953	13.112	13.267
1986	13.186	12.730	12.839	12.482	10.124	9.859	8.575	10.416	11.718	12.922	13.951	13.968
1987	13.707	13.810	13.211	12.580	10.925	9.979	9.912	10.985	12.696	13.634	14.708	14.472
1988	13.922	13.900	13.337	12.802	11.289	9.943	9.381	11.228	12.399	13.564	14.110	13.580
1989	12.916	12.503	12.365	12.131	10.632	10.110	8.879	10.128	12.173	13.229	13.572	14.103
1990	13.194	13.021	13.038	12.655	11.098	9.972	9.126	10.414	11.653	13.462	14.439	13.869
1991	14.088	13.777	13.313	12.371	11.291	9.988	9.130	10.419	11.347	12.874	13.561	13.606
1992	13.263	13.283	12.897	12.398	11.517	10.351	8.673	9.778	11.543	12.800	13.568	13.812
1993	12.918	12.869	12.697	12.469	11.235	9.834	9.711	9.733	11.437	13.063	14.184	14.066
1994	13.229	13.225	12.832	12.559	11.178	9.702	9.449	10.392	12.246	13.149	14.267	14.337
1995	13.793	13.683	13.126	12.637	10.843	10.276	10.381	11.515	12.190	13.746	14.177	13.729
1996	13.216	13.563	13.479	12.988	11.562	9.736	9.215	10.794	12.240	13.558	13.890	13.774
1997	13.227	12.994	12.748	12.035	10.438	9.441	9.686	10.038	12.459	14.216	14.629	15.033
1998	15.048	15.092	14.627	13.985	11.365	10.673	10.135	11.625	12.598	13.874	14.254	14.038
1999	13.661	13.173	12.830	12.432	11.318	9.958	8.996	10.222	11.851	12.823	13.957	13.729
2000	13.143	13.041	12.716	12.757	11.480	9.966	9.292	10.848	12.160	12.922	14.439	13.650
2001	12.674	12.978	12.814	12.285	11.093	10.079	9.810	9.951	12.555	13.813	14.613	14.306
2002	13.946	13.515	13.402	12.735	11.339	10.743	9.364	10.573	12.233	13.615	14.176	14.370
2003	14.152	14.099	13.383	12.708	11.513	10.482	9.464	10.307	11.719	13.695	14.545	14.264
2004	13.676	13.572	13.609	12.958	10.871	9.641	9.284	10.015	11.935	13.559	14.468	14.298
2005	14.206	14.097	13.886	13.163	11.493	10.135	10.038	10.903	12.046	13.607	14.352	14.392
2006	13.431	13.975	13.720	12.874	10.389	10.635	9.547	11.304	12.364	13.651	13.985	14.267
2007	14.419	14.020	13.287	12.915	11.496	10.637	9.814	10.988	12.178	13.504	14.195	14.110

2008	13.175	13.296	12.686	12.318	10.437	10.042	9.762	11.268	12.146	13.719	14.680	14.061
2009	13.599	13.589	13.259	12.927	11.411	9.986	9.936	10.997	12.775	14.288	14.879	14.513
2010	14.098	14.626	14.328	13.521	11.790	11.354	10.454	11.392	13.112	14.047	14.652	14.195
2011	13.844	13.185	13.249	12.953	11.207	10.529	9.817	11.229	12.533	13.711	15.116	13.892
2012	13.694	13.066	13.186	12.910	11.132	10.146	9.778	10.647	12.478	14.219	14.990	14.144
2013	13.747	14.039	13.979	12.942	11.989	10.693	9.966	10.835	12.501	13.816	14.724	14.303
2014	13.968	14.025	13.842	13.084	11.526	11.365	10.312	10.922	12.980	14.081	15.103	14.872
2015	13.468	14.077	13.680	12.941	11.720	11.264	10.052	11.403	13.275	14.169	15.104	14.465
2016	15.120	14.978	14.740	13.780	11.660	10.472	10.288	11.303	12.682	13.546	14.386	14.332
Promedio	13.609	13.566	13.322	12.744	11.183	10.203	9.599	10.682	12.155	13.517	14.298	14.078
Min	12.237	12.503	12.365	11.978	10.124	9.298	8.363	9.733	10.663	12.800	13.112	13.267
Max	15.120	15.092	14.740	13.985	11.989	11.365	10.485	11.625	13.275	14.288	15.116	15.033
Desv. Std	0.615	0.614	0.552	0.465	0.447	0.498	0.531	0.552	0.550	0.429	0.478	0.387

Anexo 49. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Huatanay 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Huatanay				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	13.955	14.027	13.622	12.388	11.298	10.112	10.197	10.818	11.482	13.680	14.622	14.426
1982	13.573	13.892	13.354	12.722	10.852	10.276	10.693	11.224	12.583	14.076	14.343	14.288
1983	15.104	14.723	14.600	14.142	12.266	11.129	11.476	12.232	12.800	13.772	14.040	13.990
1984	12.825	13.362	13.608	12.813	11.762	10.813	10.030	10.744	12.030	13.800	14.024	13.632
1985	13.433	13.276	13.670	12.866	11.552	9.763	9.104	11.441	12.464	13.494	13.456	13.605
1986	13.737	13.373	13.349	12.970	10.722	10.316	9.411	11.410	12.607	13.577	14.221	14.381
1987	14.277	14.306	13.750	13.040	11.431	10.497	10.767	11.939	13.594	14.212	14.916	14.707
1988	14.425	14.456	13.809	13.315	11.806	10.471	10.054	12.045	13.111	14.039	14.316	13.838
1989	13.414	13.088	12.902	12.618	11.120	10.675	9.711	11.119	13.008	13.855	13.874	14.312
1990	13.655	13.515	13.379	13.041	11.620	10.518	9.924	11.301	12.506	14.027	14.625	14.145
1991	14.550	14.197	13.765	12.809	11.749	10.584	9.884	11.188	12.121	13.545	13.683	13.824
1992	13.749	13.758	13.296	12.809	12.030	10.853	9.451	10.756	12.402	13.428	13.774	14.005
1993	13.396	13.354	13.139	12.930	11.751	10.389	10.559	10.704	12.317	13.744	14.445	14.440
1994	13.768	13.829	13.294	13.038	11.671	10.228	10.260	11.287	13.047	13.740	14.542	14.634
1995	14.185	14.017	13.543	12.998	11.313	10.773	11.081	12.293	12.736	14.255	14.282	13.894
1996	13.709	14.072	13.945	13.358	12.008	10.268	9.922	11.561	12.894	13.939	13.981	13.950
1997	13.709	13.463	13.251	12.534	10.981	10.127	10.489	11.014	13.349	14.842	14.932	15.301
1998	15.519	15.579	15.097	14.450	11.857	11.162	10.995	12.520	13.353	14.435	14.464	14.172
1999	13.976	13.628	13.349	12.885	11.818	10.549	9.661	11.072	12.670	13.328	14.154	13.967
2000	13.568	13.506	13.262	13.276	12.005	10.561	10.132	11.754	12.972	13.488	14.674	13.912

2001	13.200	13.505	13.468	12.748	11.559	10.572	10.704	10.746	13.254	14.266	14.750	14.463
2002	14.278	13.946	13.916	13.161	11.753	11.125	10.177	11.379	13.049	14.147	14.339	14.542
2003	14.458	14.538	13.859	13.113	11.963	11.030	10.228	11.248	12.498	14.233	14.652	14.497
2004	14.132	14.041	13.998	13.432	11.403	10.023	10.031	10.767	12.738	14.171	14.697	14.566
2005	14.660	14.536	14.298	13.540	11.967	10.654	10.728	11.783	12.738	14.171	14.564	14.640
2006	13.900	14.433	14.193	13.284	10.827	11.053	10.218	12.139	13.101	14.107	14.073	14.403
2007	14.794	14.412	13.778	13.363	11.964	10.960	10.636	11.751	12.738	13.948	14.366	14.325
2008	13.737	13.781	13.142	12.854	11.016	10.519	10.536	12.239	12.899	14.236	14.852	14.393
2009	14.002	14.073	13.705	13.400	11.881	10.559	10.678	11.894	13.504	14.796	15.158	14.755
2010	14.504	15.007	14.701	13.899	12.341	11.776	11.266	12.235	13.841	14.591	14.859	14.509
2011	14.328	13.731	13.746	13.447	11.720	11.101	10.585	12.129	13.298	14.282	15.240	14.128
2012	14.161	13.600	13.699	13.426	11.665	10.675	10.515	11.468	13.217	14.743	15.215	14.454
2013	14.101	14.490	14.496	13.342	12.469	11.046	10.594	11.647	13.239	14.362	14.875	14.575
2014	14.432	14.345	14.242	13.415	12.073	11.841	11.097	11.773	13.661	14.448	15.181	15.044
2015	13.855	14.501	14.181	13.415	12.245	11.687	10.819	12.125	14.054	14.588	15.255	14.531
2016	15.454	15.373	15.168	14.220	12.210	11.047	11.052	12.199	13.399	14.015	14.628	14.582
Promedio	14.070	14.048	13.794	13.196	11.685	10.715	10.380	11.554	12.924	14.066	14.502	14.329
Min	12.825	13.088	12.902	12.388	10.722	9.763	9.104	10.704	11.482	13.328	13.456	13.605
Max	15.519	15.579	15.168	14.450	12.469	11.841	11.476	12.520	14.054	14.842	15.255	15.301
Desv. Std	0.586	0.582	0.539	0.460	0.444	0.473	0.546	0.536	0.528	0.395	0.460	0.371

Anexo 50. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Quiquijana 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica:	Subcuenca Quiquijana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	12.367	12.407	12.186	11.071	9.717	8.145	8.403	9.125	9.916	12.019	13.125	13.079
1982	11.962	12.306	12.035	11.384	9.273	8.315	8.778	9.331	10.832	12.292	12.822	12.705
1983	13.405	12.982	13.159	12.711	10.589	9.079	9.455	10.408	11.264	12.123	12.374	12.540
1984	11.181	11.766	12.172	11.508	10.263	8.951	8.138	8.944	10.405	12.209	12.589	12.097
1985	11.730	11.663	12.260	11.533	10.098	7.986	7.241	9.734	10.964	11.835	11.851	12.075
1986	12.080	11.605	11.927	11.599	9.059	8.399	7.404	9.548	10.960	11.813	12.619	12.818
1987	12.643	12.642	12.234	11.665	9.905	8.569	8.787	10.080	11.941	12.537	13.434	13.260
1988	12.848	12.785	12.432	11.967	10.253	8.536	8.239	10.275	11.678	12.430	12.822	12.410
1989	11.850	11.403	11.442	11.267	9.652	8.824	7.833	9.224	11.453	12.190	12.194	12.761
1990	12.023	11.757	12.037	11.692	10.105	8.624	8.032	9.475	10.783	12.407	13.227	12.705
1991	12.960	12.609	12.319	11.466	10.225	8.524	7.977	9.501	10.572	11.795	12.275	12.282
1992	12.049	12.037	11.834	11.422	10.428	8.968	7.621	8.873	10.771	11.745	12.199	12.551
1993	11.804	11.694	11.772	11.643	10.288	8.450	8.659	8.930	10.754	12.115	12.976	12.979

1994	12.154	12.163	11.885	11.717	10.166	8.278	8.391	9.471	11.431	12.054	12.974	13.138
1995	12.634	12.451	12.148	11.664	9.766	8.771	9.176	10.547	11.277	12.602	12.823	12.416
1996	12.106	12.484	12.532	12.162	10.571	8.377	8.110	9.874	11.387	12.451	12.529	12.579
1997	12.125	11.831	11.787	11.109	9.425	8.022	8.603	9.277	11.795	13.220	13.395	13.956
1998	14.061	14.065	13.732	13.125	10.325	9.377	9.123	10.758	11.785	12.825	12.956	12.865
1999	12.534	12.047	11.953	11.624	10.362	8.581	7.906	9.353	11.063	11.837	12.622	12.580
2000	12.075	11.944	11.858	11.970	10.518	8.627	8.216	9.999	11.373	11.844	13.060	12.421
2001	11.564	11.869	11.993	11.483	10.075	8.822	8.760	8.982	11.771	12.686	13.305	13.023
2002	12.719	12.362	12.501	11.863	10.322	9.377	8.295	9.658	11.485	12.559	12.896	13.119
2003	12.955	12.945	12.461	11.819	10.482	9.068	8.401	9.462	10.906	12.591	13.165	13.124
2004	12.496	12.475	12.644	12.081	9.742	8.199	8.203	9.132	11.203	12.543	13.236	13.150
2005	13.032	12.881	12.941	12.252	10.418	8.688	9.022	9.950	11.244	12.560	13.016	13.230
2006	12.275	12.860	12.809	12.001	9.295	9.212	8.422	10.409	11.551	12.603	12.749	13.050
2007	13.318	12.848	12.374	12.110	10.494	9.293	8.796	10.121	11.394	12.422	12.856	12.899
2008	12.174	12.168	11.738	11.457	9.382	8.746	8.674	10.334	11.319	12.727	13.422	12.907
2009	12.508	12.484	12.320	12.056	10.353	8.586	8.860	9.971	11.979	13.234	13.712	13.391
2010	13.044	13.529	13.387	12.631	10.806	10.049	9.371	10.471	12.262	12.960	13.338	12.966
2011	12.758	12.140	12.334	12.105	10.208	9.180	8.744	10.342	11.730	12.616	13.807	12.727
2012	12.500	11.929	12.220	12.036	10.097	8.766	8.675	9.646	11.662	13.140	13.723	13.088
2013	12.571	12.913	13.014	11.959	10.952	9.248	8.856	9.859	11.617	12.807	13.472	13.157
2014	12.862	12.894	12.871	12.195	10.546	10.028	9.303	10.057	12.205	12.963	13.711	13.651
2015	12.310	12.909	12.721	12.088	10.711	9.920	8.958	10.365	12.449	13.041	13.793	13.165
2016	13.909	13.818	13.755	12.846	10.615	9.146	9.237	10.387	11.872	12.444	13.024	13.209
Promedio	12.489	12.435	12.383	11.869	10.152	8.826	8.519	9.774	11.363	12.451	13.002	12.891
Min	11.181	11.403	11.442	11.071	9.059	7.986	7.241	8.873	9.916	11.745	11.851	12.075
Max	14.061	14.065	13.755	13.125	10.952	10.049	9.455	10.758	12.449	13.234	13.807	13.956
Desv. Std	0.613	0.616	0.548	0.464	0.462	0.519	0.544	0.533	0.543	0.423	0.488	0.404

Anexo 51. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Chuquicahuana 1981-

2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Chuquicahuana				
Periodo:	1981-2016						Operador:	Pisco-Senamhi				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	11.231	10.928	10.854	9.654	8.954	7.565	8.013	8.584	9.292	11.245	11.964	11.583
1982	10.850	10.860	10.756	10.038	8.559	7.724	8.450	8.946	10.268	11.574	11.749	11.208
1983	12.368	11.515	11.948	11.416	9.896	8.565	9.165	10.012	10.620	11.372	11.232	11.023
1984	10.033	10.291	10.915	10.202	9.521	8.345	7.787	8.512	9.832	11.452	11.402	10.517

1985	10.530	10.199	10.982	10.203	9.357	7.416	6.877	9.247	10.331	11.105	10.718	10.492
1986	10.953	10.091	10.669	10.246	8.258	7.774	7.016	9.069	10.372	11.093	11.494	11.298
1987	11.515	11.159	10.930	10.347	9.201	8.000	8.398	9.659	11.323	11.786	12.287	11.756
1988	11.740	11.310	11.178	10.630	9.501	7.942	7.845	9.792	11.019	11.608	11.628	10.854
1989	10.710	9.927	10.178	9.957	9.008	8.260	7.486	8.757	10.819	11.527	11.023	11.166
1990	10.882	10.211	10.701	10.324	9.387	7.959	7.607	8.957	10.131	11.619	12.074	11.149
1991	11.790	11.102	11.013	10.129	9.486	7.901	7.580	9.081	9.956	11.037	11.061	10.675
1992	10.878	10.487	10.469	10.111	9.722	8.323	7.263	8.373	10.133	10.979	10.978	10.987
1993	10.629	10.139	10.475	10.340	9.571	7.942	8.277	8.532	10.192	11.394	11.852	11.503
1994	11.026	10.712	10.605	10.384	9.407	7.698	8.052	9.067	10.824	11.364	11.803	11.612
1995	11.478	10.873	10.858	10.333	9.092	8.132	8.727	10.064	10.626	11.852	11.629	10.802
1996	10.982	11.010	11.262	10.875	9.816	7.843	7.749	9.378	10.750	11.759	11.341	11.037
1997	10.937	10.297	10.477	9.693	8.717	7.490	8.296	8.875	11.202	12.482	12.199	12.439
1998	12.937	12.618	12.512	11.870	9.662	8.797	8.814	10.276	11.155	12.106	11.802	11.354
1999	11.396	10.512	10.663	10.297	9.642	8.045	7.552	8.962	10.426	11.057	11.441	11.097
2000	10.906	10.441	10.637	10.686	9.848	8.095	7.892	9.568	10.813	11.078	11.853	10.908
2001	10.425	10.394	10.784	10.157	9.366	8.315	8.418	8.546	11.126	11.966	12.168	11.492
2002	11.568	10.865	11.248	10.532	9.565	8.750	7.881	9.190	10.860	11.799	11.762	11.605
2003	11.805	11.467	11.213	10.500	9.735	8.497	8.069	9.054	10.299	11.905	12.014	11.644
2004	11.315	10.990	11.392	10.767	9.053	7.607	7.786	8.627	10.619	11.847	12.127	11.674
2005	11.841	11.347	11.669	10.973	9.742	8.149	8.670	9.505	10.578	11.831	11.873	11.703
2006	11.097	11.355	11.551	10.662	8.607	8.568	8.045	9.917	10.896	11.876	11.633	11.549
2007	12.183	11.306	11.132	10.813	9.776	8.756	8.374	9.641	10.753	11.729	11.705	11.370
2008	11.072	10.646	10.448	10.147	8.702	8.278	8.332	9.899	10.760	12.026	12.357	11.340
2009	11.345	10.964	11.034	10.723	9.608	8.106	8.490	9.529	11.399	12.529	12.579	11.900
2010	11.930	12.079	12.145	11.344	10.124	9.494	9.022	10.098	11.673	12.248	12.229	11.414
2011	11.620	10.640	11.075	10.806	9.567	8.673	8.396	9.878	11.115	11.888	12.670	11.184
2012	11.318	10.425	10.953	10.683	9.395	8.228	8.378	9.241	11.094	12.444	12.603	11.552
2013	11.410	11.417	11.758	10.651	10.288	8.603	8.491	9.428	11.037	12.123	12.380	11.618
2014	11.682	11.363	11.584	10.899	9.860	9.599	8.979	9.621	11.533	12.191	12.537	12.143
2015	11.146	11.383	11.471	10.759	9.991	9.388	8.666	9.868	11.812	12.286	12.666	11.603
2016	12.750	12.355	12.532	11.532	9.950	8.662	8.880	9.950	11.346	11.742	11.834	11.698
Promedio	11.341	10.936	11.113	10.547	9.443	8.264	8.159	9.325	10.750	11.720	11.852	11.360
Min	10.033	9.927	10.178	9.654	8.258	7.416	6.877	8.373	9.292	10.979	10.718	10.492
Max	12.937	12.618	12.532	11.870	10.288	9.599	9.165	10.276	11.812	12.529	12.670	12.439
Desv. Std	0.620	0.627	0.566	0.486	0.469	0.532	0.556	0.533	0.542	0.433	0.503	0.425

Anexo 52. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Pitumarca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Pitumarca			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	8.564	8.279	8.140	6.813	5.225	3.362	3.561	4.475	5.434	7.741	9.100	9.391
1982	8.184	8.256	8.240	7.181	4.642	3.494	3.485	4.320	6.036	7.727	8.506	8.514
1983	9.336	8.618	8.939	8.128	5.622	3.891	3.919	5.536	6.736	7.798	8.089	8.685
1984	7.233	7.701	8.188	7.284	5.932	4.471	3.028	4.093	5.796	8.039	8.647	8.177
1985	7.872	7.575	8.290	7.345	6.026	3.649	2.207	5.157	6.646	7.449	7.600	8.134
1986	8.224	7.287	7.975	7.343	4.297	3.873	2.248	4.543	6.401	7.363	8.471	8.839
1987	8.779	8.510	8.080	7.377	5.483	3.932	3.478	5.182	7.295	8.229	9.503	9.496
1988	9.100	8.689	8.535	7.763	5.852	3.893	3.382	5.512	7.498	8.300	8.805	8.597
1989	8.107	7.096	7.334	7.089	5.405	4.319	2.856	4.246	6.925	7.922	7.804	8.777
1990	8.283	7.464	8.084	7.481	5.684	4.056	2.983	4.612	6.072	8.307	9.396	8.845
1991	9.224	8.580	8.316	7.215	5.688	3.524	2.821	4.835	6.084	7.679	8.283	8.329
1992	8.113	7.786	7.658	6.961	5.724	4.360	2.587	3.866	6.157	7.407	8.018	8.768
1993	7.899	7.487	7.747	7.364	5.689	3.550	3.473	3.998	6.147	7.826	9.057	9.169
1994	8.319	8.031	7.894	7.554	5.677	3.496	3.342	4.614	6.972	7.716	8.905	9.349
1995	8.959	8.475	8.216	7.480	5.241	4.034	4.067	5.761	6.971	8.349	8.805	8.587
1996	8.334	8.500	8.670	8.257	6.325	3.804	3.178	5.371	7.108	8.470	8.664	8.994
1997	8.304	7.791	7.619	6.607	4.736	2.713	3.297	4.346	7.187	8.883	9.241	10.234
1998	10.463	10.099	9.877	8.917	5.789	4.943	4.005	6.016	7.311	8.723	8.894	9.258
1999	9.075	8.022	8.020	7.609	6.141	3.843	3.106	4.722	6.522	7.825	8.489	8.832
2000	8.373	7.838	7.860	7.779	6.178	3.952	3.129	5.251	6.835	7.616	8.793	8.516
2001	7.719	7.708	7.831	7.260	5.741	4.476	3.515	4.137	7.503	8.623	9.404	9.330
2002	9.120	8.329	8.425	7.684	6.044	5.095	3.204	4.899	7.062	8.469	8.978	9.428
2003	9.370	8.942	8.502	7.704	6.184	4.291	3.381	4.638	6.369	8.258	9.111	9.481
2004	8.644	8.420	8.798	7.807	5.206	3.798	3.364	4.690	6.860	8.344	9.230	9.371
2005	9.202	8.883	9.100	8.134	5.902	3.865	4.212	4.964	6.946	8.414	8.975	9.485
2006	8.435	8.773	8.865	7.898	4.854	4.716	3.261	5.722	7.014	8.433	8.903	9.402
2007	9.740	8.833	8.390	7.987	6.278	5.049	3.838	5.640	7.348	8.440	8.859	9.163
2008	8.364	8.085	7.661	7.033	4.694	4.329	3.454	5.220	6.729	8.673	9.482	9.086
2009	8.974	8.528	8.392	7.816	5.928	3.761	3.894	4.952	7.662	9.134	9.839	9.790
2010	9.497	9.738	9.624	8.613	6.491	5.813	4.334	5.666	7.762	8.718	9.226	9.063
2011	8.987	7.981	8.352	7.844	5.737	4.426	3.659	5.559	7.336	8.336	9.882	8.923
2012	8.674	7.712	8.109	7.693	5.436	4.004	3.585	4.711	7.240	8.978	9.711	9.287
2013	8.914	8.857	9.008	7.761	6.607	4.870	4.196	5.171	7.082	8.706	9.663	9.397
2014	9.097	9.036	8.986	8.183	5.966	5.411	4.358	5.326	7.997	9.000	9.783	10.028
2015	8.639	8.840	8.620	7.855	6.206	5.458	3.785	5.556	7.851	8.826	9.720	9.474

2016	10.242	9.910	9.762	8.573	5.948	4.462	4.232	5.517	7.407	8.286	8.758	9.482
Promedio	8.732	8.352	8.392	7.650	5.683	4.194	3.456	4.967	6.897	8.250	8.961	9.102
Min	7.233	7.096	7.334	6.607	4.297	2.713	2.207	3.866	5.434	7.363	7.600	8.134
Max	10.463	10.099	9.877	8.917	6.607	5.813	4.358	6.016	7.997	9.134	9.882	10.234
Desv. Std	0.676	0.700	0.598	0.505	0.541	0.658	0.538	0.570	0.606	0.484	0.572	0.484

Anexo 53. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Sallca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Sallca			
Periodo:	1981-2016						Operador:		Pisco-Senamhi			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	8.587	8.370	8.305	6.879	5.183	3.079	3.212	4.110	5.214	7.788	9.035	9.435
1982	8.236	8.370	8.386	7.272	4.571	3.289	3.227	4.046	5.733	7.758	8.507	8.598
1983	9.420	8.749	9.118	8.248	5.650	3.709	3.675	5.306	6.513	7.771	8.006	8.764
1984	7.308	7.802	8.343	7.413	5.948	4.273	2.775	3.852	5.537	8.083	8.512	8.213
1985	7.819	7.702	8.421	7.475	6.045	3.506	1.929	4.860	6.441	7.437	7.521	8.184
1986	8.270	7.397	8.117	7.479	4.343	3.657	1.901	4.279	6.241	7.338	8.391	8.956
1987	8.841	8.570	8.216	7.485	5.503	3.695	3.235	4.919	7.038	8.224	9.405	9.506
1988	9.113	8.785	8.695	7.910	5.907	3.650	3.075	5.195	7.289	8.232	8.637	8.609
1989	8.137	7.244	7.512	7.220	5.456	4.144	2.552	3.996	6.676	7.961	7.726	8.718
1990	8.328	7.565	8.176	7.540	5.714	3.862	2.681	4.311	5.796	8.303	9.278	8.867
1991	9.143	8.604	8.438	7.334	5.725	3.272	2.519	4.521	5.899	7.759	8.148	8.347
1992	8.156	7.863	7.812	7.067	5.756	4.160	2.347	3.608	5.883	7.471	7.885	8.742
1993	7.925	7.572	7.935	7.538	5.766	3.364	3.222	3.794	5.998	7.940	8.973	9.264
1994	8.393	8.133	8.075	7.687	5.721	3.290	3.064	4.362	6.776	7.693	8.785	9.365
1995	8.971	8.497	8.333	7.549	5.256	3.773	3.725	5.420	6.686	8.305	8.639	8.522
1996	8.294	8.511	8.724	8.301	6.341	3.566	2.893	5.109	6.785	8.387	8.454	8.995
1997	8.328	7.846	7.778	6.689	4.812	2.555	3.072	4.168	7.014	8.861	9.147	10.277
1998	10.485	10.145	9.993	8.974	5.768	4.717	3.753	5.687	6.989	8.694	8.756	9.238
1999	9.012	8.093	8.185	7.725	6.128	3.619	2.883	4.509	6.339	7.877	8.326	8.863
2000	8.382	7.931	8.079	7.918	6.224	3.772	2.843	5.044	6.622	7.717	8.649	8.582
2001	7.804	7.863	8.087	7.472	5.780	4.270	3.279	3.938	7.302	8.644	9.295	9.344
2002	9.102	8.416	8.651	7.836	6.153	4.924	3.021	4.708	6.939	8.513	8.926	9.484
2003	9.392	9.037	8.708	7.824	6.237	4.081	3.149	4.429	6.189	8.288	8.985	9.550
2004	8.705	8.541	8.975	7.953	5.195	3.623	3.137	4.506	6.766	8.384	9.148	9.447
2005	9.223	8.969	9.222	8.246	5.898	3.625	3.935	4.643	6.640	8.401	8.874	9.483
2006	8.465	8.853	9.033	7.992	4.879	4.505	3.005	5.480	6.731	8.447	8.866	9.433
2007	9.790	8.883	8.603	8.137	6.287	4.854	3.611	5.355	7.189	8.427	8.726	9.137
2008	8.459	8.126	7.827	7.146	4.709	4.097	3.181	4.939	6.469	8.690	9.397	9.095

2009	8.978	8.603	8.529	7.923	5.922	3.526	3.649	4.615	7.426	9.108	9.825	9.811
2010	9.545	9.834	9.772	8.687	6.502	5.592	4.001	5.421	7.518	8.706	9.029	9.100
2011	8.989	8.105	8.486	7.958	5.850	4.247	3.449	5.314	7.177	8.283	9.718	8.972
2012	8.663	7.816	8.292	7.830	5.510	3.829	3.336	4.452	7.039	8.954	9.599	9.375
2013	8.950	8.894	9.115	7.798	6.587	4.640	3.947	4.848	6.802	8.743	9.507	9.464
2014	9.089	9.069	9.050	8.276	6.007	5.228	4.141	5.102	7.789	8.953	9.537	9.987
2015	8.675	8.901	8.805	8.034	6.249	5.266	3.534	5.233	7.636	8.790	9.616	9.500
2016	10.208	9.986	9.869	8.675	5.983	4.277	3.989	5.278	7.159	8.300	8.633	9.534
Promedio	8.755	8.435	8.546	7.764	5.710	3.987	3.193	4.704	6.673	8.256	8.846	9.132
Min	7.308	7.244	7.512	6.689	4.343	2.555	1.901	3.608	5.214	7.338	7.521	8.184
Max	10.485	10.145	9.993	8.974	6.587	5.592	4.141	5.687	7.789	9.108	9.825	10.277
Desv. Std	0.666	0.686	0.582	0.499	0.545	0.661	0.546	0.556	0.609	0.465	0.567	0.484

Anexo 54. Información de temperaturas medias históricas Subcuenca Hercca 1981-2016

REGISTRO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Hercca					
Periodo:	1981-2016						Operador: Pisco-Senamhi					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	10.358	10.422	10.096	8.589	7.178	5.295	5.513	6.449	7.645	9.856	10.855	10.924
1982	10.018	10.414	10.069	8.957	6.631	5.594	5.852	6.741	8.450	10.053	10.651	10.388
1983	11.435	11.029	11.174	10.267	7.990	6.248	6.436	7.930	8.989	9.800	9.977	10.348
1984	9.199	9.824	10.165	9.215	7.949	6.403	5.287	6.382	8.028	10.166	10.293	9.773
1985	9.557	9.780	10.208	9.270	7.963	5.734	4.406	7.185	8.837	9.549	9.546	9.784
1986	10.083	9.554	9.905	9.281	6.486	5.816	4.447	6.813	8.711	9.442	10.313	10.598
1987	10.644	10.628	10.080	9.247	7.561	5.956	5.806	7.454	9.439	10.235	11.211	11.008
1988	10.861	10.814	10.457	9.651	7.985	5.841	5.470	7.616	9.516	10.052	10.321	10.134
1989	9.872	9.484	9.432	8.997	7.550	6.345	5.033	6.591	9.087	10.090	9.698	10.224
1990	10.027	9.659	9.906	9.219	7.781	6.073	5.104	6.783	8.294	10.258	11.030	10.384
1991	10.796	10.565	10.230	9.135	7.803	5.631	5.020	6.941	8.339	9.698	9.883	9.844
1992	9.977	9.959	9.638	8.925	7.911	6.375	4.889	6.189	8.302	9.572	9.727	10.227
1993	9.749	9.663	9.782	9.410	7.950	5.831	5.787	6.490	8.594	10.075	10.740	10.852
1994	10.179	10.205	9.893	9.437	7.809	5.633	5.561	6.938	9.230	9.801	10.654	10.877
1995	10.713	10.425	10.123	9.302	7.433	6.051	6.205	7.946	9.182	10.363	10.498	10.006
1996	10.053	10.489	10.431	9.909	8.288	5.780	5.332	7.459	9.068	10.321	10.207	10.399
1997	10.065	9.841	9.675	8.527	7.056	5.166	5.784	6.808	9.609	10.900	11.033	11.723
1998	12.145	12.156	11.777	10.712	7.832	6.889	6.305	8.102	9.361	10.655	10.561	10.660
1999	10.583	10.084	9.958	9.385	8.074	5.905	5.313	7.017	8.758	9.839	10.099	10.375
2000	10.076	9.969	9.949	9.672	8.233	6.054	5.370	7.538	9.090	9.766	10.424	10.185
2001	9.632	9.991	10.074	9.248	7.828	6.455	5.870	6.572	9.570	10.655	11.071	10.764

2002	10.721	10.418	10.530	9.593	8.211	7.014	5.580	7.223	9.374	10.508	10.759	10.963
2003	11.012	11.013	10.529	9.520	8.226	6.345	5.691	6.973	8.663	10.389	10.804	11.049
2004	10.494	10.599	10.735	9.758	7.279	5.749	5.495	6.872	9.218	10.452	10.998	11.035
2005	10.959	10.863	10.914	9.980	7.936	5.910	6.311	7.214	8.925	10.414	10.710	10.961
2006	10.233	10.906	10.842	9.702	7.004	6.613	5.536	7.896	9.137	10.465	10.720	10.918
2007	11.400	10.848	10.442	9.903	8.282	6.977	6.008	7.655	9.485	10.338	10.490	10.588
2008	10.309	10.150	9.727	9.002	6.862	6.251	5.723	7.509	8.938	10.657	11.199	10.601
2009	10.581	10.535	10.309	9.672	7.983	5.853	6.097	7.132	9.753	11.068	11.596	11.245
2010	11.196	11.699	11.489	10.336	8.521	7.643	6.395	7.995	9.979	10.735	10.865	10.688
2011	10.765	10.192	10.312	9.765	8.041	6.591	6.032	7.847	9.616	10.328	11.491	10.487
2012	10.406	9.921	10.198	9.707	7.757	6.209	5.903	7.066	9.512	10.978	11.461	10.921
2013	10.664	10.947	10.938	9.525	8.672	6.753	6.343	7.320	9.282	10.788	11.229	11.004
2014	10.804	10.956	10.779	9.958	8.144	7.549	6.624	7.650	10.120	10.858	11.224	11.387
2015	10.368	10.900	10.728	9.871	8.365	7.439	6.105	7.689	10.134	10.829	11.481	10.959
2016	11.828	11.922	11.711	10.453	8.211	6.624	6.523	7.840	9.664	10.323	10.474	11.050
Promedio	10.493	10.467	10.367	9.531	7.800	6.239	5.699	7.217	9.108	10.285	10.675	10.648
Min	9.199	9.484	9.432	8.527	6.486	5.166	4.406	6.189	7.645	9.442	9.546	9.773
Max	12.145	12.156	11.777	10.712	8.672	7.643	6.624	8.102	10.134	11.068	11.596	11.723
Desv. Std	0.625	0.638	0.566	0.488	0.516	0.596	0.548	0.523	0.576	0.433	0.533	0.454

Anexo 55. Información de precipitación históricas Subcuenca Machu Picchu 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Precipitacion (mm)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Machu Picchu					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.108	4.214	3.969	1.358	0.872	0.099	0.168	0.144	0.631	1.956	1.412	2.806
2018	2.963	4.143	3.413	0.911	0.085	0.497	0.791	0.880	0.100	2.279	1.739	2.366
2019	3.965	3.463	3.036	0.426	0.444	0.121	0.330	0.004	1.197	1.539	3.289	4.158
2020	2.448	4.328	2.824	0.114	0.202	0.709	0.292	0.015	0.133	0.633	2.175	5.612
2021	4.272	3.088	2.274	1.378	0.065	0.103	0.001	0.027	0.207	1.346	2.127	2.385
2022	4.303	3.594	3.734	1.899	0.234	0.035	0.195	0.056	0.274	0.014	0.455	2.081
2023	1.662	2.879	1.211	0.972	0.564	0.000	0.000	0.075	0.365	0.623	1.742	3.787
2024	2.145	3.502	3.135	0.825	0.368	0.803	0.059	0.005	0.489	0.711	2.747	2.462
Promedio	3.233	3.651	2.949	0.986	0.354	0.296	0.230	0.151	0.424	1.138	1.961	3.207
Min	1.662	2.879	1.211	0.114	0.065	0.000	0.000	0.004	0.100	0.014	0.455	2.081
Max	4.303	4.328	3.969	1.899	0.872	0.803	0.791	0.880	1.197	2.279	3.289	5.612
Desv. Std	1.060	0.533	0.879	0.564	0.271	0.323	0.259	0.298	0.360	0.769	0.855	1.219

Anexo 56. Información de precipitación históricas Subcuenca Huarcocondo 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Precipitacion (mm)							Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Huarcocondo			
Periodo:	2017-2024							Operador:	Nasa Power			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.051	3.674	4.265	1.451	0.517	0.144	0.089	0.221	0.762	2.073	2.009	2.866
2018	3.089	4.726	3.915	1.154	0.099	0.496	0.840	0.905	0.094	2.403	2.396	2.717
2019	3.672	2.905	3.195	0.559	0.522	0.141	0.345	0.001	0.630	1.791	4.013	4.590
2020	2.654	4.994	2.950	0.061	0.145	0.467	0.231	0.006	0.090	0.539	2.417	3.799
2021	4.244	2.724	1.467	1.471	0.025	0.134	0.025	0.026	0.094	1.647	2.252	3.394
2022	4.197	2.848	3.559	1.273	0.182	0.014	0.141	0.049	0.375	0.070	0.532	1.815
2023	1.348	2.254	1.257	1.119	0.542	0.054	0.041	0.070	0.465	0.646	1.877	4.091
2024	2.075	3.137	3.367	0.821	0.182	0.660	0.061	0.009	0.472	0.807	2.762	2.395
Promedio	3.166	3.408	2.997	0.989	0.277	0.264	0.222	0.161	0.373	1.247	2.282	3.208
Min	1.348	2.254	1.257	0.061	0.025	0.014	0.025	0.001	0.090	0.070	0.532	1.815
Max	4.244	4.994	4.265	1.471	0.542	0.660	0.840	0.905	0.762	2.403	4.013	4.590
Desv. Std	1.071	0.983	1.090	0.485	0.213	0.241	0.272	0.309	0.259	0.838	0.968	0.928

Anexo 57. Información de precipitación históricas Subcuenca Pisac 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Precipitacion (mm)							Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Pisac			
Periodo:	2017-2024							Operador:	Nasa Power			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.051	3.674	4.265	1.451	0.517	0.144	0.089	0.221	0.762	2.073	2.009	2.866
2018	3.089	4.726	3.915	1.154	0.099	0.496	0.840	0.905	0.094	2.403	2.396	2.717
2019	3.672	2.905	3.195	0.559	0.522	0.141	0.345	0.001	0.630	1.791	4.013	4.590
2020	2.654	4.994	2.950	0.061	0.145	0.467	0.231	0.006	0.090	0.539	2.417	3.811
2021	4.244	2.724	1.467	1.471	0.025	0.134	0.025	0.026	0.094	1.647	2.252	3.394
2022	4.197	2.848	3.559	1.273	0.182	0.014	0.141	0.049	0.375	0.070	0.532	1.851
2023	1.348	2.254	1.257	1.119	0.542	0.054	0.041	0.070	0.165	0.646	1.877	4.091
2024	2.075	3.137	3.367	0.821	0.182	0.660	0.061	0.009	0.472	0.807	2.591	2.395
Promedio	3.166	3.408	2.997	0.989	0.277	0.264	0.222	0.161	0.335	1.247	2.261	3.214
Min	1.348	2.254	1.257	0.061	0.025	0.014	0.025	0.001	0.090	0.070	0.532	1.851
Max	4.244	4.994	4.265	1.471	0.542	0.660	0.840	0.905	0.762	2.403	4.013	4.590
Desv. Std	1.071	0.983	1.090	0.485	0.213	0.241	0.272	0.309	0.266	0.838	0.958	0.922

Anexo 58. Información de precipitación históricas Subcuenca Huatanay 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Precipitacion (mm)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Huatanay					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.051	3.674	4.265	1.451	0.517	0.144	0.089	0.221	0.762	2.073	2.009	3.447
2018	3.089	4.726	3.915	1.154	0.099	0.496	0.840	0.905	0.094	2.403	2.396	2.717
2019	3.672	2.905	3.195	0.559	0.522	0.141	0.345	0.001	0.630	1.791	4.013	4.590
2020	2.654	4.994	2.950	0.061	0.145	0.467	0.231	0.006	0.090	0.539	2.417	5.031
2021	4.244	2.724	1.467	1.471	0.025	0.134	0.025	0.026	0.094	1.421	2.252	3.394
2022	4.197	2.848	3.559	1.273	0.182	0.014	0.141	0.049	0.375	0.070	0.532	1.851
2023	1.348	2.254	1.257	1.119	0.542	0.054	0.105	0.070	0.465	0.646	1.877	4.091
2024	2.075	3.137	3.367	0.821	0.182	0.660	0.061	0.009	0.472	0.807	2.591	2.395
Promedio	3.166	3.408	2.997	0.989	0.277	0.264	0.230	0.161	0.373	1.219	2.261	3.439
Min	1.348	2.254	1.257	0.061	0.025	0.014	0.025	0.001	0.090	0.070	0.532	1.851
Max	4.244	4.994	4.265	1.471	0.542	0.660	0.840	0.905	0.762	2.403	4.013	5.031
Desv. Std	1.071	0.983	1.090	0.485	0.213	0.241	0.267	0.309	0.259	0.826	0.958	1.097

Anexo 59. Información de precipitación históricas Subcuenca Quiquijana 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Precipitacion (mm)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Quiquijana					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.252	3.717	5.086	1.922	0.618	0.228	0.066	0.342	0.882	2.331	2.565	3.563
2018	3.677	4.993	4.918	1.515	0.542	0.613	0.825	1.050	0.214	3.128	2.907	3.221
2019	3.490	3.429	2.975	1.364	1.219	0.251	0.448	0.000	0.459	1.782	4.227	5.557
2020	3.045	6.221	3.419	0.367	0.128	0.336	0.477	0.048	0.133	1.049	1.470	3.156
2021	4.559	3.348	1.717	2.004	0.111	0.290	0.166	0.062	0.402	1.756	2.483	4.163
2022	3.997	2.952	3.895	1.251	0.193	0.092	0.250	0.247	0.561	0.614	1.008	2.849
2023	2.623	2.921	2.413	1.831	0.918	0.402	0.823	0.060	0.628	1.110	2.222	4.776
2024	2.748	3.599	3.531	0.912	0.348	0.841	0.054	0.075	0.592	1.006	3.551	2.246
Promedio	3.549	3.898	3.494	1.396	0.510	0.381	0.389	0.236	0.484	1.597	2.554	3.692
Min	2.623	2.921	1.717	0.367	0.111	0.092	0.054	0.000	0.133	0.614	1.008	2.246
Max	4.559	6.221	5.086	2.004	1.219	0.841	0.825	1.050	0.882	3.128	4.227	5.557
Desv. Std	0.706	1.140	1.154	0.556	0.399	0.239	0.310	0.349	0.239	0.828	1.042	1.082

Anexo 60. Información de precipitación históricas Subcuenca Chuquicahuana 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6												
Variable:	Precipitacion (mm)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Chuquicahuana					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.252	3.717	5.086	1.922	0.618	0.228	0.066	0.342	0.882	2.621	2.565	3.563
2018	3.677	4.993	4.918	1.515	0.542	0.613	0.825	1.050	0.214	3.064	2.907	3.221
2019	3.490	3.429	2.975	1.364	1.219	0.251	0.448	0.000	0.459	1.782	4.227	5.563
2020	3.045	6.221	3.419	0.367	0.128	0.336	0.477	0.048	0.133	1.049	1.470	3.156
2021	4.559	3.348	1.717	2.004	0.111	0.290	0.166	0.062	0.402	1.756	2.483	4.163
2022	3.997	2.952	3.895	1.251	0.193	0.092	0.250	0.247	0.561	0.614	1.008	2.845
2023	2.623	2.921	2.413	1.831	0.918	0.402	0.242	0.060	0.628	1.110	2.222	4.776
2024	2.748	3.599	3.531	0.912	0.348	0.841	0.054	0.075	0.592	1.006	3.443	2.246
Promedio	3.549	3.898	3.494	1.396	0.510	0.381	0.316	0.236	0.484	1.625	2.541	3.692
Min	2.623	2.921	1.717	0.367	0.111	0.092	0.054	0.000	0.133	0.614	1.008	2.246
Max	4.559	6.221	5.086	2.004	1.219	0.841	0.825	1.050	0.882	3.064	4.227	5.563
Desv. Std	0.706	1.140	1.154	0.556	0.399	0.239	0.258	0.349	0.239	0.854	1.028	1.084

Anexo 61. Información de precipitación históricas Subcuenca Pitumarca 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7												
Variable:	Precipitacion (mm)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Pitumarca					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.252	3.717	5.086	1.922	0.618	0.228	0.066	0.342	0.882	2.621	2.565	3.886
2018	3.677	4.993	4.918	1.515	0.542	0.613	0.825	1.050	0.214	3.128	2.907	3.221
2019	3.490	3.429	2.975	1.364	1.219	0.251	0.448	0.000	0.459	1.782	4.227	5.563
2020	3.045	6.221	3.419	0.367	0.128	0.336	0.477	0.048	0.133	1.049	1.470	3.156
2021	4.559	3.333	1.717	2.004	0.111	0.290	0.166	0.062	0.402	1.756	2.483	4.163
2022	3.997	2.952	3.895	1.251	0.193	0.092	0.250	0.247	0.561	0.614	1.008	2.845
2023	2.623	2.921	2.413	1.831	0.918	0.402	0.242	0.060	0.628	1.110	2.222	4.776
2024	2.748	3.599	3.531	0.912	0.348	0.841	0.054	0.075	0.592	1.006	3.551	2.246
Promedio	3.549	3.896	3.494	1.396	0.510	0.381	0.316	0.236	0.484	1.633	2.554	3.732
Min	2.623	2.921	1.717	0.367	0.111	0.092	0.054	0.000	0.133	0.614	1.008	2.246
Max	4.559	6.221	5.086	2.004	1.219	0.841	0.825	1.050	0.882	3.128	4.227	5.563
Desv. Std	0.706	1.141	1.154	0.556	0.399	0.239	0.258	0.349	0.239	0.870	1.042	1.085

Anexo 62. Información de precipitación históricas Subcuenca Sallca 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Precipitacion (mm)							Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Sallca			
Periodo:	2017-2024							Operador:	Nasa Power			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	4.252	3.717	5.086	1.922	0.618	0.228	0.066	0.342	0.882	2.621	2.565	3.886
2018	3.677	4.993	4.918	1.515	0.542	0.613	0.825	1.050	0.214	3.128	2.907	3.221
2019	3.490	3.429	2.975	1.364	1.219	0.251	0.448	0.000	0.459	1.782	4.227	5.563
2020	3.045	6.221	3.419	0.367	0.128	0.336	0.477	0.048	0.133	1.049	1.470	3.156
2021	4.559	3.333	1.717	2.004	0.111	0.290	0.166	0.062	0.402	1.736	2.483	4.163
2022	3.997	2.952	3.895	1.251	0.193	0.092	0.250	0.247	0.561	0.614	1.008	2.845
2023	2.300	2.921	2.413	1.831	0.918	0.402	0.242	0.060	0.628	1.110	2.222	4.792
2024	2.748	3.599	3.531	0.912	0.348	0.841	0.054	0.075	0.592	1.006	3.551	2.246
Promedio	3.509	3.896	3.494	1.396	0.510	0.381	0.316	0.236	0.484	1.631	2.554	3.734
Min	2.300	2.921	1.717	0.367	0.111	0.092	0.054	0.000	0.133	0.614	1.008	2.246
Max	4.559	6.221	5.086	2.004	1.219	0.841	0.825	1.050	0.882	3.128	4.227	5.563
Desv. Std	0.772	1.141	1.154	0.556	0.399	0.239	0.258	0.349	0.239	0.869	1.042	1.087

Anexo 63. Información de precipitación históricas Subcuenca Hercca 2017-2024

REGISTRO DE PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9												
Variable:	Precipitacion (mm)							Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Hercca			
Periodo:	2017-2024							Operador:	Nasa Power			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	3.817	2.848	3.639	1.710	0.510	0.089	0.054	0.157	0.855	1.500	1.519	3.273
2018	2.913	4.795	4.047	1.087	0.558	0.378	0.471	0.514	0.086	2.609	2.027	3.728
2019	2.511	2.772	2.402	1.132	1.461	0.163	0.243	0.000	0.460	1.392	2.928	4.274
2020	2.418	6.379	3.373	0.269	0.071	0.084	0.155	0.015	0.068	0.732	0.746	2.285
2021	3.966	2.386	1.586	1.311	0.062	0.234	0.048	0.081	0.527	1.412	2.130	2.953
2022	3.354	2.824	3.188	1.451	0.094	0.026	0.055	0.069	0.259	0.168	0.448	2.208
2023	1.741	2.320	1.892	1.193	0.545	0.112	0.154	0.055	0.317	0.726	1.781	3.791
2024	2.431	3.128	2.999	0.856	0.318	0.438	0.019	0.019	0.516	0.745	2.500	1.483
Promedio	2.894	3.431	2.891	1.126	0.452	0.190	0.150	0.114	0.386	1.161	1.760	2.999
Min	1.741	2.320	1.586	0.269	0.062	0.026	0.019	0.000	0.068	0.168	0.448	1.483
Max	3.966	6.379	4.047	1.710	1.461	0.438	0.471	0.514	0.855	2.609	2.928	4.274
Desv. Std	0.768	1.420	0.859	0.430	0.460	0.148	0.150	0.169	0.260	0.743	0.839	0.948

Anexo 64. Información de temperatura históricas Subcuenca Machu Picchu 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V1												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :			Subcuenca Machu Picchu		
Periodo:	2017-2024						Operador:			Nasa Power		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	13.522	13.399	13.124	13.102	13.297	13.382	12.796	14.137	14.401	14.770	14.420	14.489
2018	13.258	13.306	13.179	13.072	13.169	12.483	12.904	12.960	13.929	14.278	14.524	14.685
2019	13.290	13.425	13.718	13.923	14.209	13.839	13.578	13.454	14.860	14.105	13.833	13.771
2020	13.865	13.796	13.633	13.790	13.719	13.771	13.660	14.074	14.535	15.207	15.225	13.312
2021	13.092	13.428	13.070	13.070	12.640	12.772	12.975	13.701	14.701	15.183	14.531	14.259
2022	13.952	13.189	13.141	13.516	12.606	12.118	14.042	13.597	14.564	15.259	15.363	14.172
2023	13.974	13.819	13.914	14.229	14.103	13.574	14.601	14.794	15.020	16.001	15.715	15.043
2024	15.134	14.826	14.975	14.960	15.199	14.451	13.498	14.219	15.405	15.748	14.507	14.150
Promedio	13.761	13.649	13.594	13.708	13.618	13.299	13.507	13.867	14.677	15.069	14.765	14.235
Min	13.092	13.189	13.070	13.070	12.606	12.118	12.796	12.960	13.929	14.105	13.833	13.312
Max	15.134	14.826	14.975	14.960	15.199	14.451	14.601	14.794	15.405	16.001	15.715	15.043
Desv. Std	0.650	0.524	0.643	0.666	0.876	0.780	0.617	0.560	0.439	0.659	0.614	0.534

Anexo 65. Información de temperatura históricas Subcuenca Huarucondo 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V2												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :			Subcuenca Huarucondo		
Periodo:	2017-2024						Operador:			Nasa Power		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	8.264	8.440	8.320	8.263	8.093	7.757	7.589	8.494	9.057	9.310	8.868	9.234
2018	8.128	8.258	8.252	7.784	7.700	6.749	6.959	7.240	7.907	8.913	9.075	8.923
2019	8.383	8.439	8.733	8.787	8.688	8.320	8.064	8.143	9.241	9.059	8.236	8.688
2020	8.742	8.640	8.784	8.705	7.743	7.845	8.254	8.497	8.822	9.325	10.019	8.021
2021	7.983	8.122	7.570	8.052	7.505	7.404	7.113	8.106	9.141	9.713	9.231	9.197
2022	8.862	8.315	8.054	8.880	8.155	6.783	8.595	8.439	9.475	10.368	10.636	9.393
2023	8.828	8.886	8.609	9.038	8.831	8.528	9.690	9.339	9.394	10.563	10.660	9.667
2024	10.062	9.423	9.771	9.996	9.836	9.323	8.145	9.082	10.050	10.076	8.913	9.143
Promedio	8.656	8.565	8.512	8.688	8.319	7.839	8.051	8.417	9.136	9.666	9.455	9.033
Min	7.983	8.122	7.570	7.784	7.505	6.749	6.959	7.240	7.907	8.913	8.236	8.021
Max	10.062	9.423	9.771	9.996	9.836	9.323	9.690	9.339	10.050	10.563	10.660	9.667
Desv. Std	0.656	0.419	0.646	0.685	0.771	0.879	0.872	0.639	0.615	0.615	0.885	0.502

Anexo 66. Información de temperatura históricas Subcuenca Pisac 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V3												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Pisac					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	8.264	8.440	8.320	8.263	8.093	7.757	7.589	8.494	9.057	9.310	8.868	9.234
2018	8.128	8.258	8.252	7.784	7.700	6.749	6.959	7.240	7.907	8.913	9.075	8.923
2019	8.383	8.439	8.733	8.787	8.688	8.320	8.064	8.143	9.241	9.059	8.236	8.688
2020	8.742	8.640	8.784	8.705	7.743	7.845	8.254	8.497	8.822	9.325	10.019	8.021
2021	7.983	8.122	7.570	8.052	7.505	7.404	7.113	8.106	9.141	9.713	9.231	9.197
2022	8.862	8.315	8.054	8.880	8.155	6.783	8.595	8.439	9.475	10.368	10.636	9.393
2023	8.828	8.886	8.609	9.038	8.831	8.528	9.690	9.339	9.394	10.563	10.660	9.667
2024	10.062	9.423	9.771	9.996	9.836	9.323	8.145	9.082	10.050	10.076	8.913	9.143
Promedio	8.656	8.565	8.512	8.688	8.319	7.839	8.051	8.417	9.136	9.666	9.455	9.033
Min	7.983	8.122	7.570	7.784	7.505	6.749	6.959	7.240	7.907	8.913	8.236	8.021
Max	10.062	9.423	9.771	9.996	9.836	9.323	9.690	9.339	10.050	10.563	10.660	9.667
Desv. Std	0.656	0.419	0.646	0.685	0.771	0.879	0.872	0.639	0.615	0.615	0.885	0.502

Anexo 67. Información de temperatura históricas Subcuenca Huatanay 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V4												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica : Subcuenca Huatanay					
Periodo:	2017-2024						Operador: Nasa Power					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	8.264	8.440	8.320	8.263	8.093	7.757	7.589	8.494	9.057	9.310	8.868	9.234
2018	8.128	8.258	8.252	7.784	7.700	6.749	6.959	7.240	7.907	8.913	9.075	8.923
2019	8.383	8.439	8.733	8.787	8.688	8.320	8.064	8.143	9.241	9.059	8.236	8.688
2020	8.742	8.640	8.784	8.705	7.743	7.845	8.254	8.497	8.822	9.325	10.019	8.021
2021	7.983	8.122	7.570	8.052	7.505	7.404	7.113	8.106	9.141	9.713	9.231	9.197
2022	8.862	8.315	8.054	8.880	8.155	6.783	8.595	8.439	9.475	10.368	10.636	9.393
2023	8.828	8.886	8.609	9.038	8.831	8.528	9.690	9.339	9.394	10.563	10.660	9.667
2024	10.062	9.423	9.771	9.996	9.836	9.323	8.145	9.082	10.050	10.076	8.913	9.143
Promedio	8.656	8.565	8.512	8.688	8.319	7.839	8.051	8.417	9.136	9.666	9.455	9.033
Min	7.983	8.122	7.570	7.784	7.505	6.749	6.959	7.240	7.907	8.913	8.236	8.021
Max	10.062	9.423	9.771	9.996	9.836	9.323	9.690	9.339	10.050	10.563	10.660	9.667
Desv. Std	0.656	0.419	0.646	0.685	0.771	0.879	0.872	0.639	0.615	0.615	0.885	0.502

Anexo 68. Información de temperatura históricas Subcuenca Quiquijana 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V5												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :			Subcuenca Quiquijana		
Periodo:	2017-2024						Operador:			Nasa Power		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	5.522	5.582	4.983	5.208	4.862	4.355	4.236	4.807	5.364	5.702	5.913	5.924
2018	4.876	4.823	4.864	4.820	4.469	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.791	5.491
2019	5.437	5.231	5.531	5.579	4.937	4.554	4.140	4.632	5.699	5.820	5.737	5.575
2020	5.746	5.166	5.566	5.592	4.395	4.261	4.577	4.806	5.324	5.520	7.097	5.422
2021	5.048	5.206	4.728	4.982	4.347	4.034	3.580	4.624	5.650	6.129	5.819	5.944
2022	5.446	5.059	5.134	6.017	4.994	3.226	4.900	4.884	5.686	6.891	7.360	5.694
2023	5.714	5.680	5.453	5.974	5.219	4.744	5.820	5.594	5.655	7.353	7.189	6.718
2024	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	4.482	5.269	6.527	6.562	6.260	6.410
Promedio	5.625	5.376	5.339	5.652	4.957	4.236	4.341	4.735	5.570	6.145	6.396	5.897
Min	4.876	4.823	4.728	4.820	4.347	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.737	5.422
Max	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	5.820	5.594	6.527	7.353	7.360	6.718
Desv. Std	0.708	0.451	0.548	0.709	0.674	0.882	0.847	0.680	0.520	0.737	0.700	0.459

Anexo 69. Información de temperatura históricas Subcuenca Quiquijana 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V6												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :			Subcuenca Chuquicahuana		
Periodo:	2017-2024						Operador:			Nasa Power		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	5.522	5.582	4.983	5.208	4.862	4.355	4.236	4.807	5.364	5.702	5.913	5.924
2018	4.876	4.823	4.864	4.820	4.469	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.791	5.491
2019	5.437	5.231	5.531	5.579	4.937	4.554	4.140	4.632	5.699	5.820	5.737	5.575
2020	5.746	5.166	5.566	5.592	4.395	4.261	4.577	4.806	5.324	5.520	7.097	5.422
2021	5.048	5.206	4.728	4.982	4.347	4.034	3.580	4.624	5.650	6.129	5.819	5.944
2022	5.446	5.059	5.134	6.017	4.994	3.226	4.900	4.884	5.686	6.891	7.360	5.694
2023	5.714	5.680	5.453	5.974	5.219	4.744	5.820	5.594	5.655	7.353	7.189	6.718
2024	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	4.482	5.269	6.527	6.562	6.260	6.410
Promedio	5.625	5.376	5.339	5.652	4.957	4.236	4.341	4.735	5.570	6.145	6.396	5.897
Min	4.876	4.823	4.728	4.820	4.347	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.737	5.422
Max	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	5.820	5.594	6.527	7.353	7.360	6.718
Desv. Std	0.708	0.451	0.548	0.709	0.674	0.882	0.847	0.680	0.520	0.737	0.700	0.459

Anexo 70. Información de temperatura históricas Subcuenca Pitumarca 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V7												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Pitumarca			
Periodo:	2017-2024						Operador:		Nasa Power			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	5.522	5.582	4.983	5.208	4.862	4.355	4.236	4.807	5.364	5.702	5.913	5.924
2018	4.876	4.823	4.864	4.820	4.469	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.791	5.491
2019	5.437	5.231	5.531	5.579	4.937	4.554	4.140	4.632	5.699	5.820	5.737	5.575
2020	5.746	5.166	5.566	5.592	4.395	4.261	4.577	4.806	5.324	5.520	7.097	5.422
2021	5.048	5.206	4.728	4.982	4.347	4.034	3.580	4.624	5.650	6.129	5.819	5.944
2022	5.446	5.059	5.134	6.017	4.994	3.226	4.900	4.884	5.686	6.891	7.360	5.694
2023	5.714	5.680	5.453	5.974	5.219	4.744	5.820	5.594	5.655	7.353	7.189	6.718
2024	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	4.482	5.269	6.527	6.562	6.260	6.410
Promedio	5.625	5.376	5.339	5.652	4.957	4.236	4.341	4.735	5.570	6.145	6.396	5.897
Min	4.876	4.823	4.728	4.820	4.347	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.737	5.422
Max	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	5.820	5.594	6.527	7.353	7.360	6.718
Desv. Std	0.708	0.451	0.548	0.709	0.674	0.882	0.847	0.680	0.520	0.737	0.700	0.459

Anexo 71. Información de temperatura históricas Subcuenca Sallca 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V8												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :		Subcuenca Sallca			
Periodo:	2017-2024						Operador:		Nasa Power			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	5.522	5.582	4.983	5.208	4.862	4.355	4.236	4.807	5.364	5.702	5.913	5.924
2018	4.876	4.823	4.864	4.820	4.469	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.791	5.491
2019	5.437	5.231	5.531	5.579	4.937	4.554	4.140	4.632	5.699	5.820	5.737	5.575
2020	5.746	5.166	5.566	5.592	4.395	4.261	4.577	4.806	5.324	5.520	7.097	5.422
2021	5.048	5.206	4.728	4.982	4.347	4.034	3.580	4.624	5.650	6.129	5.819	5.944
2022	5.446	5.059	5.134	6.017	4.994	3.226	4.900	4.884	5.686	6.891	7.360	5.694
2023	5.714	5.680	5.453	5.974	5.219	4.744	5.820	5.594	5.655	7.353	7.189	6.718
2024	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	4.482	5.269	6.527	6.562	6.260	6.410
Promedio	5.625	5.376	5.339	5.652	4.957	4.236	4.341	4.735	5.570	6.145	6.396	5.897
Min	4.876	4.823	4.728	4.820	4.347	2.945	2.992	3.267	4.659	5.185	5.737	5.422
Max	7.211	6.262	6.451	7.044	6.432	5.769	5.820	5.594	6.527	7.353	7.360	6.718
Desv. Std	0.708	0.451	0.548	0.709	0.674	0.882	0.847	0.680	0.520	0.737	0.700	0.459

Anexo 72. Información de temperatura históricas Subcuenca Hercca 2017-2024

REGISTRO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN V9												
Variable:	Temperatura (C°)						Unidad Hidrográfica :	Subcuenca Hercca				
Periodo:	2017-2024						Operador:	Nasa Power				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	6.943	7.085	5.996	6.201	5.603	4.677	4.925	5.446	6.358	6.907	7.689	7.527
2018	6.259	6.094	5.889	5.856	5.044	3.263	3.521	4.105	6.185	6.363	7.527	6.865
2019	6.742	6.358	6.509	6.471	5.264	4.719	4.578	5.461	6.951	6.946	7.486	7.399
2020	7.151	6.167	6.734	6.312	4.890	4.767	4.984	5.706	6.757	7.206	9.040	7.133
2021	6.363	6.538	6.149	5.764	5.106	4.590	4.248	5.565	6.852	7.554	7.768	7.480
2022	6.978	6.212	6.072	6.290	5.218	3.392	5.233	5.635	6.722	8.075	9.097	7.182
2023	7.560	7.263	6.983	7.311	5.920	5.072	6.153	6.130	6.942	9.269	8.872	8.056
2024	8.614	7.687	7.492	8.017	7.055	6.333	5.161	6.362	8.102	8.334	8.117	8.233
Promedio	7.076	6.675	6.478	6.528	5.512	4.602	4.850	5.551	6.859	7.582	8.200	7.484
Min	6.259	6.094	5.889	5.764	4.890	3.263	3.521	4.105	6.185	6.363	7.486	6.865
Max	8.614	7.687	7.492	8.017	7.055	6.333	6.153	6.362	8.102	9.269	9.097	8.233
Desv. Std	0.748	0.594	0.561	0.763	0.704	0.965	0.771	0.669	0.572	0.937	0.695	0.462

Anexo 73. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Hercca

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA HERCCA

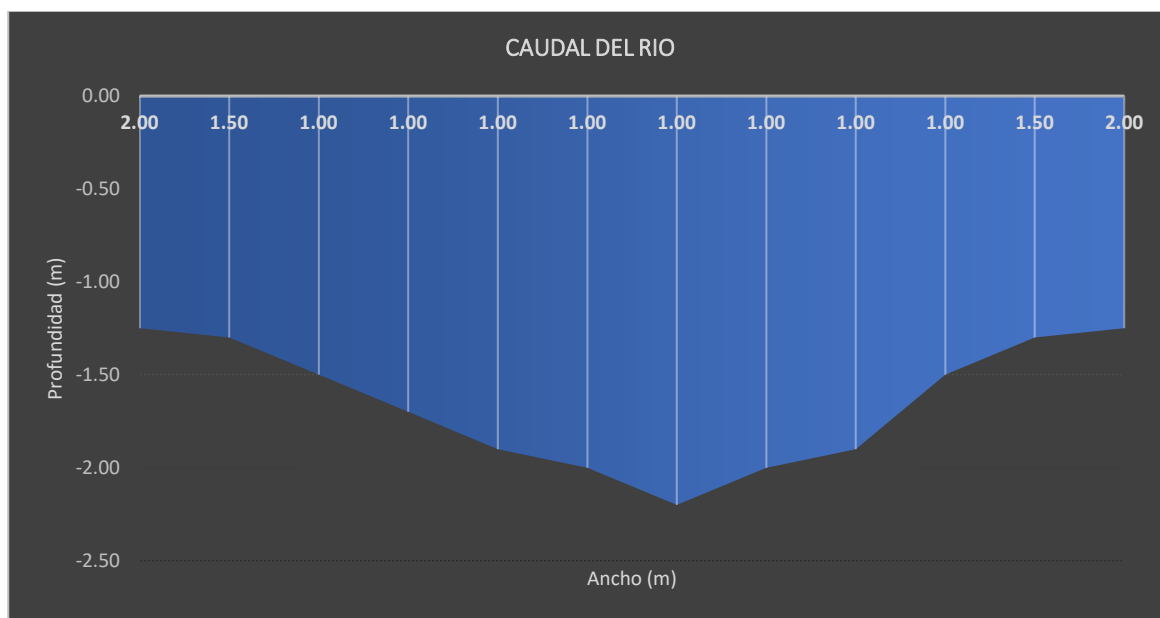
Ubicación del punto de aforo: Río Hercca

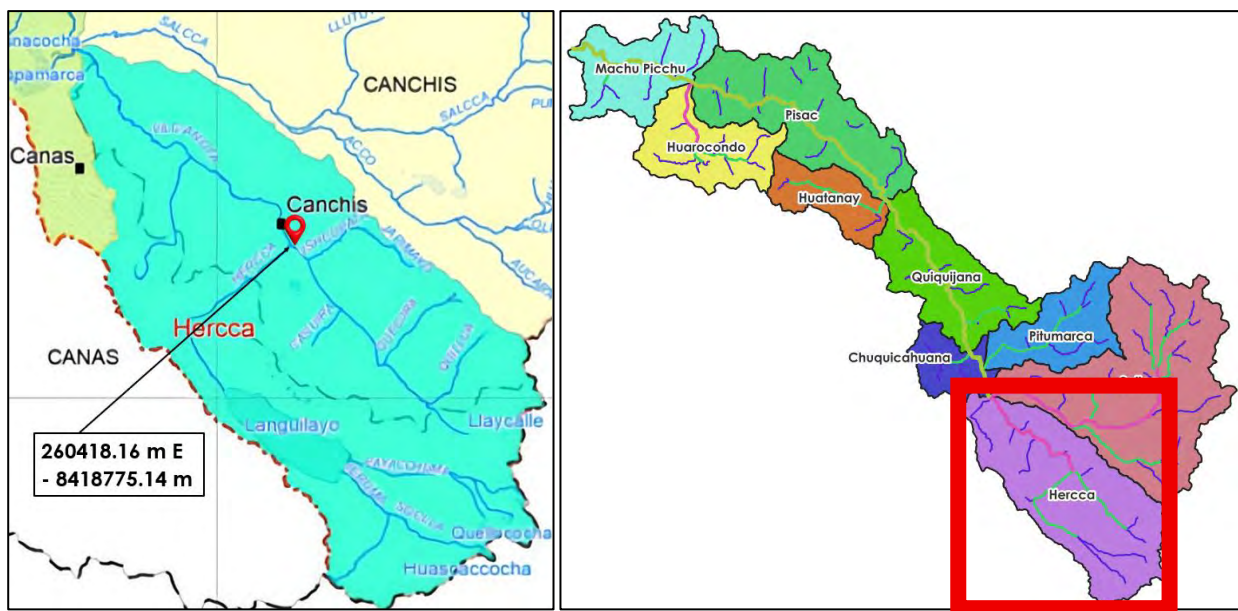
Equipo Utilizado: Correntómetro

Longitud de río: 15.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Sección	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.75	0.75	1.25	2.00	2.50	1.88
2	0.95	0.75	0.85	1.30	1.50	1.95	1.66
3	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
4	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
5	1.05	0.97	1.01	1.90	1.00	1.90	1.92
13	1.08	1.00	1.04	2.00	1.00	2.00	2.08
14	1.08	1.00	1.04	2.20	1.00	2.20	2.29
15	1.05	0.97	1.01	2.00	1.00	2.00	2.02
16	1.00	0.90	0.95	1.90	1.00	1.90	1.81
17	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
18	0.95	0.75	0.85	1.30	1.50	1.95	1.66
19		0.75	0.75	1.25	2.00	2.50	1.88
TOTAL							21.46

Anexo 74. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Hercca





Anexo 75. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Sallca

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA SALLCA

Ubicación del punto de aforo: Río Sicuani

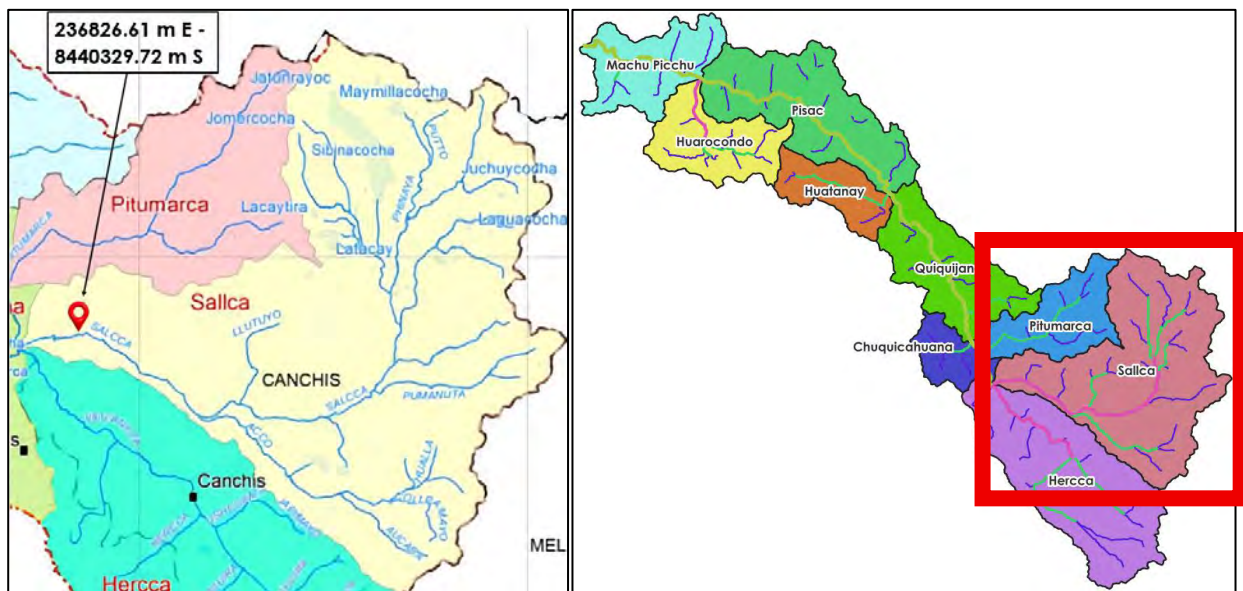
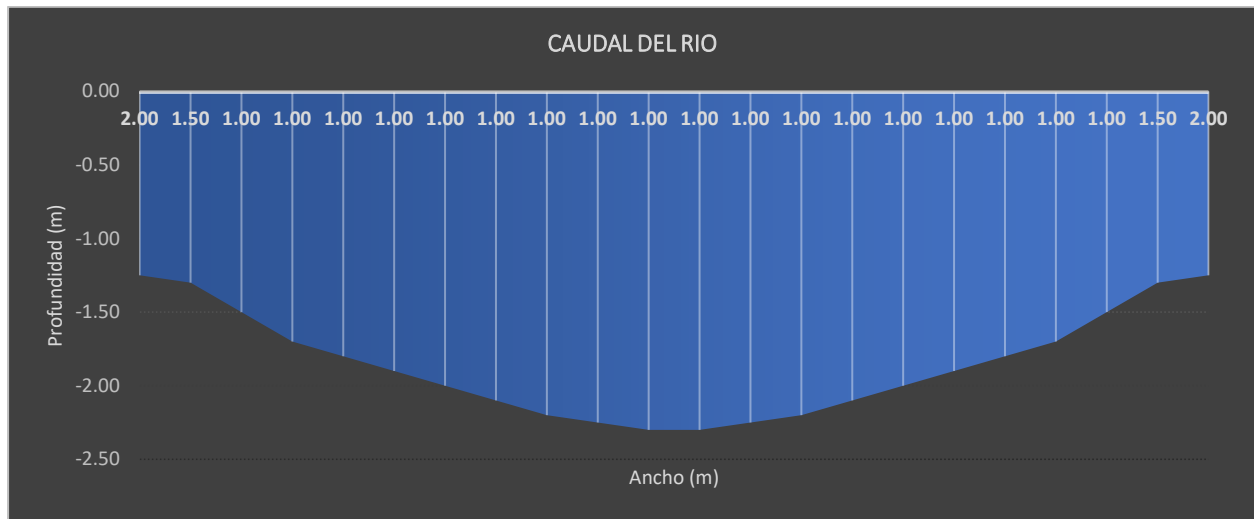
Equipo Utilizado: Correntómetro

Longitud de río: 25.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.75	0.75	1.25	2.00	2.50	1.88
2	0.95	0.75	0.85	1.30	1.50	1.95	1.66
3	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
4	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
5	1.05	0.90	0.98	1.80	1.00	1.80	1.76
6	1.05	1.00	1.03	1.90	1.00	1.90	1.95
7	1.05	1.00	1.03	2.00	1.00	2.00	2.05
8	1.10	1.00	1.05	2.10	1.00	2.10	2.21
9	1.10	1.10	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
10	1.20	1.10	1.15	2.25	1.00	2.25	2.59
11	1.20	1.15	1.18	2.30	1.00	2.30	2.70
12	1.30	1.15	1.23	2.30	1.00	2.30	2.82
13	1.20	1.10	1.15	2.25	1.00	2.25	2.59
14	1.10	1.10	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
15	1.10	1.00	1.05	2.10	1.00	2.10	2.21
16	1.05	1.00	1.03	2.00	1.00	2.00	2.05
17	1.05	1.00	1.03	1.90	1.00	1.90	1.95
18	1.05	0.90	0.98	1.80	1.00	1.80	1.76

19	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
20	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
21	0.95	0.75	0.85	1.30	1.50	1.95	1.66
22		0.75	0.75	1.25	2.00	2.50	1.88
TOTAL							44.42

Anexo 76. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Sallca



Anexo 77. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Pitumarca

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA PITUMARCA

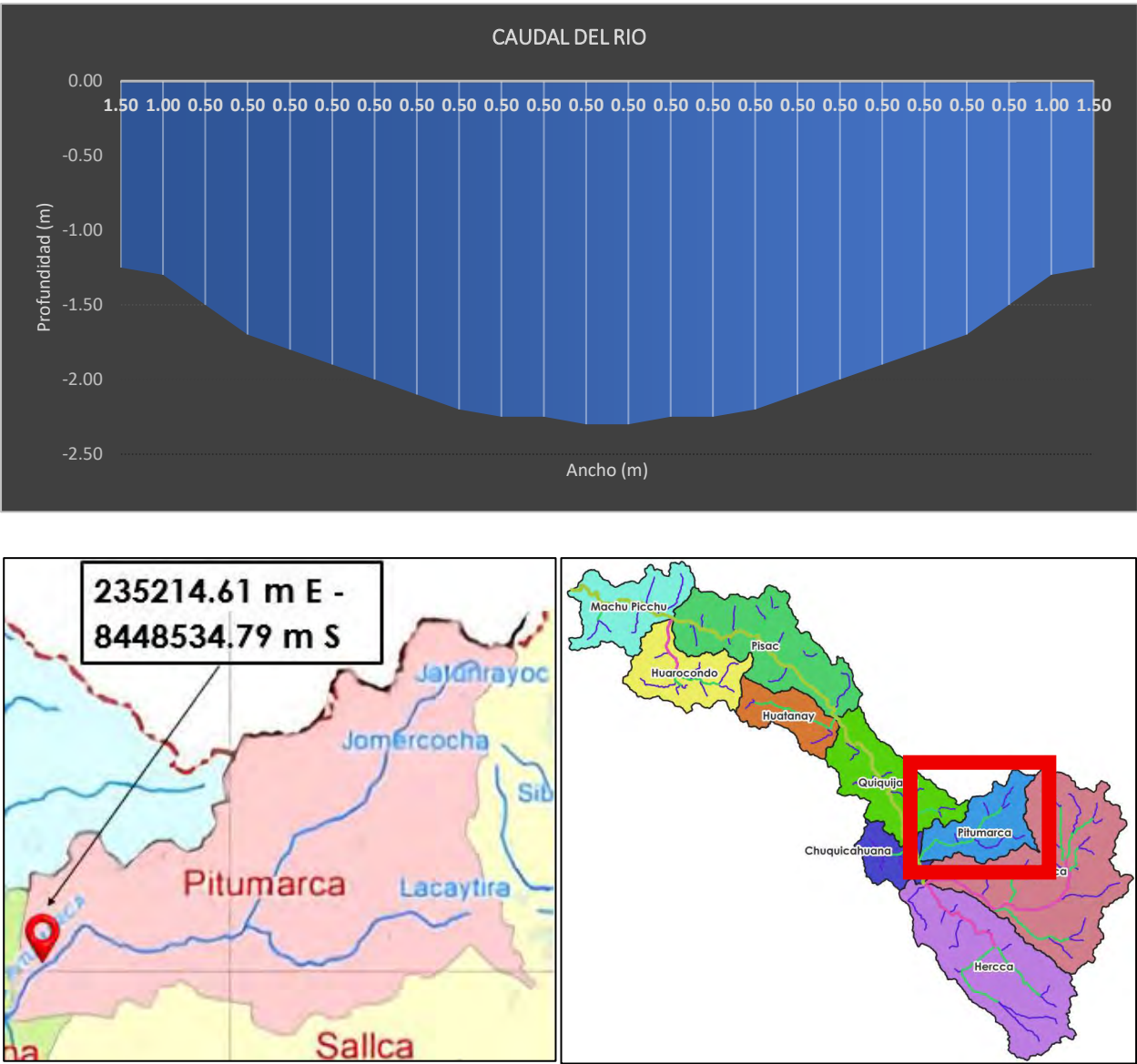
Ubicación del punto de aforo: Río Pitumarca

Equipo Utilizado: Correntómetro

Longitud de río: 15.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.75	0.75	1.25	1.50	1.88	1.41
2	0.95	0.75	0.85	1.30	1.00	1.30	1.11
3	0.98	0.80	0.89	1.50	0.50	0.75	0.67
4	1.00	0.90	0.95	1.70	0.50	0.85	0.81
5	1.05	0.90	0.98	1.80	0.50	0.90	0.88
6	1.05	1.00	1.03	1.90	0.50	0.95	0.97
7	1.05	1.00	1.03	2.00	0.50	1.00	1.03
8	1.10	1.00	1.05	2.10	0.50	1.05	1.10
9	1.10	1.10	1.10	2.20	0.50	1.10	1.21
10	1.20	1.10	1.15	2.25	0.50	1.13	1.29
11	1.30	1.10	1.20	2.25	0.50	1.13	1.35
12	1.30	1.15	1.23	2.30	0.50	1.15	1.41
13	1.20	1.15	1.18	2.30	0.50	1.15	1.35
14	1.20	1.15	1.18	2.25	0.50	1.13	1.32
15	1.20	1.10	1.15	2.25	0.50	1.13	1.29
16	1.10	1.10	1.10	2.20	0.50	1.10	1.21
17	1.10	1.00	1.05	2.10	0.50	1.05	1.10
18	1.05	1.00	1.03	2.00	0.50	1.00	1.03
19	1.05	1.00	1.03	1.90	0.50	0.95	0.97
20	1.05	0.90	0.98	1.80	0.50	0.90	0.88
21	1.00	0.90	0.95	1.70	0.50	0.85	0.81
22	0.98	0.80	0.89	1.50	0.50	0.75	0.67
23	0.95	0.75	0.85	1.30	1.00	1.30	1.11
24		0.75	0.75	1.25	1.50	1.88	1.41
TOTAL							26.37

Anexo 78. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Pitumarca

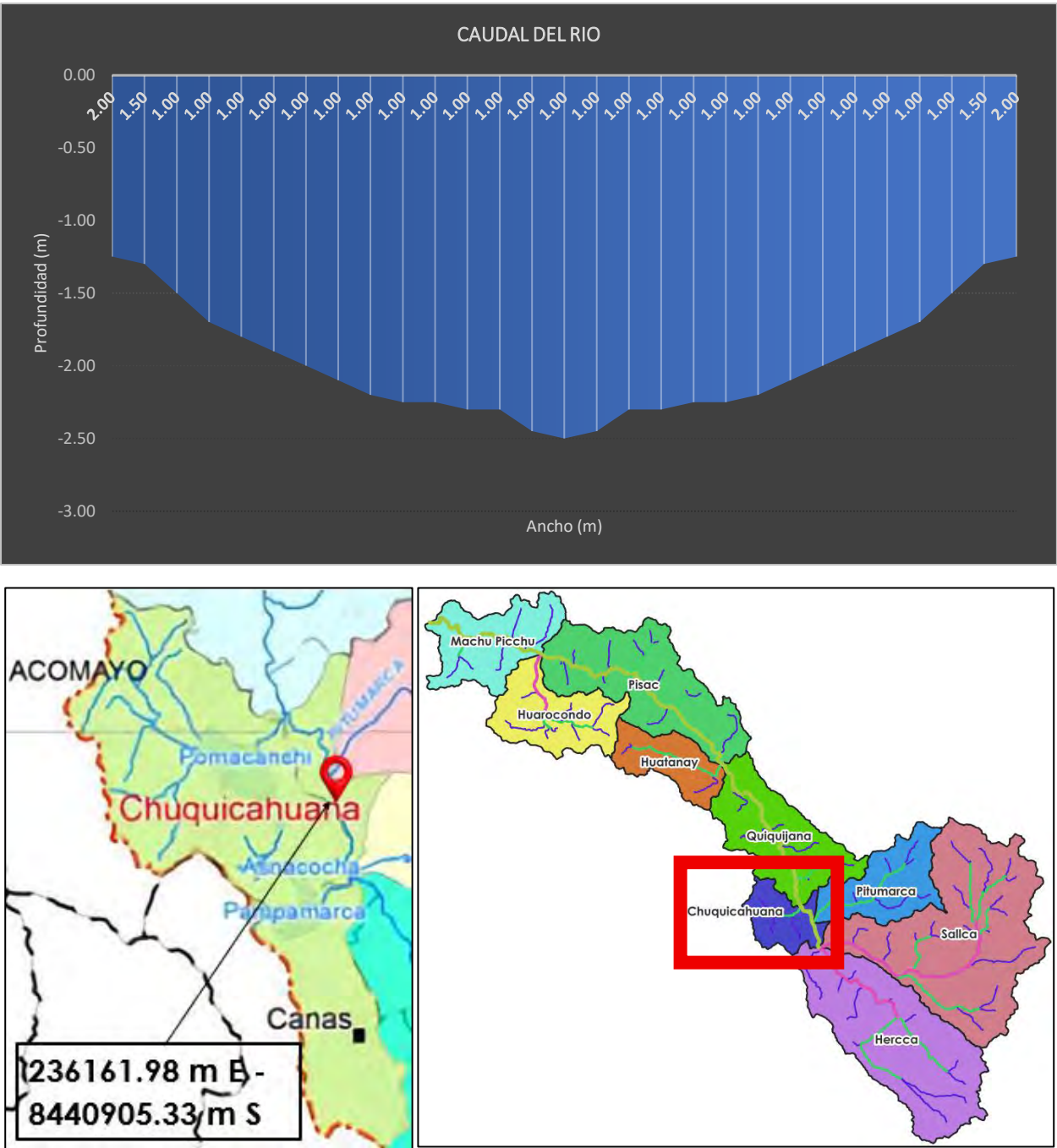


Anexo 79. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Chuquicahuana

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA CHUQUICAHUANA							
Ubicación del punto de aforo: Río Chuquicahuana				Equipo Utilizado: Correntómetro			
Longitud de río: 32.00 m							
1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				

1		0.75	0.75	1.25	2.00	2.50	1.88
2	0.95	0.75	0.85	1.30	1.50	1.95	1.66
3	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
4	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
5	1.05	0.90	0.98	1.80	1.00	1.80	1.76
6	1.05	1.00	1.03	1.90	1.00	1.90	1.95
7	1.05	1.00	1.03	2.00	1.00	2.00	2.05
8	1.10	1.00	1.05	2.10	1.00	2.10	2.21
9	1.10	1.10	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
10	1.20	1.10	1.15	2.25	1.00	2.25	2.59
11	1.30	1.10	1.20	2.25	1.00	2.25	2.70
12	1.30	1.10	1.20	2.30	1.00	2.30	2.76
13	1.30	1.10	1.20	2.30	1.00	2.30	2.76
14	1.30	1.10	1.20	2.45	1.00	2.45	2.94
15	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
16	1.30	1.10	1.20	2.45	1.00	2.45	2.94
17	1.30	1.15	1.23	2.30	1.00	2.30	2.82
18	1.20	1.15	1.18	2.30	1.00	2.30	2.70
19	1.20	1.15	1.18	2.25	1.00	2.25	2.64
20	1.20	1.10	1.15	2.25	1.00	2.25	2.59
21	1.10	1.10	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
22	1.10	1.00	1.05	2.10	1.00	2.10	2.21
23	1.05	1.00	1.03	2.00	1.00	2.00	2.05
24	1.05	1.00	1.03	1.90	1.00	1.90	1.95
25	1.05	0.90	0.98	1.80	1.00	1.80	1.76
26	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
27	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
28	0.95	0.75	0.85	1.30	1.50	1.95	1.66
29		0.75	0.75	1.25	2.00	2.50	1.88
TOTAL							64.16

Anexo 80. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Chuquicahuana



Anexo 81. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro y su ubicación – Subcuenca Quiquijana

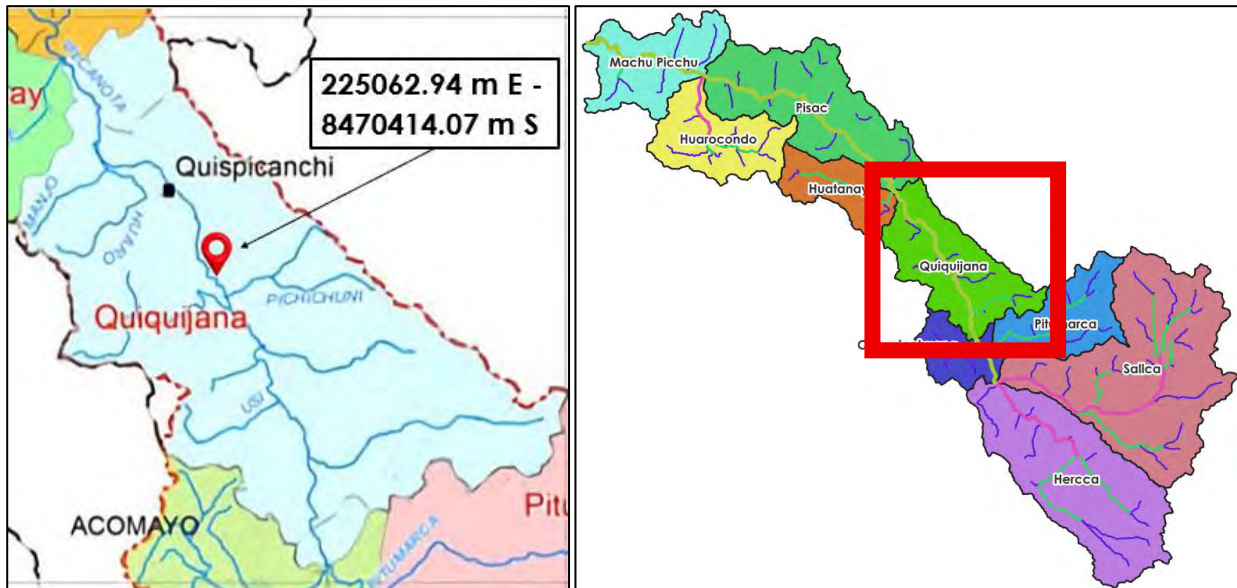
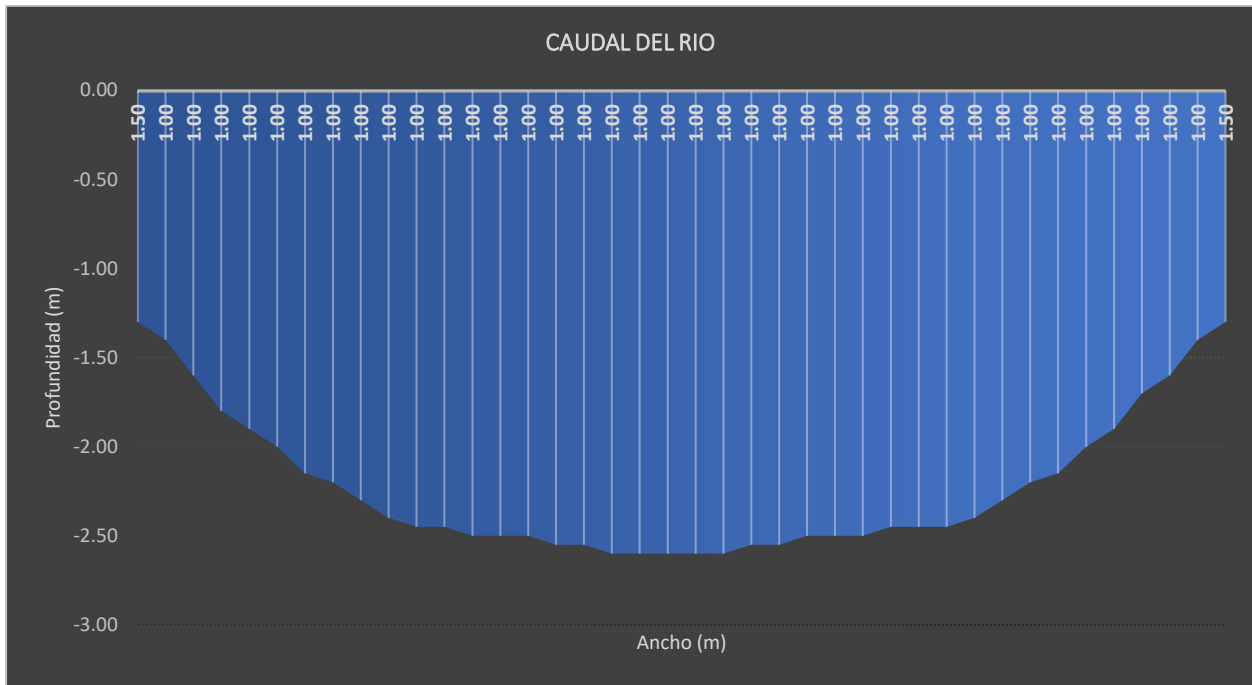
REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA QUIQUIJANA	
Ubicación del punto de aforo: Río Quiquijana	Equipo Utilizado: Correntómetro

Longitud de río: 41.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.80	0.80	1.30	1.50	1.95	1.56
2	0.95	0.80	0.88	1.40	1.00	1.40	1.23
3	1.00	0.85	0.93	1.60	1.00	1.60	1.48
4	1.05	0.95	1.00	1.80	1.00	1.80	1.80
5	1.10	1.00	1.05	1.90	1.00	1.90	2.00
6	1.10	1.00	1.05	2.00	1.00	2.00	2.10
7	1.15	1.05	1.10	2.15	1.00	2.15	2.37
8	1.15	1.05	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
9	1.20	1.10	1.15	2.30	1.00	2.30	2.65
10	1.20	1.10	1.15	2.40	1.00	2.40	2.76
11	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
12	1.20	1.10	1.15	2.45	1.00	2.45	2.82
13	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
14	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
15	1.45	1.15	1.30	2.50	1.00	2.50	3.25
16	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
17	1.45	1.20	1.33	2.55	1.00	2.55	3.38
18	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
19	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
20	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
21	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
22	1.45	1.20	1.33	2.60	1.00	2.60	3.45
23	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
24	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
25	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
26	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
27	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
28	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
29	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
30	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
31	1.20	1.10	1.15	2.40	1.00	2.40	2.76
32	1.15	1.05	1.10	2.30	1.00	2.30	2.53
33	1.15	1.05	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
34	1.10	1.00	1.05	2.15	1.00	2.15	2.26
35	1.10	1.00	1.05	2.00	1.00	2.00	2.10
36	1.05	0.95	1.00	1.90	1.00	1.90	1.90
37	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
38	1.00	0.85	0.93	1.60	1.00	1.60	1.48

39	0.95	0.80	0.88	1.40	1.00	1.40	1.23
40		0.80	0.80	1.30	1.50	1.95	1.56
TOTAL							104.30

Anexo 82. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Quiquijana



Anexo 83. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Huatanay

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA HUATANAY

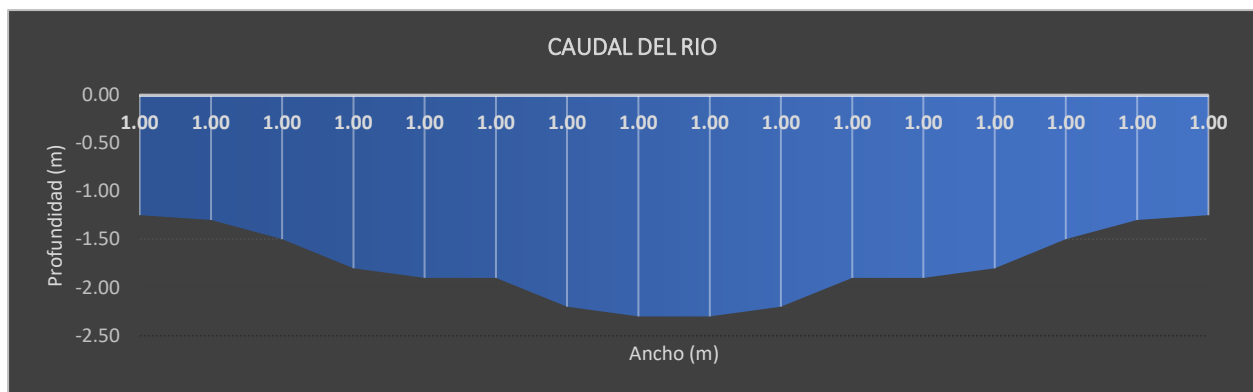
Ubicación del punto de aforo: Río Huatanay

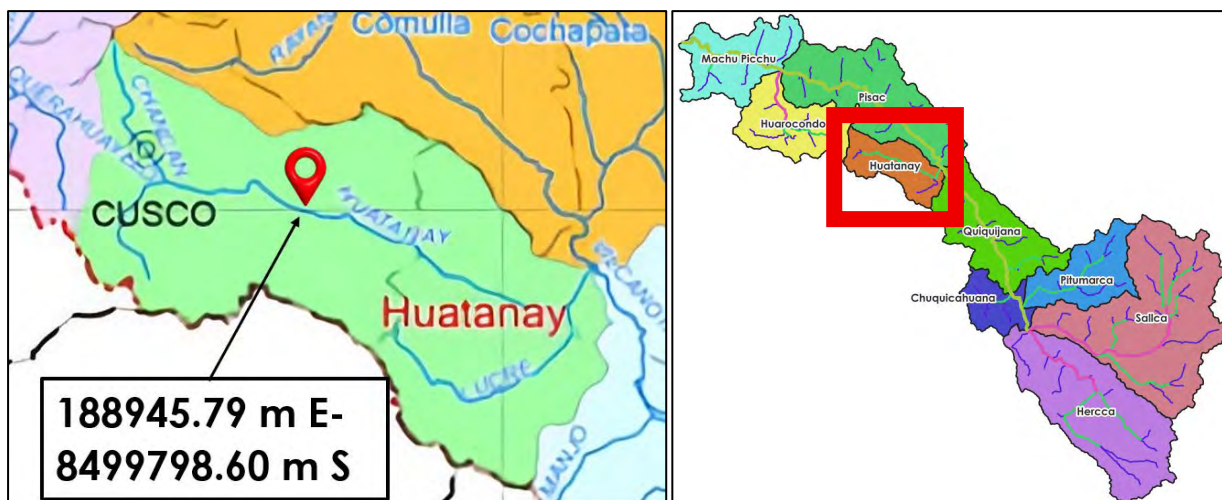
Equipo Utilizado: Correntómetro

Longitud de río: 16.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.75	0.75	1.25	1.00	1.25	0.94
2	0.95	0.75	0.85	1.30	1.00	1.30	1.11
3	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
4	1.00	0.80	0.90	1.80	1.00	1.80	1.62
5	1.00	0.80	0.90	1.90	1.00	1.90	1.71
6	1.00	0.85	0.93	1.90	1.00	1.90	1.76
7	1.05	0.85	0.95	2.20	1.00	2.20	2.09
8	1.10	0.90	1.00	2.30	1.00	2.30	2.30
9	1.05	0.90	0.98	2.30	1.00	2.30	2.24
10	1.05	0.85	0.95	2.20	1.00	2.20	2.09
11	1.00	0.85	0.93	1.90	1.00	1.90	1.76
12	1.00	0.80	0.90	1.90	1.00	1.90	1.71
13	1.00	0.80	0.90	1.80	1.00	1.80	1.62
14	0.98	0.80	0.89	1.50	1.00	1.50	1.34
15	0.95	0.75	0.85	1.30	1.00	1.30	1.11
16		0.75	0.75	1.25	1.00	1.25	0.94
TOTAL							25.65

Anexo 84. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Huatanay





Anexo 85. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Pisac

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA PISAC

Ubicación del punto de aforo: Río Pisac

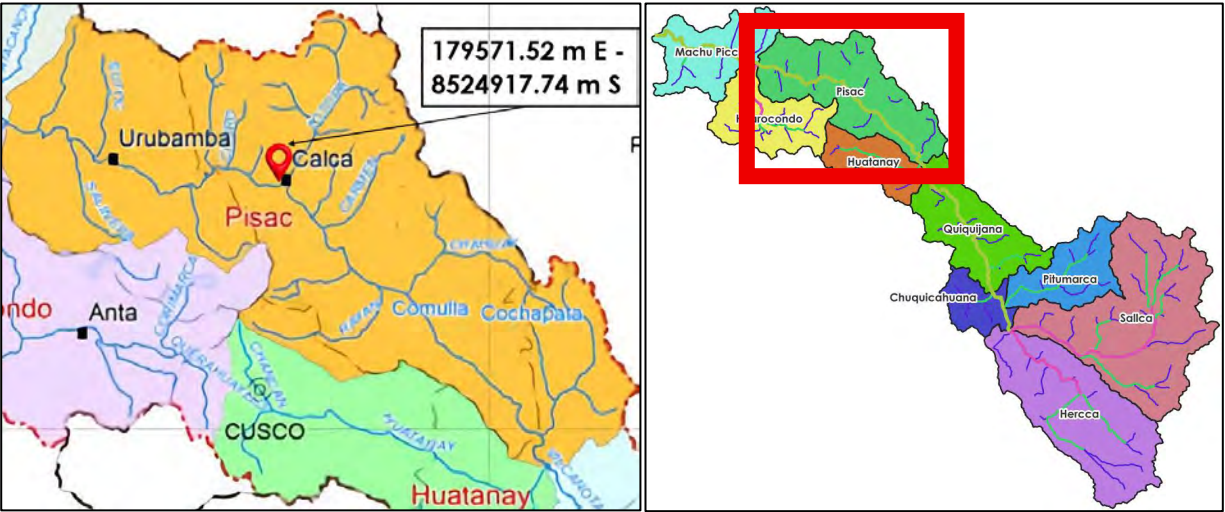
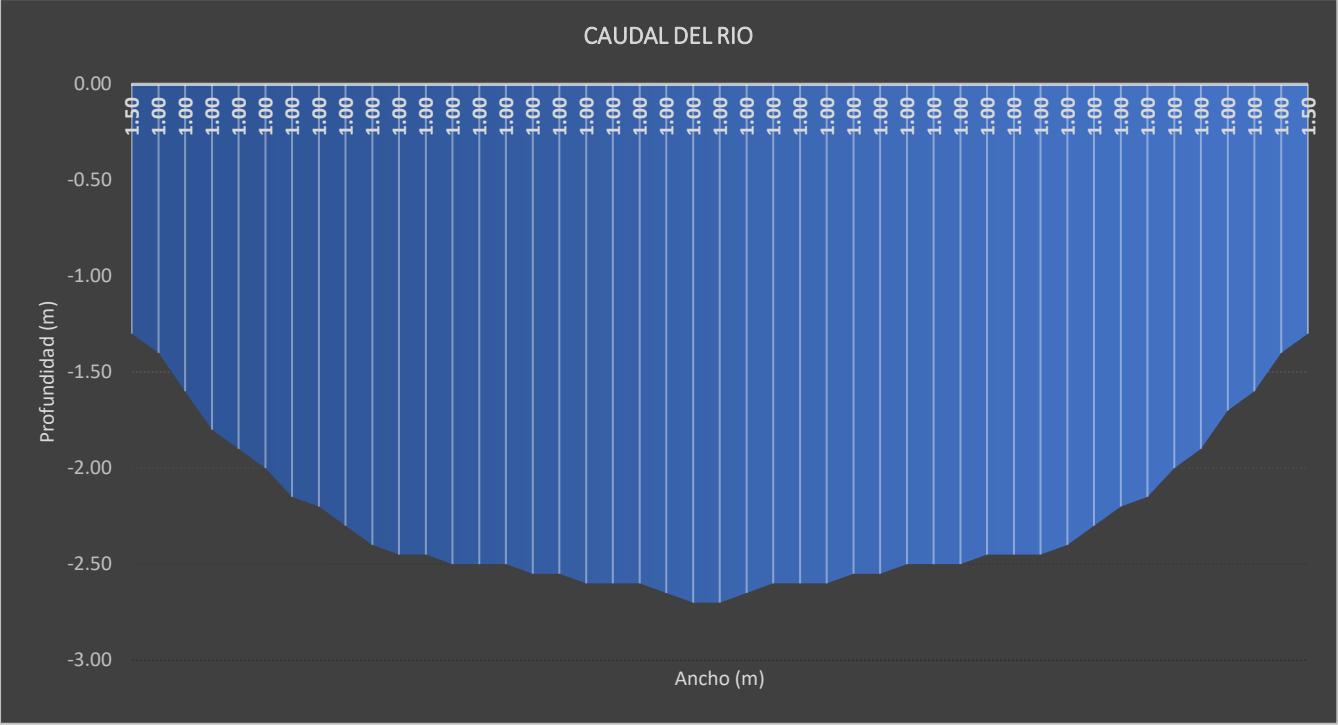
Equipo Utilizado: Correntómetro

Longitud de río: 46.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.80	0.80	1.30	1.50	1.95	1.56
2	0.95	0.80	0.88	1.40	1.00	1.40	1.23
3	1.00	0.85	0.93	1.60	1.00	1.60	1.48
4	1.05	0.95	1.00	1.80	1.00	1.80	1.80
5	1.10	1.00	1.05	1.90	1.00	1.90	2.00
6	1.10	1.00	1.05	2.00	1.00	2.00	2.10
7	1.15	1.05	1.10	2.15	1.00	2.15	2.37
8	1.15	1.05	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
9	1.20	1.10	1.15	2.30	1.00	2.30	2.65
10	1.20	1.10	1.15	2.40	1.00	2.40	2.76
11	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
12	1.20	1.10	1.15	2.45	1.00	2.45	2.82
13	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
14	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
15	1.45	1.15	1.30	2.50	1.00	2.50	3.25
16	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
17	1.45	1.20	1.33	2.55	1.00	2.55	3.38
18	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
19	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
20	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64

21	1.55	1.35	1.45	2.65	1.00	2.65	3.84
22	1.60	1.40	1.50	2.70	1.00	2.70	4.05
23	1.55	1.35	1.45	2.70	1.00	2.70	3.92
24	1.50	1.30	1.40	2.65	1.00	2.65	3.71
25	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
26	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
27	1.45	1.20	1.33	2.60	1.00	2.60	3.45
28	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
29	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
30	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
31	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
32	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
33	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
34	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
35	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
36	1.20	1.10	1.15	2.40	1.00	2.40	2.76
37	1.15	1.05	1.10	2.30	1.00	2.30	2.53
38	1.15	1.05	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
39	1.10	1.00	1.05	2.15	1.00	2.15	2.26
40	1.10	1.00	1.05	2.00	1.00	2.00	2.10
41	1.05	0.95	1.00	1.90	1.00	1.90	1.90
42	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
43	1.00	0.85	0.93	1.60	1.00	1.60	1.48
44	0.95	0.80	0.88	1.40	1.00	1.40	1.23
45		0.80	0.80	1.30	1.50	1.95	1.56
TOTAL							123.45

Anexo 86. *Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Pisac*

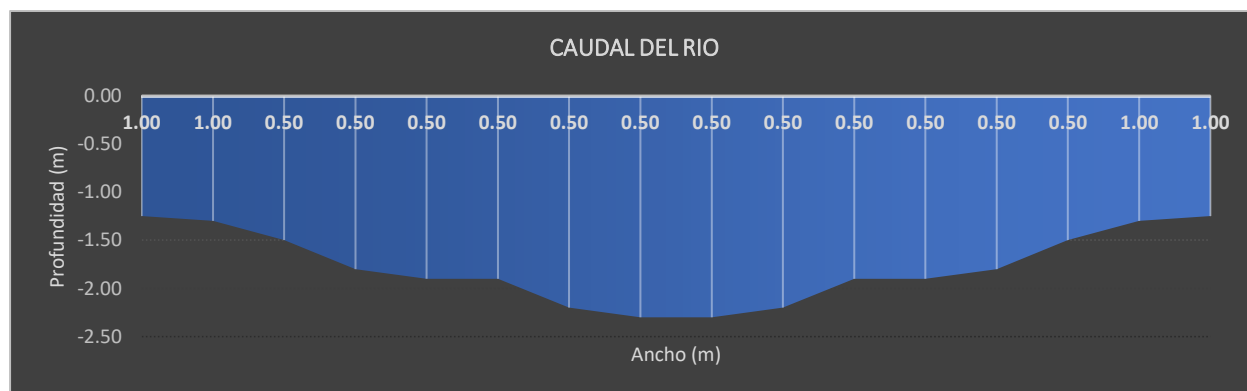


Anexo 87. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Huarocondo

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA HUAROCONDO							
Ubicación del punto de aforo: Río Huarocondo				Equipo Utilizado: Correntómetro			
Longitud de río: 10.00 m							
1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.75	0.75	1.25	1.00	1.25	0.94

2	0.95	0.75	0.85	1.30	1.00	1.30	1.11
3	0.98	0.80	0.89	1.50	0.50	0.75	0.67
4	1.00	0.80	0.90	1.80	0.50	0.90	0.81
5	1.00	0.80	0.90	1.90	0.50	0.95	0.86
6	1.00	0.85	0.93	1.90	0.50	0.95	0.88
7	1.05	0.85	0.95	2.20	0.50	1.10	1.05
8	1.10	0.90	1.00	2.30	0.50	1.15	1.15
9	1.05	0.90	0.98	2.30	0.50	1.15	1.12
10	1.05	0.85	0.95	2.20	0.50	1.10	1.05
11	1.00	0.85	0.93	1.90	0.50	0.95	0.88
12	1.00	0.80	0.90	1.90	0.50	0.95	0.86
13	1.00	0.80	0.90	1.80	0.50	0.90	0.81
14	0.98	0.80	0.89	1.50	0.50	0.75	0.67
15	0.95	0.75	0.85	1.30	1.00	1.30	1.11
16		0.75	0.75	1.25	1.00	1.25	0.94
TOTAL							14.87

Anexo 88. Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Huarocondo



Anexo 89. Cálculo de caudal mediante aforo con correntómetro – Subcuenca Machu Picchu

REGISTRO Y CALCULO DE CAUDAL EN LA SUBCUENCA MACHU PICCHU

Ubicación del punto de aforo: Río Machu Picchu

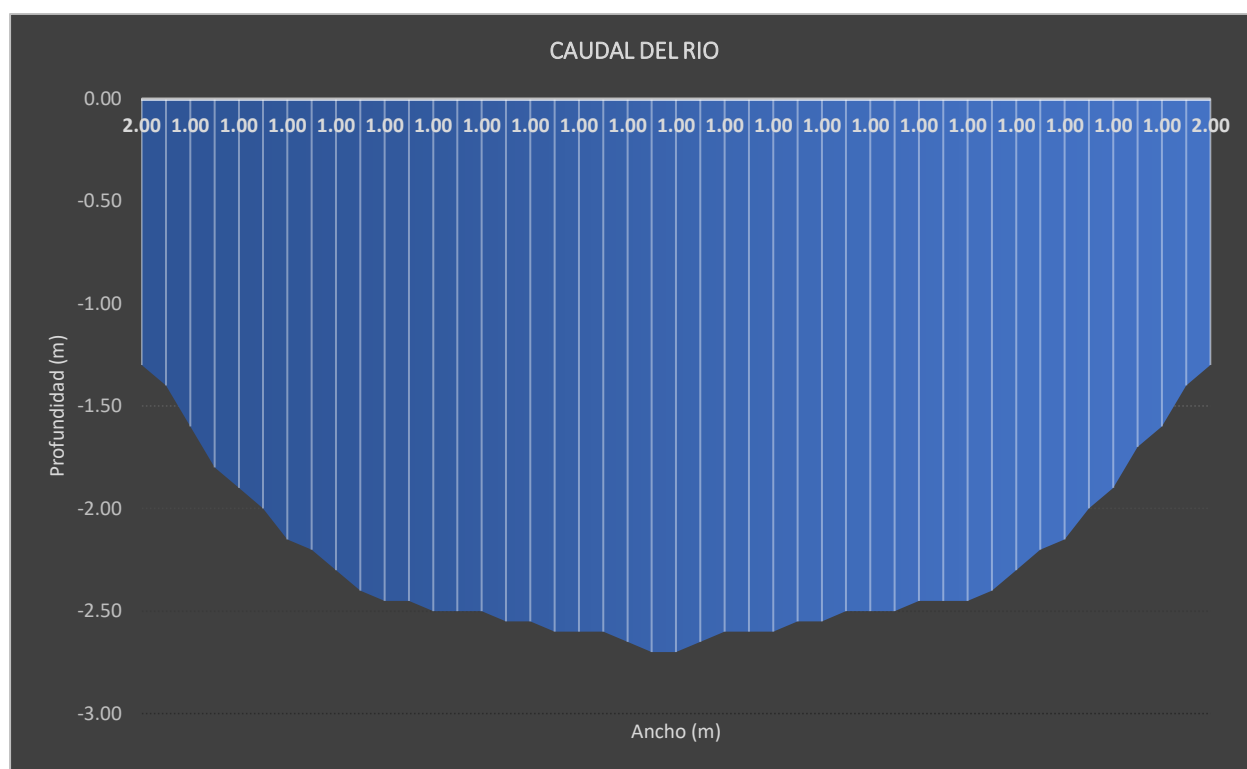
Equipo Utilizado: Correntómetro

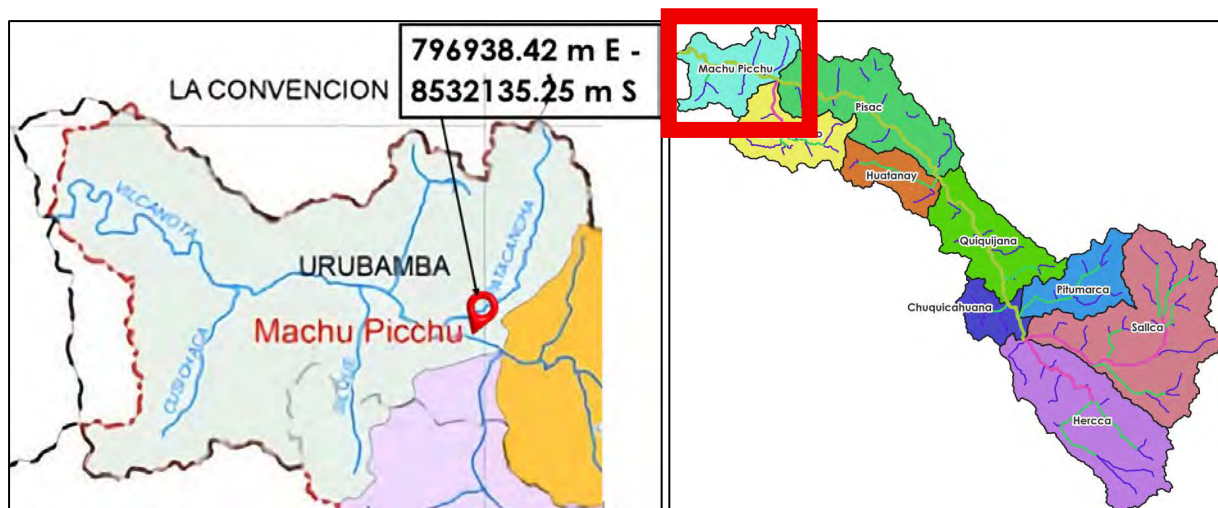
Longitud de río: 48.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Seccion	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Caudal (m³/s)
	0.2D	0.8D	Media				
1		0.80	0.80	1.30	2.00	2.60	2.08
2	0.95	0.80	0.88	1.40	1.50	2.10	1.84
3	1.00	0.85	0.93	1.60	1.00	1.60	1.48
4	1.05	0.95	1.00	1.80	1.00	1.80	1.80
5	1.10	1.00	1.05	1.90	1.00	1.90	2.00
6	1.10	1.00	1.05	2.00	1.00	2.00	2.10
7	1.15	1.05	1.10	2.15	1.00	2.15	2.37
8	1.15	1.05	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
9	1.20	1.10	1.15	2.30	1.00	2.30	2.65
10	1.20	1.10	1.15	2.40	1.00	2.40	2.76
11	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
12	1.20	1.10	1.15	2.45	1.00	2.45	2.82
13	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
14	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
15	1.45	1.15	1.30	2.50	1.00	2.50	3.25
16	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
17	1.45	1.20	1.33	2.55	1.00	2.55	3.38
18	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
19	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
20	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
21	1.55	1.35	1.45	2.65	1.00	2.65	3.84
22	1.60	1.40	1.50	2.70	1.00	2.70	4.05
23	1.55	1.35	1.45	2.70	1.00	2.70	3.92
24	1.50	1.30	1.40	2.65	1.00	2.65	3.71
25	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
26	1.50	1.30	1.40	2.60	1.00	2.60	3.64
27	1.45	1.20	1.33	2.60	1.00	2.60	3.45
28	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
29	1.45	1.15	1.30	2.55	1.00	2.55	3.32
30	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
31	1.30	1.15	1.23	2.50	1.00	2.50	3.06
32	1.30	1.10	1.20	2.50	1.00	2.50	3.00
33	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88

34	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
35	1.25	1.10	1.18	2.45	1.00	2.45	2.88
36	1.20	1.10	1.15	2.40	1.00	2.40	2.76
37	1.15	1.05	1.10	2.30	1.00	2.30	2.53
38	1.15	1.05	1.10	2.20	1.00	2.20	2.42
39	1.10	1.00	1.05	2.15	1.00	2.15	2.26
40	1.10	1.00	1.05	2.00	1.00	2.00	2.10
41	1.05	0.95	1.00	1.90	1.00	1.90	1.90
42	1.00	0.90	0.95	1.70	1.00	1.70	1.62
43	1.00	0.85	0.93	1.60	1.00	1.60	1.48
44	0.95	0.80	0.88	1.40	1.50	2.10	1.84
45		0.80	0.80	1.30	2.00	2.60	2.08
TOTAL							125.72

Anexo 90. *Perfil transversal de la sección de aforo y su ubicación – Subcuenca Machu Picchu*





Anexo 91. Suma de caudales aforados en la cuenca del río Vilcanota

CAUDALES AFORADOS EN LAS SUBCUENCAS DE LA CUENCA DEL RÍO VILCANOTA			
Ubicación de los puntos de aforo: Cuenca Vilcanota		Equipo Utilizado: Correntometro	
	SUBCUENCA	CAUDAL	UNIDAD
1	HERCCA	21.46	(m ³ /s)
2	SALLCA	24.42	(m ³ /s)
3	CHUQUICAHUANA	34.16	(m ³ /s)
4	PITUMARCA	26.37	(m ³ /s)
5	QUIQUIJANA	33.51	(m ³ /s)
6	HUATANAY	25.65	(m ³ /s)
7	PISAC	19.15	(m ³ /s)
8	HUAROCONDO	14.87	(m ³ /s)
9	MACHU PICCHU	105.85	(m ³ /s)
TOTAL		305.44	(m ³ /s)

Anexo 92. Análisis comparativo entre los caudales aforados mediante correntómetro y los registros históricos de EGEMSA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CAUDALES AFORADOS Y REGISTROS HISTÓRICOS DE EGEMSA	
DESCRIPCION	CAUDAL (m ³ /s)
Caudal medido con correntómetro	305.44
Caudal registrado por EGEMSA	317.45

ANEXO C - FOTOGRAFÍAS

Anexo 93. *Visita a campo de la subcuenca VI (Machu Picchu)*



Anexo 94. *Visita a campo de la subcuenca V2 (Huarucondo)*



Anexo 95. Visita a campo de la subcuenca V3 (Pisac)



Anexo 96. Visita a campo de la subcuenca V4 (Huatany)



Anexo 97. Visita a campo de la subcuenca V5 (Quiquijana)



Anexo 98. Visita a campo de la subcuenca V6 (Chuquicahuana)



Anexo 99. Visita a campo de la subcuenca V7 (Pitumarca)



Anexo 100. Visita a campo de la subcuenca V8 (Sallca)



Anexo 101. *Visita a campo de la subcuenca V9 (Hercca)*



Anexo 102. *Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca VI (Machu Picchu)*



Anexo 103. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V1 (Machu Picchu) –

Toma de datos



Anexo 104. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V2 (Huarcoondo)



Anexo 105. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V2 (Huariocondo) – Toma de datos



Anexo 106. *Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V3 (Pisac)*



Anexo 107. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V3 (Pisac) – Toma de datos



Anexo 108. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V4 (Huatany)



Anexo 109. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V4 (Huatanay) – Toma de datos



Anexo 110. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V5 (Quiquijana)



Anexo 111. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V5 (Quiquijana) – Toma de datos



Anexo 112. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V6 (Chuquicahuana)



Anexo 113. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V6 (Chuquicahuana) –
Toma de datos



Anexo 114. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V7 (Pitumarca)



Anexo 115. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V7 (Pitumarca) – Toma de datos



Anexo 116. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V8 (Sallca)



Anexo 117. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V8 (Sallca) – Toma de datos



Anexo 118. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V9 (Hercca)



Anexo 119. Trabajo de campo, prueba de infiltración en la subcuenca V9 (Hercca) – Toma de datos



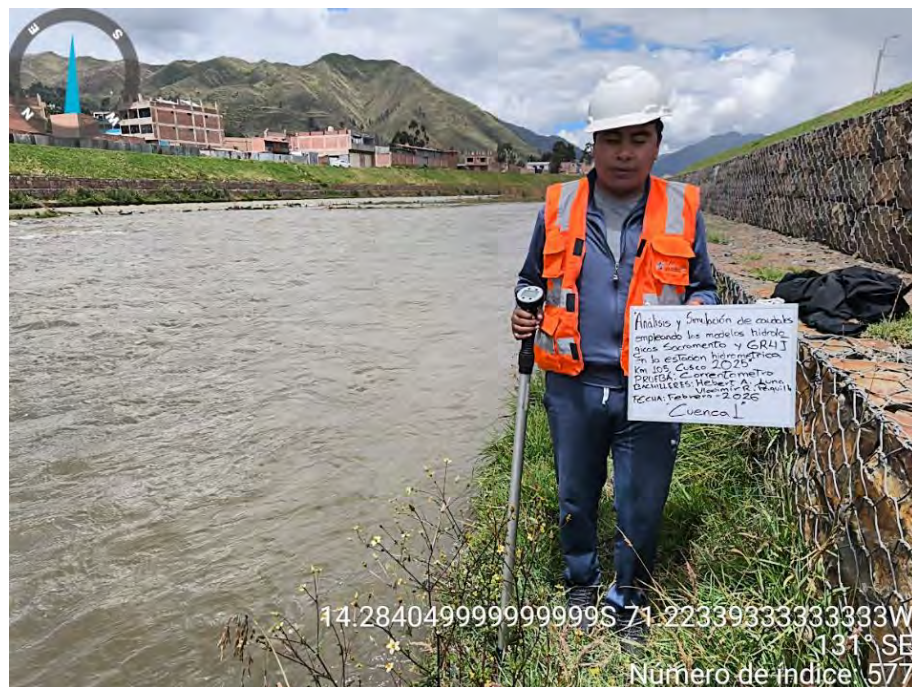
Anexo 120. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Hercca



Anexo 121. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca - Hercca



Anexo 122. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Sallca



Anexo 123. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Sallca



Anexo 124. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pitumarca



Anexo 125. *Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pitumarca*



Anexo 126. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca –
Chuquicahuana



Anexo 127. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la
subcuenca – Chuquicahuana



Anexo 128. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Quiquijana



Anexo 129. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Quiquijana



Anexo 130. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Huatanay



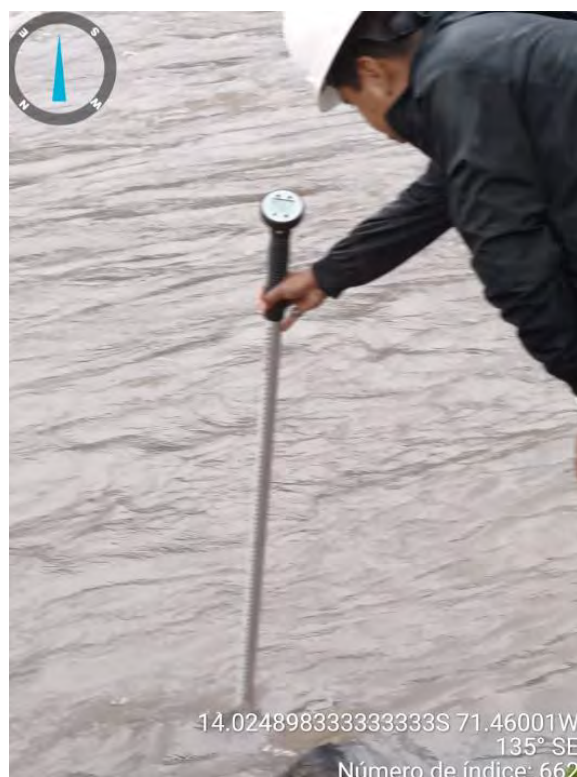
Anexo 131. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Huatanay



Anexo 132. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pisac



Anexo 133. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Pisac



Anexo 134. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca –
Huarucondo



Anexo 135. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la
subcuenca – Huarucondo



Anexo 136. Trabajo de campo, aforo de caudal con correntómetro en la subcuenca – Machu Picchu

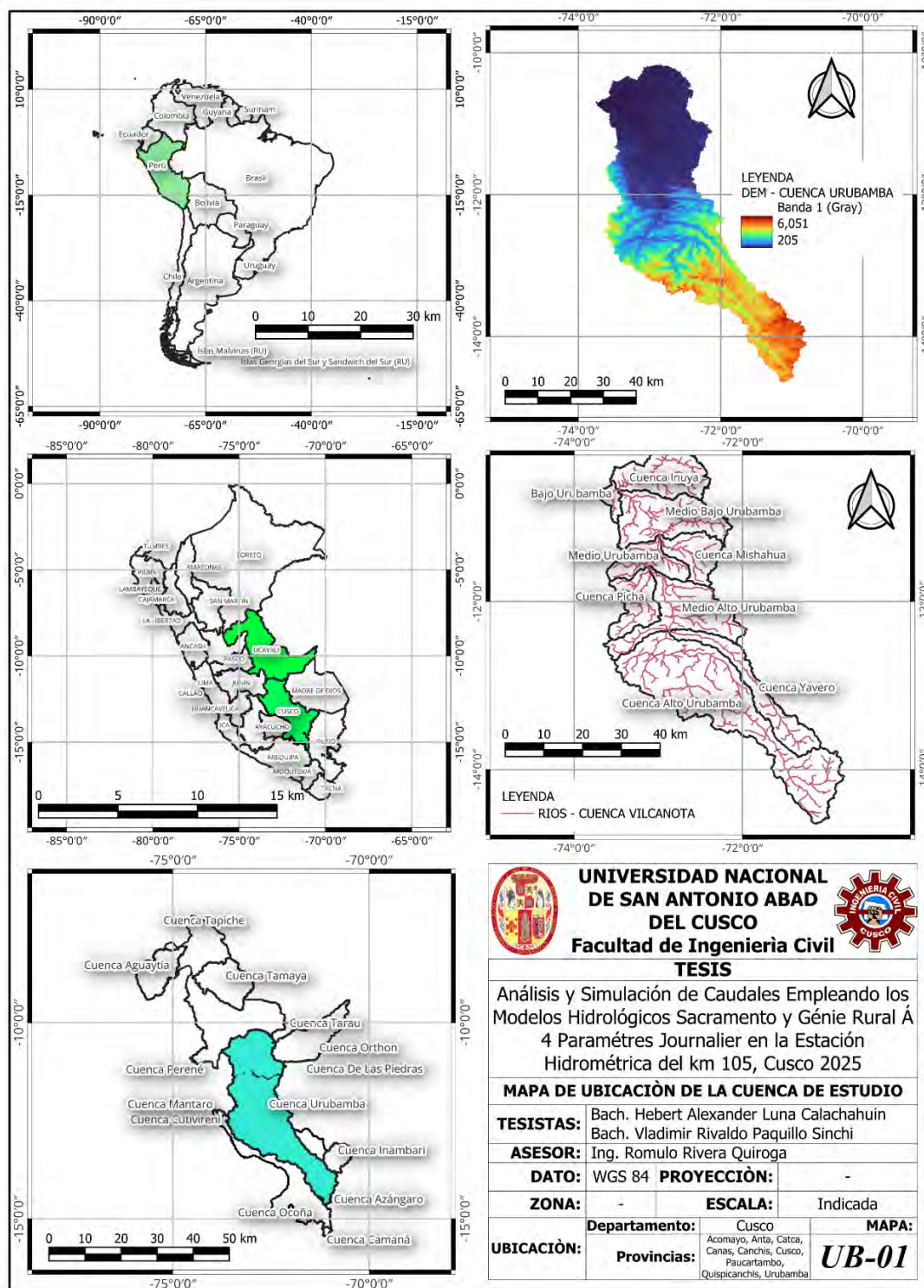


Anexo 137. Trabajo de campo, medición de la velocidad de caudal con correntómetro en la subcuenca – Machu Picchu



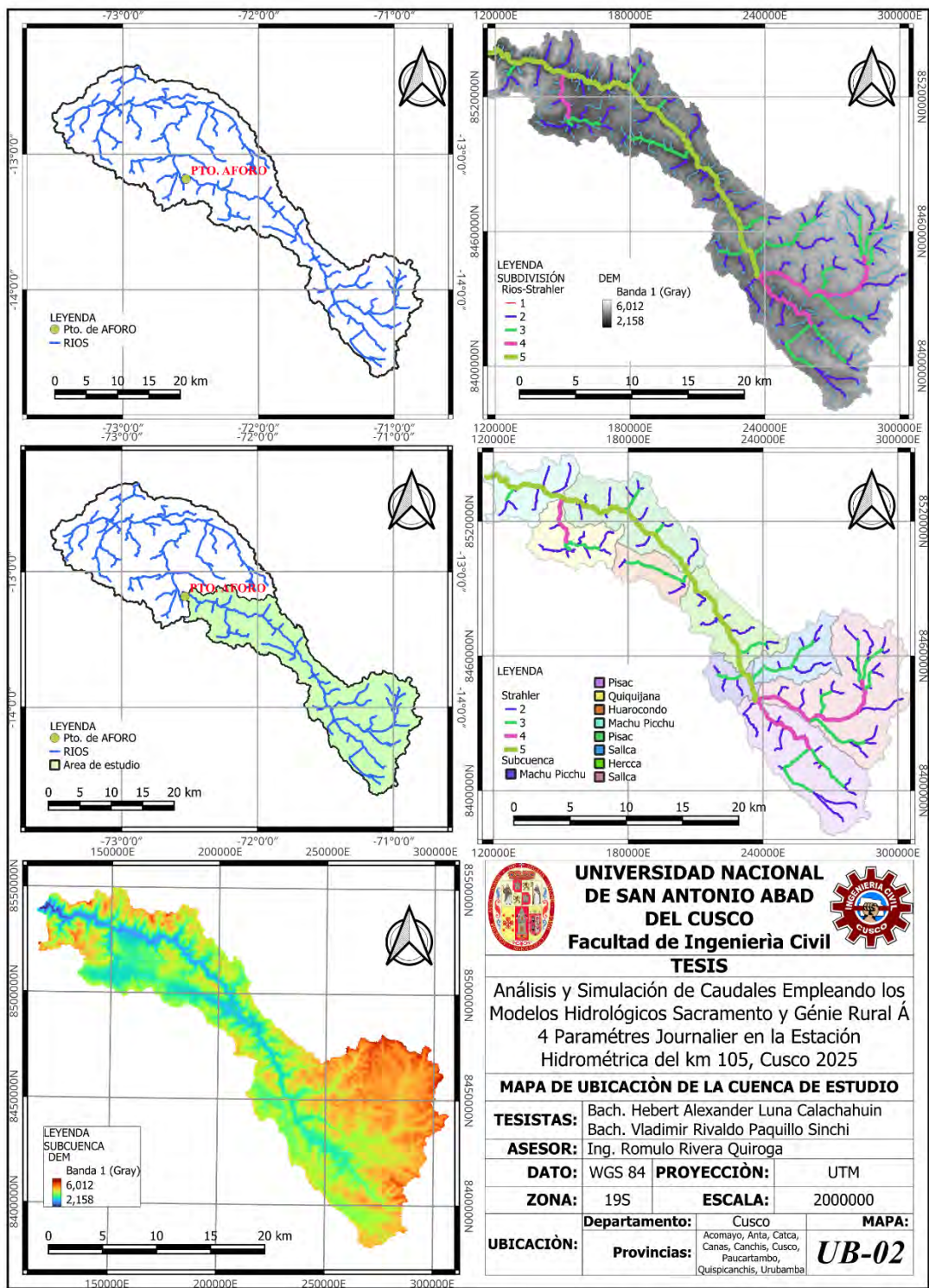
PLANOS DE MAPAS DE LA CUENCA DE ESTUDIO

Plano 1. Ubicación política de la cuenca de estudio – UB-01



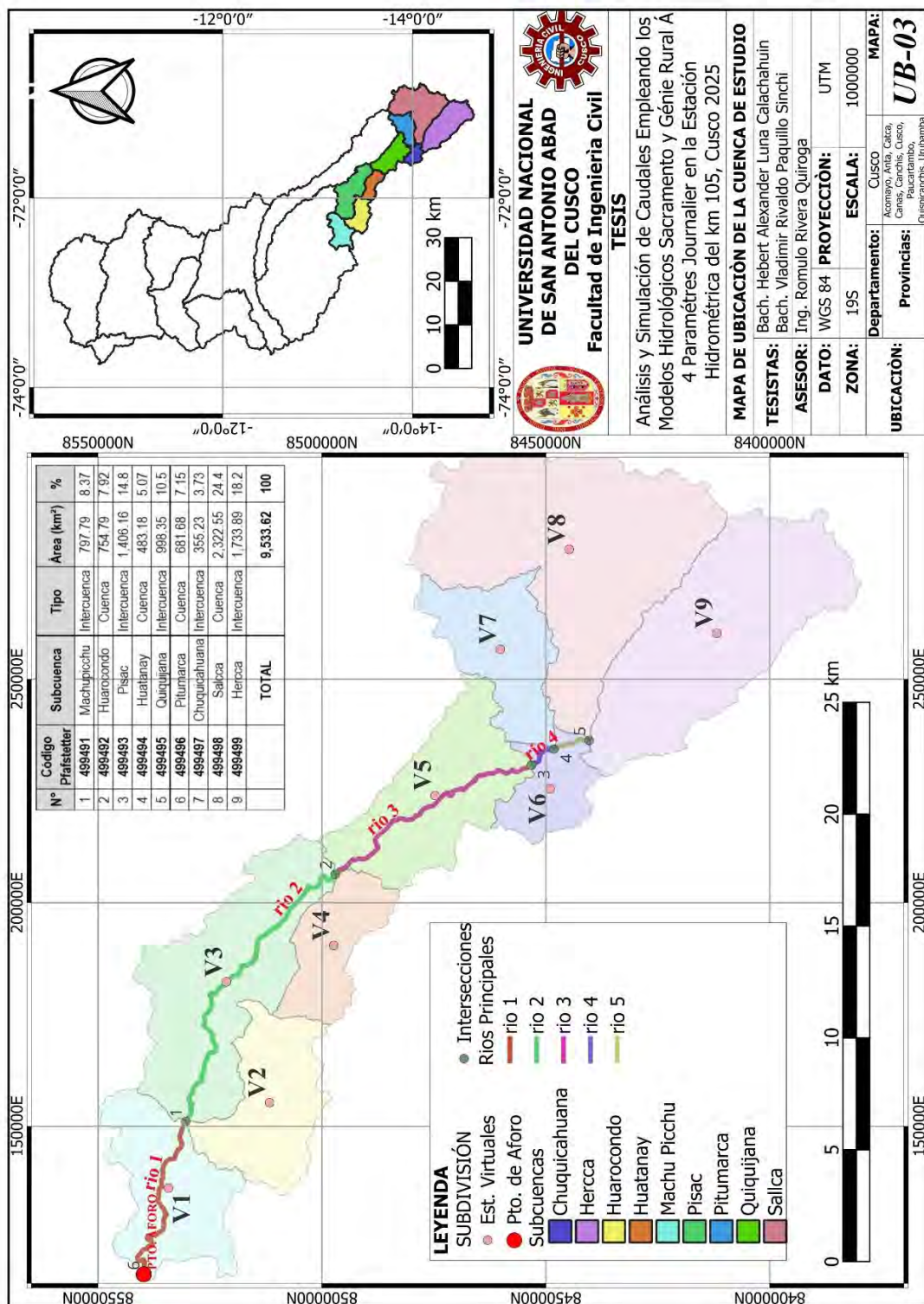
Fuente. Elaboración propia

Plano 2. Mapa hidrográfico de la Subcuenca del Alto Urubamba



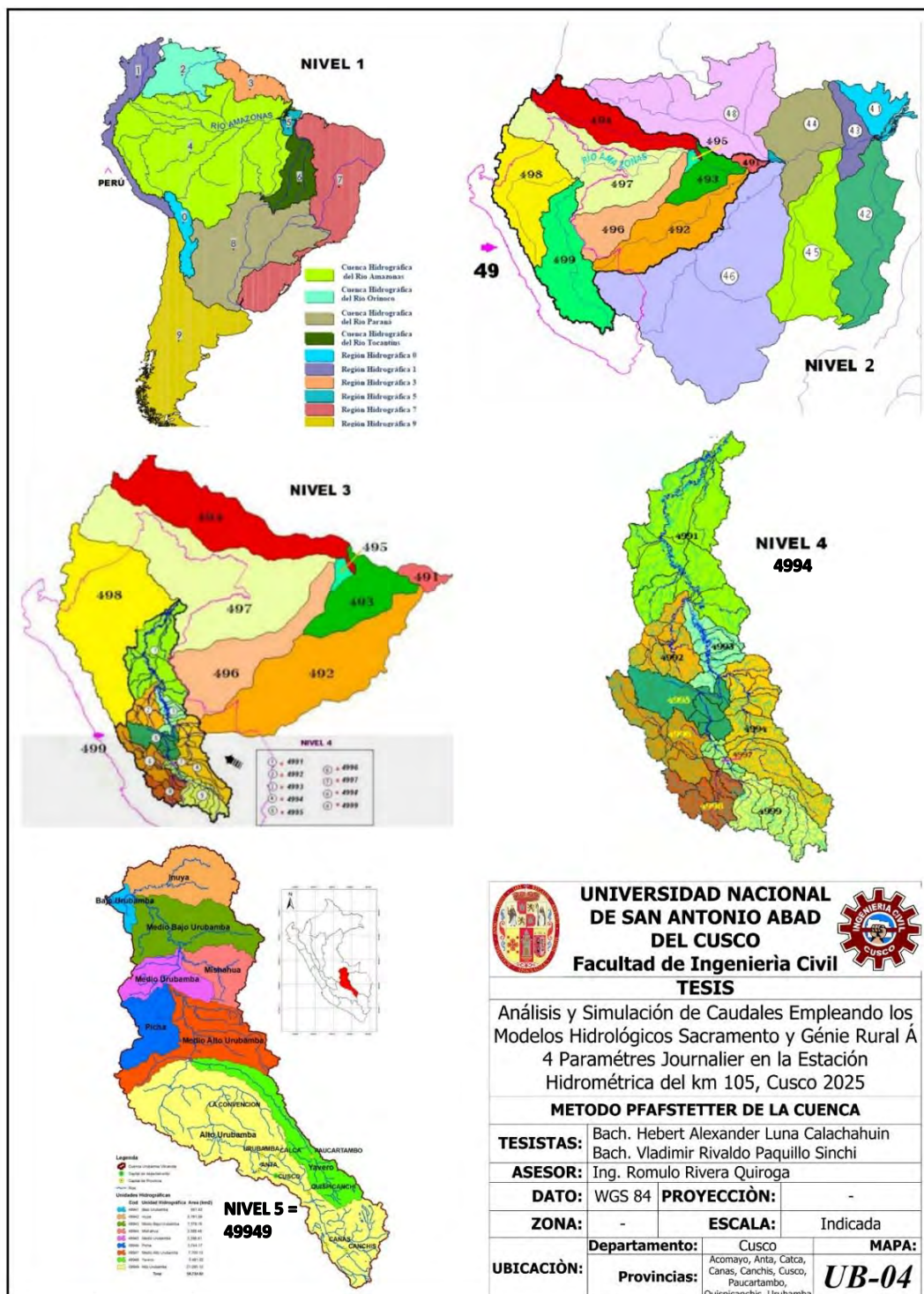
Fuente. Elaboración propia

Plano 3. Subdivisión de la subcuenca de estudio



Fuente. Elaboración propia

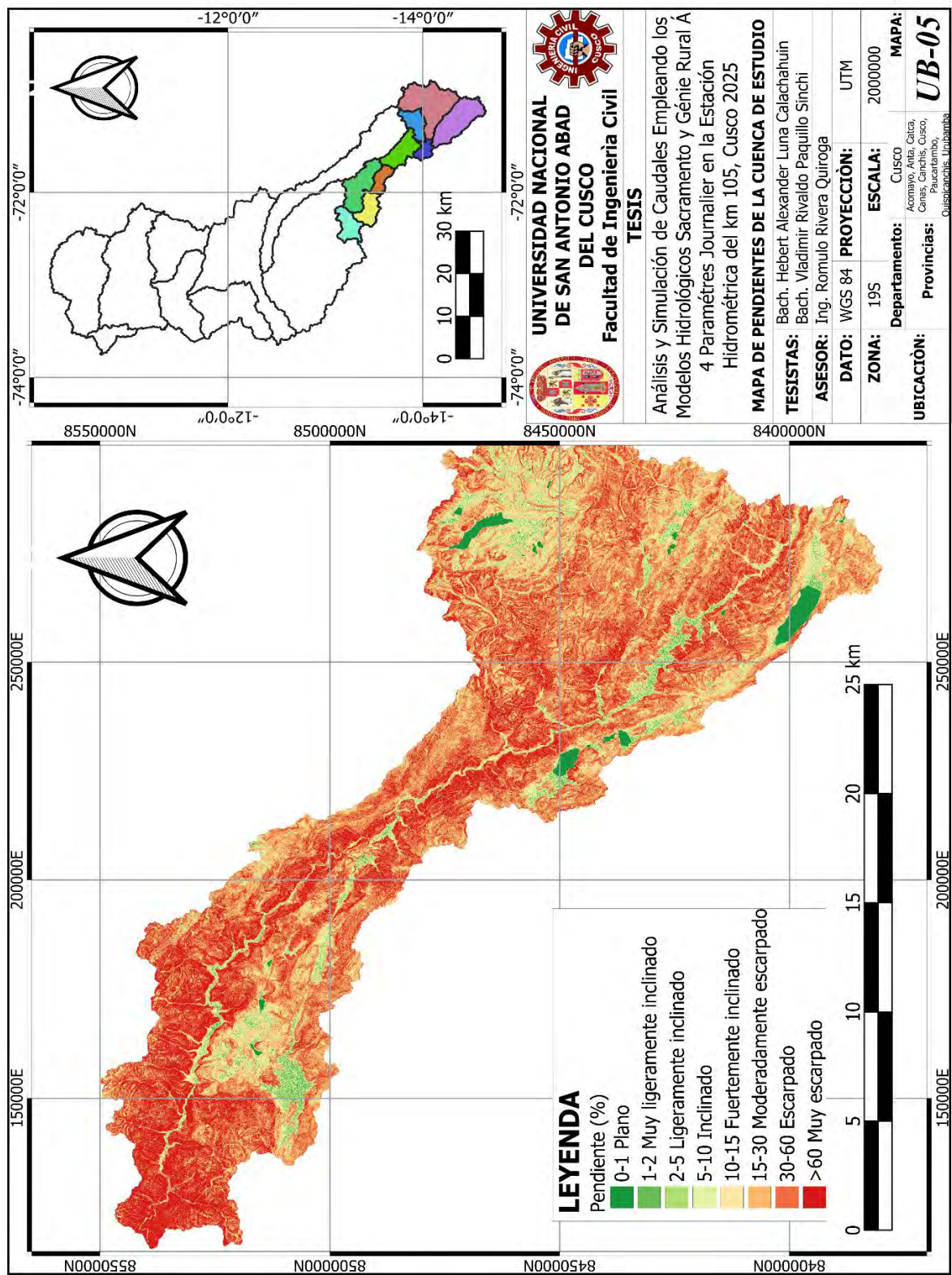
Plano 4. Método Pfafstetter de la cuenca



Nota: El presente plano codifica hasta el Nivel 5=49949, nivel máximo publicado en el estándar cartográfico nacional (R.M. N° 033-2008-AG, ANA; 159 unidades hidrográficas del Perú). La cuenca de estudio delimitada mediante DEM, se presenta un plano independiente por corresponder a un sector interno de la U.H. definido por el estudio, y no a una unidad Pfafstetter formal.

Fuente. Elaboración propia

Plano 5. Mapa de pendientes de la cuenca



Fuente. Elaboración propia

Fuente. Elaboración propia

