

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO
EMPLEANDO EL PRODUCTO PISCO PRECIPITACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO ICHU - HUANCVELICA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. QUINTANA VILLA, Dante Yassef

ASESORES:

- Mg. SANTOS JULCA, Jacqueline Jeanette
- Mg. POMA BERNAOLA, Lourdes Graciela

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Salud y gestión de salud

Huancayo – Perú

2024

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

DR. RUBEN DARIO, TAPIA SILGUERA

PRESIDENTE

MG. MAITA PEREZ, MANUEL IVAN

JURADO

MG. PALOMINO DAVIRAN, CARLOS ENRIQUE

JURADO

MG. ZUÑIGA ALMONACID, ERIKA GENOVEVA

JURADO

MG. LEONEL UNITIVEROS PEÑALOZA

Secretario docente



UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

**EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DEJA: a**

CONSTANCIA N° 0150

Que, el (la) bachiller: QUINTANA VILLA DANTE YASSEF, de la Escuela Profesional de INGENIERIA CIVIL, presentó la tesis denominada: "MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO EMPLEANDO EL PRODUCTO PISCO PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO ICHU - HUANCVELICA"; la misma que cuenta con 0108 Páginas y que ha sido ingresada por el SOFTWARE – TURNITIN FEEDBACK STUDIO obteniendo el 028 % de similitud.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Huancayo 29 de abril del 2022




Dr. Santiago Zevallos Salinas
Director de la Unidad de Investigación

Dedicatoria

A Dios y mi familia por haberme permitido llegar hasta este momento y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Quintana villa, Dante Yassef.

Agradecimientos

A la Universidad Peruana los Andes, alma mater, del cual me siento muy orgulloso haber pertenecido y egresado de sus aulas.

A todos los amigos que contribuyeron con sus palabras de ánimos y consejos para hacer realidad este trabajo de investigación y a mis compañeros de la universidad por compartir muchos momentos agradables durante nuestra permanencia.

Quintana villa, Dante Yassef.

Asesor

- Mg. SANTOS JULCA, Jacqueline Jeanette.
- Mg. POMA BERNAOLA, Lourdes Graciela.

INDICE GENERAL

Portada	I
Hoja de Conformidad de los jurados	II
constancia de similitud (turnitin)	III
Resumen	XIV
Abstract	XV
Introducción	XVI
CAPÍTULO I	18
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Formulación y sistematización del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.3. Problemas específicos	19
1.4. Justificación	19
1.4.1. Práctica	19
1.4.2. Teórica	20
1.4.3. Metodológica	20
1.5. Delimitaciones.....	20
1.5.1. Espacial	20
1.5.2. Temporal	27
1.5.3. Económica	27
1.6. Limitaciones.....	27
1.7. Objetivos	27
1.7.1. Objetivo general	27
1.7.2. Objetivos específicos	28
CAPÍTULO II	29
	VII

2. MARCO TEÓRICO	29
2.1. Antecedentes de la investigación	29
2.1.1. Internacional	29
2.1.2. Nacional	31
2.1.3. Local.....	34
2.2. Marco conceptual.....	35
2.2.1. Cuenca hidrográfica	35
2.2.1.1. Características morfométricas de la cuenca	36
2.2.2. Precipitación	37
2.2.2.1. Precipitación remota del producto PISCOp	38
2.2.3. Modelos hidrológicos	40
2.2.4. Clasificación	41
2.2.4.1. Modelos físicos.....	41
2.2.4.2. Modelos abstractos	41
2.2.5. Modelo hidrológico distribuido TETIS	43
2.2.5.1. Producción de escorrentía mediante TETIS	44
2.2.5.2. Estimación previa de parámetros	46
2.2.5.3. Caudal.....	47
2.3. Definición de términos	48
2.4. Hipótesis	49
2.4.1. Hipótesis general	49
2.4.2. Hipótesis específicas	49
2.5. Variables	50
2.5.1. Definición conceptual de la variable	50
2.5.1.1. Variable dependiente	50
2.5.2. Variable independiente	50
2.5.3. Definición operacional de la variable	50
2.5.3.1. Variable dependiente	50
2.5.4. Variable independiente	50
2.5.5. Operacionalización de variables	51
 CAPÍTULO III	 52

3. METODOLOGÍA	52
3.1. Método de investigación	52
3.2. Tipo de investigación	52
3.3. Nivel de investigación	53
3.4. Diseño de investigación	53
3.5. Población, muestra y muestreo	53
3.5.1. Población	53
3.5.2. Muestra	53
3.5.3. Muestreo	53
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.6.1. Técnicas de recolección de datos	54
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos	54
3.7. Procesamiento de la información	54
3.8. Técnicas y análisis de datos	59
CAPÍTULO IV	61
4. RESULTADOS	61
4.1. PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido	61
4.1.1. Análisis de precipitación PISCO	61
4.1.2. Mapas para el modelo TETIS.....	73
4.2. Caudales diarios en el modelamiento hidrológico distribuido - TETIS.....	78
4.2.1. Caudales simulado sin calibración TETIS	78
4.2.2. Calibración y validación del modelo TETIS	79
4.2.2.1. Calibración mediante el modelo TETIS	79
4.2.3. Generación de caudales históricos calibrados	83
4.3. Caudales mensuales en el modelamiento hidrológico distribuido - TETIS.....	85
4.4. Caudales máximos en el modelamiento hidrológico distribuido - TETIS	87
4.5. Prueba de hipótesis	89
4.5.1. Hipótesis general	89

4.5.1.1. Análisis estadístico mediante indicadores esta- dísticos	90
4.5.2. Hipótesis específica 01	91
4.5.3. Hipótesis específica 02	92
4.5.4. Hipótesis específica 03	93
CAPÍTULO V	95
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
6. Conclusiones	97
7. Recomendaciones	98
8. Referencias	99
Anexos	103
A1.- Panel fotográfico	104
A2.- Matriz de consistencia.....	106
A3.- Matriz de operacionalización de variables	107
A4.- Precipitación - PISCOp	108
A5.- Caudales - Estación hidrométrica	121

INDICE DE TABLAS

Estaciones meteorológicas e hidrométrica en la cuenca del río	
Ichu.....	22
1.1. Datos para curva hipsométrica y frecuencia de altitudes	22
1.2. Continuación de la tabla	24
1.3. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Ichu	25
1.3. Continuación de la tabla	26
2.1. Operacionalización de variables.	51
4.1. Caudal mensual simulado - TETIS	85
4.2. Continuación de la tabla	86
4.3. Caudal mensual observado - estación hidrométrica	86
4.4. Caudal promedio mensual	86
4.5. Resumen de caudales máximos simulados (m ³ /s)	88
4.5. Continuación de la tabla	89
4.6. Caudal máximo simulado y observado	89

INDICE DE FIGURAS

1.1. Ámbito espacial	21
1.2. Ubicación y localización geográfica del ámbito de estudio	22
1.3. Curva Hipsométrica y histograma de frecuencias	25
2.1. Cuencas hidrográficas	36
2.2. Formas de precipitación	37
2.3. Productos de precipitación remota	39
2.4. PISCOp a nivel nacional	40
2.5. Clasificación de modelos hidrológicos	42
2.6. Esquema conceptual de tanques a nivel de celdas del modelo TETIS45	
2.7. Esquema horizontal propuesto de TETIS.....	46
3.1. Caudales observados	56
3.2. Estaciones sintéticas del producto PISCO precipitación en la cuenca del río Ichu	58
3.3. Caudales simulados sin proceso de calibración	59
4.1. Precipitación acumulada: precipitación media anual	62
4.2. Extracción y análisis de estación sintética 01 PISCOp.....	63
4.3. Estación sintética 01 del producto PISCO precipitación	63
4.4. Extracción y análisis de estación sintética 02 PISCOp	64
4.5. Estación sintética 02 del producto PISCO precipitación	64
4.6. Extracción y análisis de estación sintética 03 PISCOp	65
4.7. Estación sintética 03 del producto PISCO precipitación	65
4.8. Extracción y análisis de estación sintética 04 PISCOp	66
4.9. Estación sintética 04 del producto PISCO precipitación	66
4.10. Extracción y análisis de estación sintética 05 PISCOp	67
4.11. Estación sintética 05 del producto PISCO precipitación	67
4.12. Extracción y análisis de estación sintética 06 PISCOp	68
4.13. Estación sintética 06 del producto PISCO precipitación	68

4.14. Extracción y análisis de estación sintética 07 PISCOp	69
4.15. Estación sintética 07 del producto PISCO precipitación	69
4.16. Extracción y análisis de estación sintética 08 PISCOp	70
4.17. Estación sintética 08 del producto PISCO precipitación	70
4.18. Extracción y análisis de estación sintética 09 PISCOp	71
4.19. Estación sintética 09 del producto PISCO precipitación	71
4.20. Extracción y análisis de estación sintética 10 PISCOp	72
4.21. Estación sintética 10 del producto PISCO precipitación	72
4.22. DEM de la cuenca del río Ichu.....	73
4.23. Raster Almacenamiento Estático (Hu)	74
4.24. Raster Capacidad de infiltración (Ks)	75
4.25. Raster Capacidad de Percolación (Kp)	76
4.26. Raster capacidad de pérdida al acuífero profundo (Ksp)	77
4.27. Raster velocidad de ladera (m/s)	78
4.28. Caudales simulados sin proceso de calibración	79
4.29. Resultados de la simulación sin calibración. Nash = 0.1925. Fuente: TETIS V.9.0.1	79
4.30. Configuración del modelo	81
4.31. Caudal diario simulados y observado.....	82
4.32. Dispersión	82
4.33. Caudales generados e índice de estadísticos de calibración	83
4.34. Caudales generados e índice de estadísticos de calibración	84
4.35. Caudales generados e índice de estadísticos de calibración	84
4.36. Caudales promedio mensual simulados y observado	87
4.37. Dispersión de caudales mensuales	87

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado Modelamiento Hidrológico Distribuido empleando el producto PISCO precipitación en la cuenca del río Ichu - Huancavelica, se formuló el problema de investigación: ¿de qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu - Huancavelica?, siendo el objetivo general determinar si la información del producto PISCO influye en el desempeño del modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu. Para lograr este objetivo, se utilizó el modelo hidrológico distribuido TETIS teniendo como datos de entrada la precipitación grillada PISCO y los datos de 01 estación hidrométrica ubicada en la ciudad de Huancavelica, con el cual se obtuvieron los parámetros hidrológicos mediante la calibración. Así mismo se planteó la hipótesis: la información del producto PISCO influye favorablemente en el desempeño del modelamiento hidrológico distribuido TETIS en cuenca del río Ichu. Siendo la metodología de investigación científica del tipo aplicada de nivel explicativo, con diseño no experimental - longitudinal. Llegando a la conclusión que al emplear los datos del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido TETIS y realizando una calibración adecuada, se evidencia que no hay diferencia significativa entre los caudales observados y simulados, complementariamente en la escala del índice de eficiencia Nash - Sutcliffe se obtuvo un valor de 0.5802, catalogándose como un ajuste bueno

Palabras claves: Modelamiento hidrológico distribuido, precipitación grillada PISCO.

ABSTRACT

The present research work entitled Distributed Hydrological Modeling using the PISCO precipitation product in the Ichu - Huancavelica river basin, formulated the research problem: how will the information from the PISCO precipitation product influence the distributed hydrological modeling in the Ichu - Huancavelica river basin? Ichu River - Huancavelica?, the general objective being to determine if the information of the PISCO product will influence the performance of the hydrological modeling distributed in the Ichu River basin. To achieve this objective, the TETIS distributed hydrological model was used, having as input data the PISCO gridded precipitation and the data from 01 hydrometric station located in the city of Huancavelica, with which the hydrological parameters were obtained through calibration. Likewise, the hypothesis was raised: the information of the PISCO product favorably influences the performance of the TETIS distributed hydrological modeling in the Ichu river basin. Being the scientific research methodology of the applied type of explanatory level, with a non-experimental - longitudinal design. Reaching the conclusion that when using the data of the PISCO precipitation product in the TETIS distributed hydrological modeling and performing an adequate calibration, it is evident that there is no significant difference between the observed and simulated flows, complementarily in the scale of the Nash - Sutcliffe efficiency index. a value of 0.5802 was obtained, classifying it as a *good fit*

Keywords: Distributed hydrological modeling, PISCO gridded precipitation.

INTRODUCCIÓN

La información de precipitación satelital es una excelente opción en zonas donde la densidad de estaciones pluviométricas es deficiente o nula, ya que permite disponer en tiempo y espacio datos que se ajustan a la necesidad de un modelamiento hidrológico, es por ello que en la presente investigación en la cuenca del río Ichu, se realiza el análisis exploratorio y estadístico de la información de precipitación remota PISCO a escala diaria, el cuál es la variable principal de entrada en el modelamiento hidrológico distribuido, obteniéndose caudales simulados los que fueron calibrados mediante el ajuste de parámetros en el software TETIS, es así que mediante el estadístico de eficiencia Nash- Sutcliffe se comparan los caudales observados y simulados-calibrados en la sección de aforo de la cuenca del río Ichu, logrando resultados favorables. Se detalla el contenido de cada capítulo:

- Capítulo I: Problema. - Contiene los antecedentes bibliográficos, planteamiento del problema, formulación del problema, justificación de la investigación.
- Capítulo II: Marco teórico. - Se desarrolla la fundamentación teórica de la tesis; información de la cuenca, modelo hidrológico TETIS y lo concerniente a información precipitación PISCO.
- Capítulo III: Metodología. - Se presenta el ámbito temporal y espacial de la investigación, identificación de la población, muestra de estudio, técnicas e instrumentos para la adquisición y procesamiento de datos y metodología para llegar al objetivo de la investigación.
- Capítulo IV: Análisis y resultado de la investigación. - Se presentan resultados en función de los objetivos de la investigación como: análisis exploratorio de la información del producto PISCO, resultados de aforos y caudales, resultados del modelamiento hidrológico distribuido teniendo como entrada el producto PISCO, resultados de los factores correctores y

finalmente se presenta los resultados de la simulación de caudales. en función de los resultados obtenidos en la investigación.

- Capítulo V: Análisis y resultado de la investigación. - Se presenta la discusión de resultados en función de los resultados obtenidos en la investigación.
- Conclusiones y recomendaciones. - Se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación, en relación a los objetivos establecidos.
- Anexos. - Contiene los resultados, datos, gráficos y tabulares documentados.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La modelación hidrológica es una de las facetas de más interés en las ciencias hídricas y a la vez tiene un papel importante en el desarrollo de diferentes sectores (agrícolas, industriales, urbano, salud, etc.). Sin embargo, depende de la disponibilidad de datos de entrada y en muchos casos se dificulta por la insuficiencia de estos datos, motivo por el cual se deben considerar y recurrir a otras fuentes de información (Cachuán, 2017).

De esta problemática surge la idea de realizar esta investigación, si para modelar y generar caudales en una cuenca hidrográfica la información climática es deficiente o nula, entonces se deben buscar otras fuentes de información.

Como salida a esta problemática se propone utilizar información de precipitación remota PISCOp, que es información de precipitación grillada de todo el Perú abarcando en zonas donde no existen sistemas de observación tales como pluviómetros y radar o donde la densidad de estos instrumentos sea deficiente (Aybar et al., 2017).

Por otra parte, los avances en el modelamiento hidrológico y el desarrollo de la computación a nivel de los SIG, permiten incluir datos espaciales de radares, satélites en el modelamiento hidrológico (Zubieta, 2017), el cual permite considerar la variación espacial en todos sus parámetros y variables en cada punto de la cuenca.

En base a los argumentos planteados, en esta investigación se propone utilizar la información disponible de precipitación remota PISCOp como una solución a la insuficiencia de datos, y evaluar su desempeño en el modelo hidrológico distribuido (TETIS), así mismo permitirá conocer el caudal en una sección determinada del río y pueda servir como instrumento para tomar decisiones.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

La investigación se formuló mediante la siguiente interrogante general, la cuál se utiliza en cada momento durante el transcurso de esta investigación y la respuesta será determinada al final de la misma.

- ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu?

1.3 Problemas específicos

- ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión caudal diario en la cuenca del río Ichu?
- ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión caudal mensual en la cuenca del río Ichu?
- ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión caudal máximo en la cuenca del río Ichu?

1.4 Justificación

1.4.1 Práctica

Incentivar el uso de la información del producto PISCO como insumo para realizar un modelamiento hidrológico. Asimismo, el resultado del estudio permite resolver problemas relacionados a prevención de riesgos, planificación y gestión

de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas.

1.4.2 Teórica

Aplicar el uso de la información proveniente de sensores remotos como alternativas para poder realizar un modelamiento hidrológico en cualquier cuenca y/o sub cuenca del Perú. Asimismo, se utilizó la información del producto PIS- CO como entradas a modelos hidrológicos y encontrar los factores correctores más adecuados a las características propias de cuenca del río Ichu. Por ello, se constata la influencia de la información del producto PISCOp en la modelación hidrológica mediante un modelo distribuido aplicado en la cuenca del río Ichu de la región de Huancavelica.

1.4.3 Metodológica

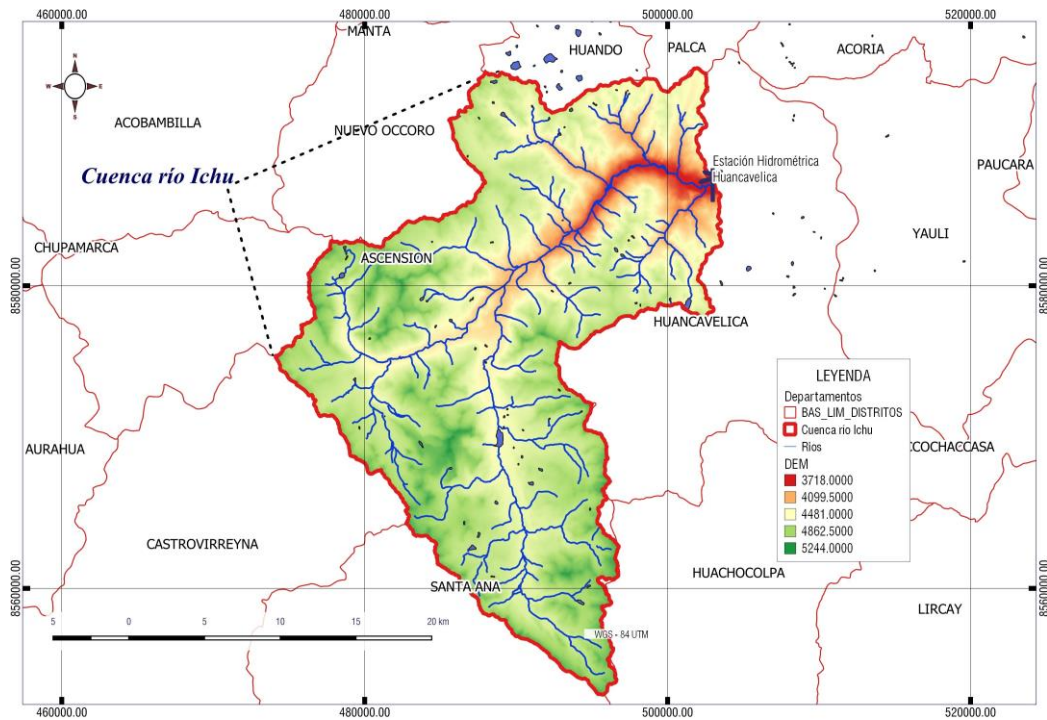
El modelamiento hidrológico, requiere de información hidrológicas y meteorológicas fiable de la cuenca. El modelamiento hidrológico se dificulta en la cuenca del río Ichu por la insuficiencia de información, para lo cual se propone como salida a esta problemática el uso de precipitación remota del producto PISCO, ya que se cuenta con precipitación grillada de todo el Perú. Por tanto, el aporte para cuencas no instrumentadas, y la información del producto PISCO sería una fuente de información valiosa para apoyar la modelación hidrológica en regiones donde los datos de precipitación en tierra sean escasos.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Espacial

El ámbito de la investigación se ubica en la ciudad de Huancavelica, en la cuenca del río Ichu del departamento de Huancavelica, se ubica entre los: paralelos 1245'05" y 1305'22" latitud sur; y entre los 7458'00" y 7514'15" longitud oeste del meridiano de Greenwich.

Figura 1.1: Ámbito espacial



Fuente: Elaboración propia.

- Departamento: Huancavelica.
- Provincia: Huancavelica.
- Datum: WGS 84
- Sistema de proyección cartográfica: Universal transversal de mercator (UTM).
- Zona UTM: 18S
- Cuadrícula: L

La cuenca tiene una superficie de 608.504 km², se caracteriza porque es considerada como una cabecera de cuenca porque nace en los glaciares de los andes, fluye por ríos de alta montaña (> 4000 msnm) y después, su salida es por la estación hidrológica ubicada en la parte urbana de la ciudad de Huancavelica (3675 msnm).

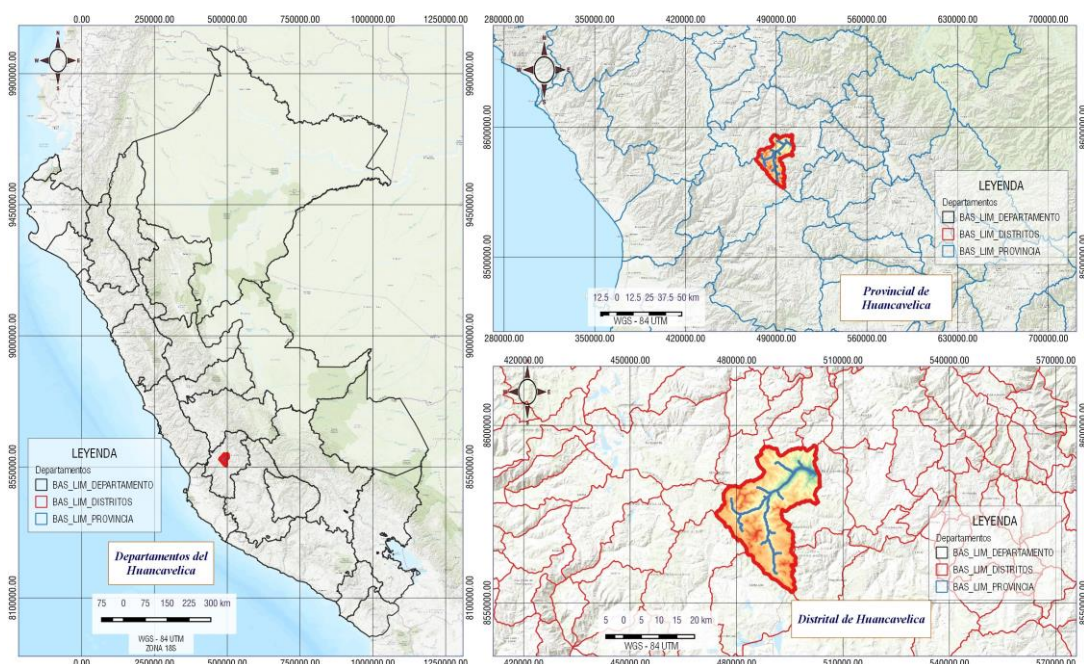


Figura 1.2: Ubicación y localización geográfica del ámbito de estudio

La estación meteorológica dentro del ámbito de estudio es administrada por SENAMHI, mientras que la estación hidrométrica disponible dentro del ámbito de estudio es administradas por la Universidad Nacional de Huancavelica, las coordenadas de su ubicación se muestran en la siguiente tabla 1.1.

Cuadro 1.1: Estaciones meteorológicas e hidrométrica en la cuenca del río Ichu.

Nombre	Latitud	Longitud	Elevación
Est. Meteorológica Huancavelica	-12.771408	-75.012962	3685
Est. Hidrológica Huancavelica	-12.78462	-74.97218	3678

Fuente: Elaboración propia

Delimitación y características morfométricas de la Cuenca

El análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es una de las aplicaciones hidrológicas típicas de los DEM y extraer los parámetros de un DEM es eficiente, preciso y económico. Por ello se determinó las características de la cuenca, previa delimitación, dividiendo la cuenca adyacente para la distribución correcta del escurrimiento originado por precipitación, curvas características, cálculo de índices de forma y demás parámetros.

Las curvas hipsométricas, expresan la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud. Para su construcción se tuvo en cuenta: los intervalos altitudinales y sus respectivas áreas siguiendo las curvas de nivel, determinación del área acumulada que quedan sobre cada altitud del contorno (ver tabla 1.2), y finalmente el ploteo de las altitudes versus las correspondientes áreas acumuladas que quedan sobre esas altitudes. Por otro lado, la curva de frecuencia, representación la distribución en porcentajes de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. Ambas gráficas se muestran la figura 1.3

Cuadro 1.2: Datos para curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

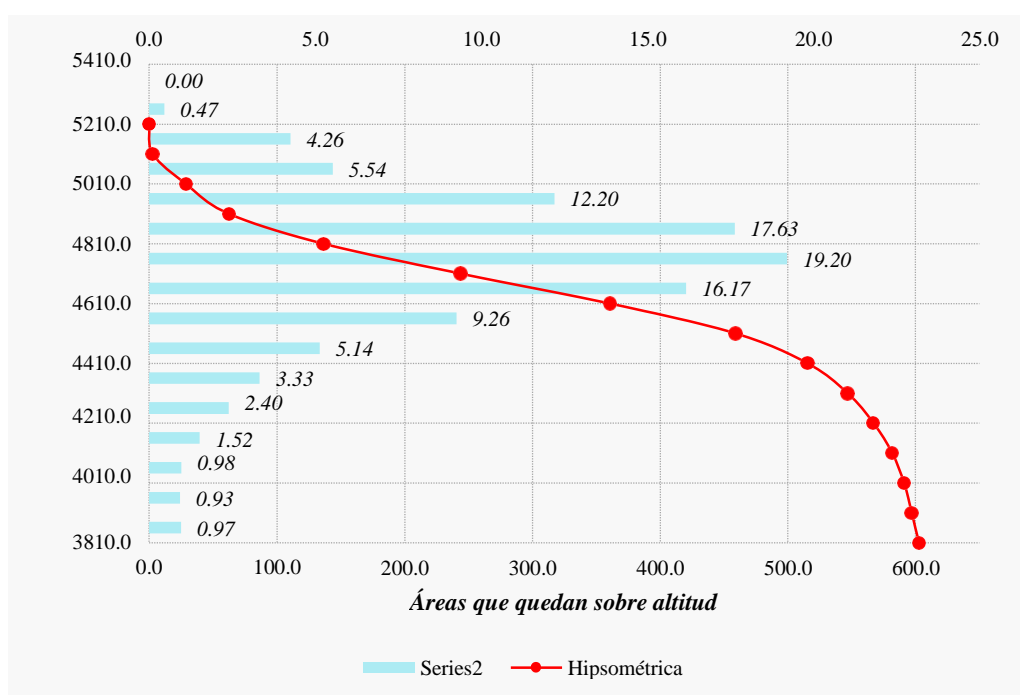
Altitud (msnm)	Áreas Parciales km^2	Áreas acumuladas km^2	Áreas que quedan km^2	% Total
3810.2	5.888	5.888	602.613	0.968
3910.2	5.683	11.571	596.930	0.934

(Siguiendo página)

Cuadro 1.2: Continuación de la tabla

Altitud (msnm)	Áreas Parciales <i>km²</i>	Áreas acumuladas <i>km²</i>	Áreas que queda <i>km²</i>	n% Total
4010.2	5.953	17.524	590.977	0.978
4110.2	9.278	26.801	581.700	1.525
4210.2	14.594	41.395	567.106	2.398
4310.2	20.236	61.631	546.869	3.326
4410.2	31.281	92.912	515.589	5.141
4510.2	56.322	149.234	459.267	9.256
4610.2	98.401	247.635	360.866	16.171
4710.2	116.850	364.485	244.016	19.203
4810.2	107.291	471.776	136.725	17.632
4910.2	74.264	546.040	62.460	12.204
5010.2	33.702	579.742	28.758	5.539
5110.2	25.922	605.664	2.837	4.260
5210.2	2.837	608.501	0.000	0.466
5310.2	0.000	608.501	0	0.000
Total	608.501			100.000

Figura 1.3: Curva Hipsométrica y histograma de frecuencias



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 1.3: Parámetros morfométricos de la cuenca del río Ichu

Parámetro	Valor	Und
Centroide este de la cuenca	489914.29	m
Centroide norte de la cuenca	8576381.13	m
Área de la cuenca	608.504	km ²
Perímetro de la cuenca	172.68	km
Rectángulo equivalente L	78.559	km
Rectángulo equivalente l	7.746	km
Elevación máxima	5247	msnm
Elevación mínima	3706	msnm
Diferencia de elevación	1541	m
Pendiente media	16.25	mm
Longitud del vector direccional	18.84	km

(Continúa en la siguiente página)

Cuadro 1.3: Continuación de la tabla

Parámetro	Valor	Und
Orientación prevalente	0.51	ad
Coefficiente compacidad graveluis	1.97	ad
Coefficiente de lemniscata	3.87	ad
Relación de circularidad	0.26	ad
Diámetro topológico	471	ad
Relación de alargamiento	0.51	ad
Factor de forma	11.11	ad
Tiempo de concentración (Giandotti,1934)	5.76	Hr
Longitud del canal principal	54.78	km
Pendiente media del canal principal	2.31	m/m
Longitud media de ladera	3749.99	m
Magnitud	973	ad
Pedido máximo (Strahler)	5	ad
Número de transmisiones	1220	ad
Longitud total de la corriente	529.77	km
Frecuencia de flujo de primer orden	1.6	ad
Densidad de drenaje	0.87	<i>km/km²</i>
Relación de bifurcación (Horton)	5.78	ad
Relación de longitud (Horton)	3.32	ad
Relación de área (Horton)	6.43	ad
Relación de pendiente (Horton)	1.36	ad

Fuente: Elaboración Propia

1.5.2 Temporal

El ámbito temporal del trabajo de investigación, corresponde al periodo de datos seleccionados para la investigación, la información adquirida fue desde el mes de enero del 2016 hasta el mes de diciembre del año 2021

1.5.3 Económica

La zona de investigación se rige económicamente principalmente de actividades hidro energéticas, agrícola y pecuaria.

- Actividad hidro energéticas: La actividad hidroelectricas es una de las más importantes de la región, se desarrolla en la parte baja de la sub cuenca del río Ichu, ya que cuenta con centrales y minicentrales hidroelectricas.
- Actividad agrícola: La actividad agrícola, también es de las importantes, generalmente esta se desarrolla en la parte baja de la sub cuenca del río Ichu, a nivel de pequeños valles diversificados, con sistemas riego.
- Actividad pecuaria: La ganadería es la actividad que se presenta en la parte media y alta de la cuenca, y constituyen fuente de ocupación e ingreso para el productor alto andino.

1.6 Limitaciones

La principal limitación que se presentó en el desarrollo de la investigación correspondió a la escasa información de precipitación que se tiene en la cuenca, ya que SENAMHI solo tiene una sola estación meteorológica instalada dentro de la cuenca. Por otro lado, se recurrió a fuentes secundarias referente a la cuenca del río Ichu en cuanto a sus características morfométricas, entre otros que se requirió para la investigación.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal diario en la cuenca del río Ichu.
- Establecer la influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal mensual en la cuenca del río Ichu.
- Determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en la determinación de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacional

Paz y Rios (2021), en su tesis titulada: “Estimación de la precipitación mediante empleo de imágenes”, desarrollado en la Universidad Católica de Córdoba - Argentina, con el objetivo de desarrollar el desarrollo de un algoritmo que permita el monitoreo de la variable hidrometeorológica lluvia con la finalidad de estudiar procesos hidrológicos a nivel de cuenca y preavisos ante eventos climáticos extremos y posteriormente la validación o verificación del mismo. El autor llegó a las siguientes conclusiones: se pudo validar productos satelitales de precipitación, donde se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los datos de campo. Luego, se elaboraron nuevas bases de datos de forma tabulada para establecer los gráficos de dispersión (Precipitación vs. Temperatura tope de nube) que permitieron elaborar las curvas de ajuste: una para 3 horas de precipitación acumulada y una para 30 minutos de precipitación acumulada.

Clavijo y Salazar (2019), en su tesis titulada: “Modelación Hidrológica mediante TETIS para el estudio de eventos extremos máximos en la cuenca del río Guayuriba”, desarrollado en la Universidad Santo Tomás- Colombia, con el

objetivo de analizar mediante modelación hidrológica los eventos extremos en la cuenca del río Guayuriba en el municipio de Villavicencio. El autor llegó a la siguiente conclusión: el resultado en la evaluación de la calibración del modelo y posterior validación arroja un nivel de ajuste aceptable ($NSE=0.5508$) para los años anteriores al periodo de calibración (1998-2002), y insuficiente para los 3 años siguientes ($NSE=0.1180$). Estos resultados se deben en parte a que la información disponible de los datos de registro de caudal de la estación contiene registros con algunos datos puntuales faltantes, afectando así la precisión en la simulación del modelo hidrológico distribuido.

Calle (2016), en su tesis titulada: “Análisis y evaluación de los datos de precipitación de los satélites TRMM y GPM en las 4 macroregiones climáticas de Bolivia”, desarrollado en la Universidad Mayor de San Andrés Bolivia, con el objetivo de formular propuestas de validación de los datos del TRMM y GPM a nivel regional para su uso adecuado en los proyectos concernientes al recurso hídrico. El autor llegó a la siguiente conclusión: los datos de precipitación de los satélites GPM y el TRMM están calibrados en base a los datos de las estaciones de superficie, y como Bolivia tiene una densidad baja de estaciones meteorológicas, y además la información de áreas no urbanas no siempre está completa o llega tarde, por lo cual, posiblemente los datos del GPM y TRMM no sean tan consistentes en áreas principalmente donde existe bastante variabilidad espacial de la precipitación. Por lo mencionado, las correlaciones entre los datos de las estaciones del SENAMHI y las estimadas por el TRMM y GPM, tenderán a ser muy altas en los llanos orientales y en las capitales de departamento por su registro casi en tiempo real, mientras que las correlaciones en los valles, yungas, altiplano y tierras bajas serán altas a moderadas más que todo por su régimen pluviométrico.

Caro (2015), en su tesis doctoral titulada: “Modelación hidrológica distribuida basada en esquemas de volúmenes finitos”, desarrollado en la Universidad Politécnica de Catalunya - España, con el objetivo de verificar la funcionalidad de los esquemas hidrodinámicos bidimensionales basados en el método de los volúmenes finitos para la simulación del proceso de transformación lluvia caudal a escala de cuenca. El autor llegó a la siguiente conclusión: la modelización hidrológica distribuida permite una adecuada caracterización de los procesos de flujo y de las condiciones hidrológicas que intervienen en cuencas rurales, dependiendo siempre de la calibración lograda en la simulación, del tipo de detalle conseguido en la malla topográfica empleada y la calidad de la información climatológica de entrada.

2.1.2. Nacional

Rodriguez (2021), en su tesis titulada: “Validación de los productos TRMM y CHIRPS para la intercuenca alto Apurímac”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú, con el objetivo de validar la información de precipitación total mensual estimada mediante el sensor remoto TRMM 3B43 y el producto CHIRPS V2, con los datos registrados en las estaciones pluviométricas de la Intercuenca Alto Apurímac. El autor llegó a la siguiente conclusión: para la zona de estudio, la correlación espacial de la información observada del SENAMHI, y la información de precipitación estimada del producto TRMM y CHIRPS corregido para un análisis a nivel punto-grilla presenta un mejor desempeño del modelo multiplicativo y correlación en comparación del análisis a nivel estacional-regional y a escala mensual-regional, siendo este último el que presenta una menor correlación y una menor eficiencia en el desempeño en el modelo de predicción.

Mamani (2021), en su tesis titulada: “Comparación de las precipitaciones medias mensuales, utilizando sistema de información de las imágenes satelitales espaciales, con las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ilave-Puno”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina

Perú, con el objetivo de analizar y comparar las precipitaciones medias mensuales de las imágenes satelitales TRMM 3b43v7 y las estaciones meteorológicas observadas por el SENAMHI para la cuenca del río ILAVE - PUNO. El autor llegó a la siguiente conclusión: la comparación de datos de precipitaciones mensuales obtenidas a través de las imágenes satelitales TRMM3B43v7 y las precipitaciones mensuales observadas por el SENAMHI (enero 2011 - diciembre 2018) para la cuenca del río Ilave - Puno. El producto TRMM3B43v7, presenta una buena bondad de ajuste y estimación adecuada de precipitaciones, con resultados del coeficiente de determinación (r^2) es considerado como “satisfactorio” por estar dentro del rango (0.6968 - 0.8606), por ende, indica un comportamiento similar estadísticamente que podemos apreciar en la tabla 9, sobre todo en la estación de Vilacota que nos da como resultado un R^2 de 0.86 que es considerado como bueno?, las estimaciones de precipitación obtenidas de imágenes satelitales son un gran aporte significativo para representar

correctamente la precipitación, comparado con los datos observadas por el SENAMHI.

Delgado (2019), en su tesis titulada: “Validación y corrección de la precipitación estimada por satélite del producto CHIRPS, usando el modelo de redes neuronales artificiales en la cuenca del río Vilcanota-Cuzco”, desarrollado en la Universidad Andina del Cusco - Perú, con el objetivo de evaluar la calidad de la precipitación estimada por satélite del producto CHIRPS con respecto a la precipitación observada por los pluviómetros, evaluada mediante Estadísticos de Validación Categórica (POD, FAR, TS), Estadísticos de Comparación por Pares (MAE, PBIAS, NSE, CORRELACION PEARSON) y en comparación con los productos CHIRPM y PISCO, antes y después de la corrección mediante el “Modelo de Redes Neuronales Artificiales”, en la Cuenca del río Vilcanota. El autor llegó a la siguiente conclusión: las estaciones de Chontachaca y Machupicchu muestran una subestimación de la precipitación con PBIAS menores a -25 estando dentro de los criterios de evaluación como insatisfactoria, por otro lado las estaciones de Urubamba, Paucartambo y Ollachea muestran sobreestimación de la precipitación con PBIAS mayores a 25, las estaciones Quebrada, Quillabamba, Colquepata, Kayra, Caycay, Ccatcca y Chuquibambilla con PBIAS entre - 10 a 10, son considerados como sesgo muy bueno, el resto de las estaciones está dentro del rango de subestimación y sobreestimación de la precipitación diaria.

Carmona (2019), en su tesis titulada: “Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada pisco para las cuencas del río Biabo”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina - Perú. El autor llegó a la siguiente conclusión: se analizaron los datos de precipitación de las cuatro estaciones pluviométricas dentro de la cuenca y se cotejó con los datos grillados más cercanos a las estaciones, respecto a sus coordenadas geográficas. El resultado de esta comparación para diferentes períodos de datos nos indica un buen ajuste según el coeficiente de determinación R^2 , entre los datos del estudio PISCO v2.1 y los datos de las estaciones pluviométricas. Para la calibración de los caudales generados mediante el método GR2m, se observó que los parámetros de

intercambio del modelo varían muy poco para diferentes periodos de tiempo, encontrándose que el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe, estaría en el rango de bueno y muy bueno.

Villavicencio (2019), en su tesis titulada: “Datos de precipitación y temperatura en zonas de escasa información de la región Ancash período 201-2017,2019”, desarrollado en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Perú, con el objetivo de generar datos para zonas con escasa información de precipitación y temperatura, mediante la validación de los modelos para los datos del satélite GPM y MERRA-2 con los datos del CIAD, en la región Ancash en el período 2012 -2017. El autor llegó a la siguiente conclusión: los datos de temperatura y precipitación de los satelitales MERRA-2, GPM y TRMMM tienen un comportamiento similar a los datos in situ, demostrando que los datos satelitales son una valiosa herramienta que puede ser usada en diferentes proyectos, presentando una variación promedio entre los datos satelitales y los datos in situ en la temperatura de 1.1 a 1.5 C y en precipitación de 88 a 93 mm. El comportamiento de las precipitaciones en la región es bien marcado y esto es mostrado por los datos satelitales y los datos registrados in situ donde se puede diferenciar claramente las épocas de estiaje y avenida en las zonas altas, siendo los meses correspondientes a la época de avenida los meses de octubre a marzo y la época de estiaje entre los meses de abril a setiembre.

Rivadeneira (2019), en su tesis titulada: “Corrección de estimaciones de precipitación por satélite GPM-IMERG usando técnica de mezcla sobre las Cuencas Chillón, Rímac y Lurín”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina - Perú. El autor llegó a la siguiente conclusión: se determinó incluir estaciones automáticas en la validación de las estimaciones satelitales. IMERG-Late resultó ser el mejor producto de estimaciones de precipitación satelital y con respecto a las intensidades de precipitación analizadas, quedó demostrado que se debe utilizar IMERG-Late para estimaciones diarias.

Zubieta (2017), en su tesis titulada: “Estimación de concentración de lluvia diaria y eventos hidrológicos extremos en cuencas andino-amazónicas

empleando precipitación basada en satélites”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina - Perú, con el objetivo evaluar la utilidad de las estimaciones de lluvia por sensoramiento remoto para la estimación de eventos hidrológicos extremos y concentraciones de lluvia diaria en cuencas andino-amazónicas. El autor llegó a la siguiente conclusión: se demuestra que TMPA V7 sobreestima la precipitación observada (HOP) principalmente en regiones de alta montaña como los Andes. Por otro lado, los resultados de la modelización hidrológica a partir del modelo MGB-IPH indican la utilidad de estos datos TMPA RT para estimar los caudales observados en regiones andino-amazónicas (cuenca del río Ucayali, en el sur de la cuenca amazónica de Perú). Esto demuestra la capacidad de TMPA RT para representar adecuadamente los eventos hidrológicos extremos en la cuenca del río Ucayali durante la temporada de avenidas. Sin embargo, no muestra capacidad de modelar adecuadamente caudales durante el período de estiaje.

Asurza (2017), en su tesis titulada: “Comparación de los productos TRMM [Tropical Rainfall Measuring Mission] y GPM [Global Precipitation Measurement] para el modelamiento hidrológico en la cuenca del río Huancané”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina - Perú. El autor llegó a la siguiente conclusión: el producto IMERG sin corregir aplicado al modelamiento hidrológico, presenta un bajo desempeño tanto para el Escenario I y peor aún para el Escenario II. Sin embargo, el método de corrección del sesgo por el promedio mejora al IMERG de tal manera que es un producto útil para la estimación de caudales, mostrando un desempeño superior a su antecesor (3B42V7), y se convierte en la mejor opción a ser tomado en cuenta en ausencia de precipitación observada.

2.1.3 Local

Oré (2019), en su tesis titulada: “Predicción de caudales mediante redes neuronales artificiales empleando información de sensores remotos en la cuenca experimental del río Ichu”, desarrollado en la Universidad Nacional de Huancavelica - Perú, con el objetivo de determinar los resultados de la

predicción de caudales mediante un modelo red neuronal artificial empleando información de sensores remotos en la cuenca experimental del río Ichu. El autor llegó a la siguiente conclusión: se puede predecir caudales a escala diaria empleando la información de precipitación remota actual, tanto la global (CHIRPS v2 y GPM-IMERG v7) como la regional (PISCO v2) utilizadas como entrada externa a un modelo de red neuronal artificial tipo NARX, arrojan resultados predictivos en un intervalo de tiempo de 1 a 2 días de antelación con un grado de precisión alto, posterior a este intervalo de tiempo la precisión va descendiendo, esto se debe a que las variable precipitación y caudal a escala diaria son altamente no lineal y muy aleatorias.

Huamán (2018), en su tesis titulada: “Respuesta Hidrológica distribuida mediante precipitación por satélite TRMM en la cuenca río Mantaro”, desarrollado en la Universidad Nacional de Huancavelica - Perú, con el objetivo de determinar el desempeño del modelo hidrológico distribuido en la respuesta hidrológica mediante precipitación obtenida por satélite TRMM en la cuenca del río Mantaro. El autor llegó a la siguiente conclusión: durante la etapa de calibración, la incidencia de los factores de almacenamiento estático, evaporación, infiltración, escorrentía, percolación, interflujo, flujo subterráneo profundo, flujo base, y velocidad de flujo en la respuesta hidrológica distribuida en la cuenca del Mantaro han influido significativamente, presentando índices de coeficiente de Nash de 0.20 a 0.7825 respectivamente.

2.2. Marco conceptual

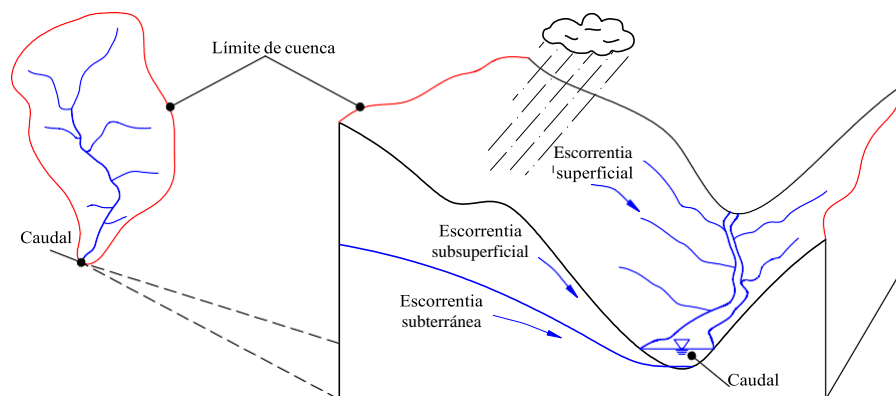
2.2.1. Cuenca hidrográfica

Las grandes cuencas hidrográficas son compuestas por muchas cuencas más pequeñas (ver fig.2.1), una cuenca está delimitada por los puntos de mayor elevación altitudinal que constituyen fronteras entre cuencas y subcuencas desde la cual la lluvia que cae en estos puntos contribuirá con agua a la salida (Mc- cuen, 2004).

2.2.1.1. Características morfométricas de la cuenca

El análisis morfométrico de una cuenca hidrográfica se realiza a partir de un DEM (modelo digital de elevaciones), así extraer sus parámetros. Actualmente existe alternativas rápidas y eficientes de obtener un DEM, consiste en utilizar la

Figura 2.1: Cuencas hidrográficas



Fuente: Adaptado de (Oré, 2019)

información proveniente de sensores remotos, las cuales se descargan de manera gratuita y que son consideradas adecuadas para las escalas de trabajo como los productos del SRTM, ASTER, PALSAR.

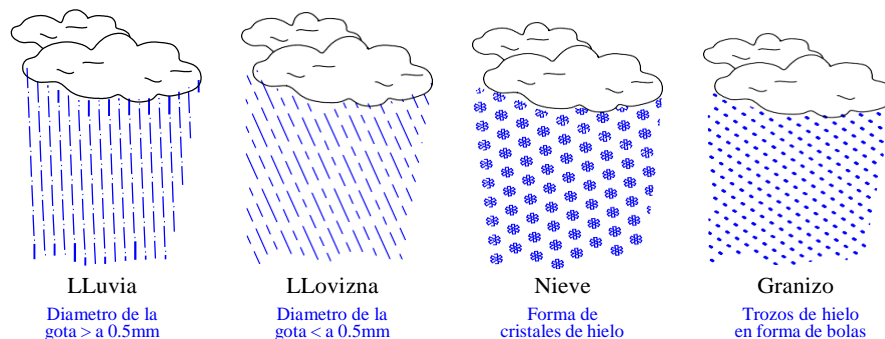
- Area de la cuenca: Es la proyección en el plano horizontal de toda el área de drenaje delimitada por la línea divisoria (parteaguas), caracterizándose así el tamaño de la cuenca.
- Perímetro de la cuenca: Longitud del contorno de la cuenca, definida como la línea divisoria de aguas y proyectada en un plano horizontal.
- La longitud de cauce principal: Es la longitud del curso de agua más largo desde la cabecera de la cuenca hasta la desembocadura, para efectos prácticos se mide como su proyección en el plano horizontal.
- Centro de gravedad de la cuenca: Las coordenadas de la proyección de la cuenca en el plano horizontal.

- Factor de forma: Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del cauce principal.
- Densidad de drenaje: Definida como la longitud media de la red hidrográfica por unidad de área. A mayor Densidad de drenaje, mayor será el volumen de escurrimiento.
- Pendiente de la cuenca: Es un parámetro relativo al relieve, factor importante para determinar el tiempo de concentración y de respuesta.
- Orden de corriente: Es el grado de ramificación que tiene una cuenca, pueden tener corrientes de orden 1, de orden 2, de orden 3, etc. y cuando se unen dos corrientes de orden iguales forman una superior y dos corrientes de ordenes desiguales mantienen la orden superior.
- Curva Hipsométrica: Es una curva que representa el porcentaje de rea que existe en la cuenca por encima de un valor de cota determinado.

2.2.2. Precipitación

Se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie de la tierra. De acuerdo con esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas (ver fig.) son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación (Chereque, 1985).

Figura 2.2: Formas de precipitación



Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad, los científicos pueden medir la precipitación directamente, utilizando instrumentos terrestres como pluviómetros y pluviógrafos, o indirectamente, utilizando técnicas de sensoramiento remoto como radares y satélites de observación de la Tierra (Group, 2022).

Se requiere conocer la precipitación de la zona para establecer las características hidrológicas de la cuenca y así determinar la tormenta de diseño que ayude a estimar la máxima avenida en el punto de interés.

1. **Precipitación Diaria (Pd):** Es la lámina total acumulada en un día de observación (24 horas) (Oré, 2019).
2. **Precipitación Mensual (Pm):** Es la lámina total acumulada en un mes (Oré, 2019).

$$Pm = \sum_{d=1}^{dm} Pd \quad (2.2.1)$$

Donde:

Pm: precipitación mensual,

Pd: precipitación diaria,

dm: días de mes.

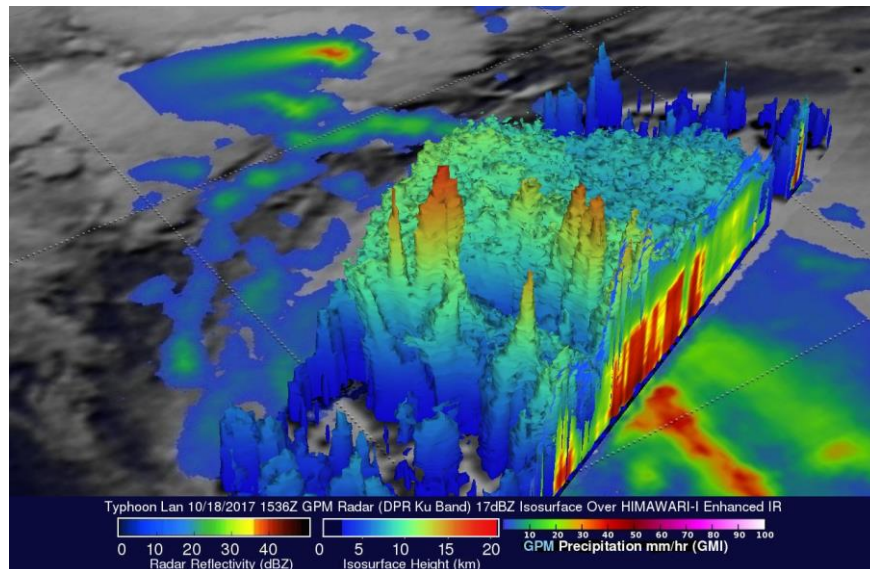
2.2.2.1. Precipitación remota del producto PISCOP

El uso de lluvia estimada por sensoramiento remoto serán muy útiles en un futuro cercano en algunas aplicaciones como hidrología operacional, meteorología y agricultura. Al evaluar su rendimiento como variable de entrada a un modelado hidrológico distribuido, permitirán el pronósticos de caudales en cuencas no aforadas (Carmona, 2019).

Villavicencio (2019) menciona que los diferentes sensores remoto se de recipitación (fig.2.3) son los pertenecientes a los satélites y proyectos Modern- Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA-2), Glo- bal Precipitation Measurement (GPM), Tropical Rainfall Measuring

Mission (TRMM), Global Land Data Assimilation System (GLDAS), Land Data Assimilation System (FLDAS), National Climate Assessment - Land Data Assimilation System (NCA-LDAS) y North American Land Data Assimilation System (NLDAS) entre otros.

Figura 2.3: Productos de precipitación remota

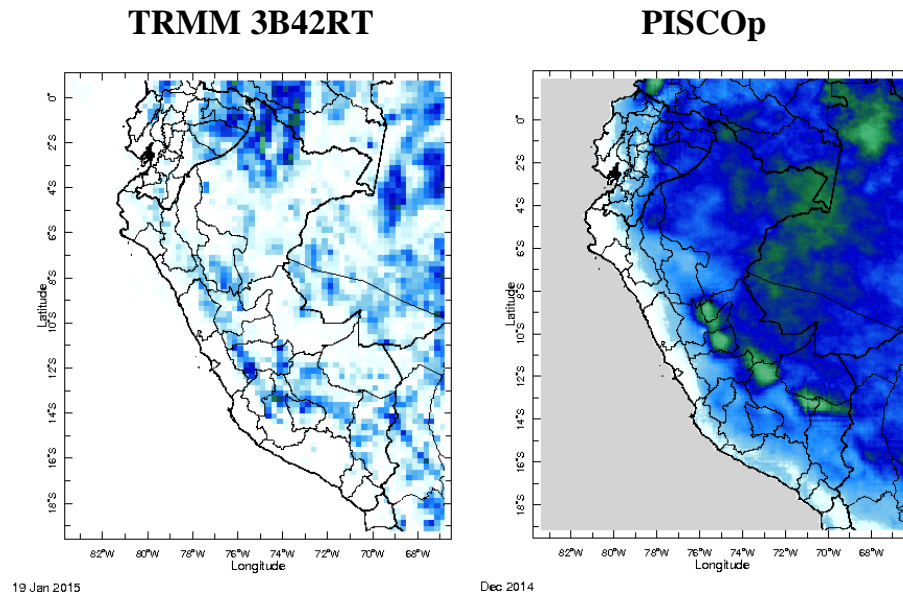


Fuente: Elaboración propia

Lavado (2015) afirma que PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations), siglas en inglés para su difusión internacional es el producto resultado de la combinación entre los datos de precipitación estimados por el satélite del producto CHIRPS Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations y los datos de precipitación observada de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI

PISCO de precipitación en su versión diaria y mensual es el resultado de la combinación de datos de estaciones terrenas con climatologías, reanálisis y productos satelitales de estimación de lluvias para obtener una base de datos grillada a nivel nacional(ver fig.2.4) de alta resolución espacial (5*5 km); los datos grillados abarcan una serie temporal que se inicia el 1ro de enero 1981 hasta el 31 de julio 2018, facilitando de este modo mayor disponibilidad de los datos de precipitación para su uso en diferentes actividades ligadas al análisis hidrológico con sus limitaciones respectivas (Aybar et al., 2017).

Figura 2.4: PISCOp a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos son herramientas muy importantes en la que se puede representar de forma simplificada un sistema real de cuencas hidrográficas para la generación de caudales a partir de bases físicas. El objetivo del análisis de un sistema hidrológico es estudiar la operación del sistema y predecir su salida (Chow et al., 1994, p.9).

En una modelización hidrológica, es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs), así verificar si el modelo es representativo del prototipo (Ramos, 2012). Por otro lado, es importante mencionar que algunos componentes del ciclo hidrológico no han tenido la misma evolución, por ejemplo, la infiltración, la percolación profunda, el flujo subsuperficial, el flujo subterráneo, entre otros, son procesos que se miden usualmente de manera indirecta y/o remota, lo que conlleva a convertirlas en una gran fuente de incertidumbre respecto al funcionamiento del ciclo hidrológico y los resultados. Por tal motivo es importante las asunciones basadas en el criterio del modelador y las consideraciones de simplificaciones de las variables involucradas (Cruz y Romero, 2018).

2.2.4. Clasificación

Los modelos hidrológicos se dividen en dos categorías: modelos físicos y modelos abstractos (Chow et al., 1994).

2.2.4.1. Modelos físicos.

Estos modelos usan una representación material del sistema, a la vez se dividen en:

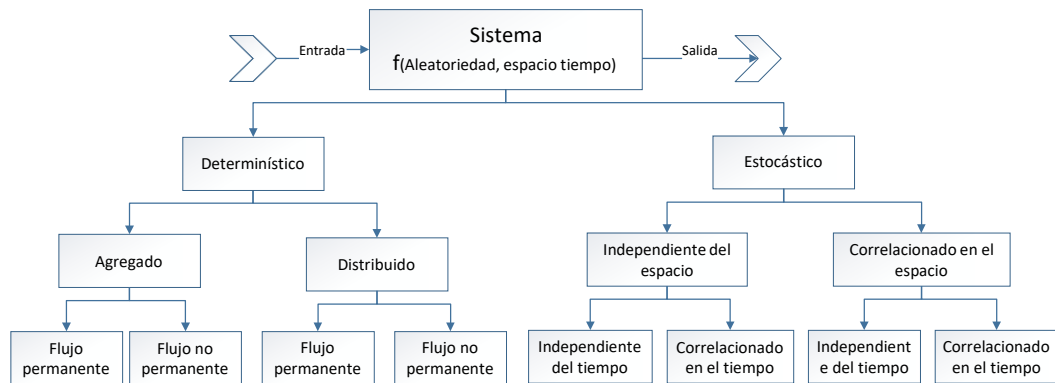
1. **Modelos a escala.**- Representan el sistema hidrológico en una escala reducida, los ejemplos de modelos de cuencas materiales son simuladores de lluvia y cuencas experimentales a escala (Cruz y Romero, 2018, p.11).
2. **Modelos análogos.** - Es la representación material de un objeto o un proceso, para entender mejor el funcionamiento origen y formación de un modelo.

2.2.4.2. Modelos abstractos

Este modelo son los mas conceptualizados y tratados en hidrología, representan el sistema en forma matemática, por lo general se los conoce como modelos matemáticos. Están formados por un conjunto de ecuaciones que describen y representan el sistema real, describiendo las variables de entrada y salida. Donde estas variables son funciones del espacio - tiempo y también pueden ser variables probabilísticas o aleatorias (ver fig. 2.5). Desarrollar un modelo con variables aleatorias que dependen de las tres dimensiones espaciales y del tiempo es una tarea muy compleja (Chow et al., 1994).

Dentro de esta clasificación encontramos varios grupos importantes, por ejemplo, los modelos estocásticos y los determinísticos agregados y distribuidos, de acuerdo con las fuentes de variación consideradas por el autor, que son: la aleatoriedad de los fenómenos, la variación espacial y la variación temporal.

Figura 2.5: Clasificación de modelos hidrológicos



Fuente: Adaptado de (Chow et al., 1994)

Un modelo agregado es utilizado para referirse a un modelo en el cual los parámetros no varían espacialmente dentro de la cuenca. De allí que la respuesta de la cuenca es evaluada solo a la salida, sin tener en cuenta explícitamente la respuesta de las subcuenas individuales. Un ejemplo típico de un modelo agregado es el hidrograma unitario (Ponce, 1989).

Un modelo distribuido hace referencia a un modelo en el cual se permite que los parámetros varíen espacialmente dentro de la cuenca. Esto permite el cálculo no sólo de la respuesta de toda la cuenca sino también la respuesta de las subcuenas individuales. El mayor detalle con el que pueden hacerse las simulaciones en un modelo distribuido rinde mejor computacionalmente que un modelo global o agregado. Esto permite el modelado de características especiales tales como abstracciones de lluvia e hidrológicas que varían espacialmente. Sin embargo, para que los resultados del modelado distribuido sean significativos, la calidad y la cantidad de datos disponibles deben ser proporcionadas con gran nivel de detalle. Los conceptos del modelado agregado y del distribuido, aunque opuestos en significado, no son necesariamente exclusivos. Los modelos de cuenca agregados pueden ser utilizados como componentes de modelos distribuidos. En una aplicación típica, un modelo agregado (esto es: el hidrograma unitario) es utilizado para generación de hidrogramas de sub cuencas individuales. Consecuentemente, estos hidrogramas son combinados y guiados a través de una red de canales de

corriente y reservorios. Ya que los parámetros varían de subcuenca a subcuenca y los hidrogramas pueden ser evaluados en cualquier localización deseada dentro de la red de canal, el modelo de la red retiene esencialmente una estructura distribuida (Ponce, 1989).

2.2.5. Modelo hidrológico distribuido TETIS

Para la estimación y la predicción de crecidas, los procesos físicos involucrados más importantes son la lluvia y la escorrentía superficial, lo que ha generalizado en la literatura el término lluvia - escorrentía. Por otra parte, en la evaluación de los recursos hídricos, los fenómenos de evapotranspiración y de flujo subterráneo son los más importantes. Y todos estos procesos pueden reproducirse con TETIS (Escamilla et al., 2017).

El modelo TETIS ha sido desarrollado para realizar la simulación hidrológica en cuenca naturales, aunque dispone de submódulos para la simulación del efecto de embalses y del riego agrícola. El objetivo es obtener de la mejor forma posible la respuesta hidrológica ocasionada por la precipitación de lluvia o de nieve, teniendo en cuenta los diferentes procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida de tipo conceptual.

El modelo TETIS, es distribuido, divide en celdas, el mismo que va a representar variabilidad.

El modelo trata de identificar todos los parámetros y procesos físicos del ciclo hidrológico, comprendiendo tres etapas hidrológicas. Todo el proceso físico se realiza o repite en cada celda y luego ensambla celda por celda para finalmente generar escorrentía en los puntos de interés.

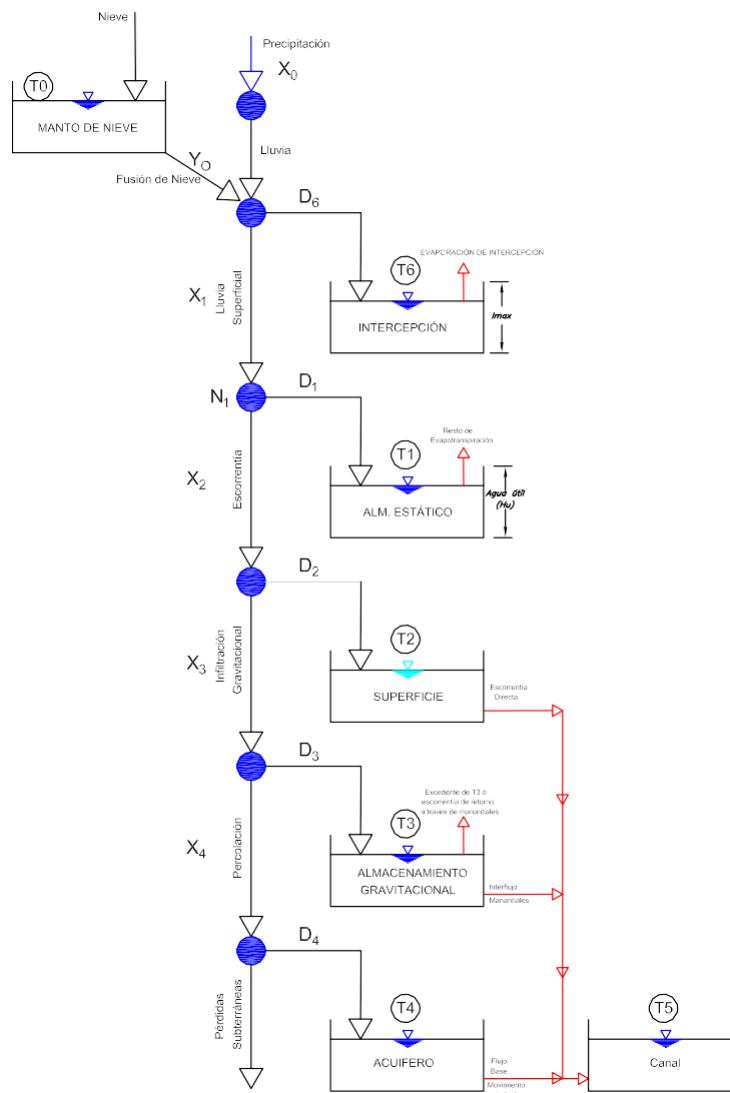
1. **Agua atmosférica:** Comprende las precipitaciones, evaporación, interceptación y transpiración.
2. **Agua superficial:** Comprende el flujo superficial, escorrentía superficial, escorrentía hacia ríos y océanos.
3. **Agua subsuperficial:** Comprende la infiltración, flujo subsuperficial, recarga de agua subterránea, flujo de agua subterránea.

2.2.5.1. Producción de escorrentía mediante TETIS

El modelo hidrológico distribuido TETIS ha sido desarrollado por el Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV-Espanña). Actualmente está en su versión 8.3 y corre en el sistema operativo Windows. Mediante este modelo, es posible modelar cuencas hasta 98 500 km², con diversas resoluciones espaciales y una amplia diversidad de climas (Huamán, 2018).

El modelo TETIS, presenta un esquema conceptual como se aprecia en la fig.2.6, debido a que está basado en un concepto de balance hídrico en forma de tanques, realizándose a nivel de celdas relacionados entre sí, asumiendo que el agua se distribuye en seis niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí.

Figura 2.6: Esquema conceptual de tanques a nivel de celdas del modelo TETIS

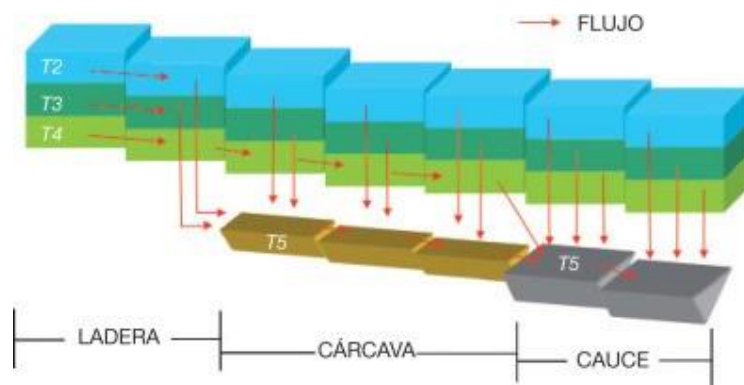


Fuente: manual TETIS V. 9.0.1.

La conceptualización del modelo TETIS es una malla interconectada en tres dimensiones (ver fig.2.7). Los tres tanques inferiores drenan hacia el correspondiente aguas abajo, tal como establecen las direcciones flujo propuestas por el modelo de elevación digital (DEM), hasta alcanzar la red de drenaje compuesta por cárcavas y cauces. La longitud de interconexión máxima en cada tanque es definida por el usuario, considerando que tanto para la escorrentía como para el flujo subsuperficial, se asocia al tamaño de las laderas.

Para el flujo base, dicha longitud se estima considerando el punto inicial del flujo permanente en el cauce (Escamilla et al., 2017).

Figura 2.7: Esquema horizontal propuesto de TETIS



Fuente: manual TETIS V. 9.0.1.

En las laderas el flujo superficial tiene lugar en combinación entre flujo laminar y a través de una red de surcos. En TETIS ambos procesos hidrológicos se tratan de manera conjunta, agrupándolos ambos como flujo laminar. En paralelo, el interflujo y el flujo base se generan en las respectivas capas de suelo. Una vez el interflujo, en su recorrido, alcanza una celda con área drenado superior al área umbral para el interflujo, sale a la superficie, integrándose a la escorrentía superficial que fluye en las cárcavas. Lo mismo ocurre cuando el flujo base alcanza una celda cuya área drenada es superior al umbral para el flujo base; a partir de este punto, las tres salidas de agua se concentrarán en un cauce.

2.2.5.2. Estimación previa de parámetros

Para correr un modelo TETIS, se requiere de un modelo de elevación digital. A partir del cual se generan:

1. Mapa de dirección de drenajes,
2. Área de drenaje acumulada en cada celda,
3. Mapa de pendientes,

Los modelos conceptuales, en este caso TETIS, tiene una gran capacidad de compensación de los errores en los datos de entrada y son difíciles de calibrar porque han sido creados para unas condiciones muy específicas. Los elementos que puedan ser calibrados manual o automático en TETIS son:

1. Los factores correctores de los procesos de producción y propagación de escorrentía.
2. Los valores iniciales de las variables de estado de almacenamiento.
3. Los coeficientes de correlación con la altura para la interpolación espacial. Los parámetros agregados del submodelo de nieve.

La calibración corresponde todo el proceso hasta la fecha donde se ha culminado esa calibración. Sin embargo, para usar en predicciones, se necesita validar el modelo, es decir, seguir utilizando el modelo desde ese punto hacia adelante. Demostrar que se están simulando apropiadamente los procesos físicos dominantes, siendo capaz de realizar predicciones que satisfagan los criterios de precisión previamente establecidos. Un principio fundamental en el proceso de validación, es que el modelo debe ser validado para el mismo tipo de aplicaciones para el cual fue desarrollado, tener las siguientes consideraciones: validación temporal, espacial y espacio-temporal.

Coefficientes de Nash-Sutcliffe. Un perfecto ajuste sugiere un valor igual a uno, cuando el valor es menor igual a cero, indica que el modelo no es tan bueno. Existen muchos autores que comentan sobre estos rangos, obteniendo la aceptación una calibración con un índice de Nash-Sutcliffe superior a 0.5 y se considera como excelente un valor superior a 0.8.

2.2.5.3. Caudal

Es el volumen de agua, gasto o descarga que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinado (volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica)

Es importante tener un registro histórico de caudales, por ello la implementación de estaciones hidrométricas permite una adecuada caracterización de

régimen de los ríos. Por ello, el SENAMHI y otras instituciones vienen tomando las acciones correspondientes, dotando de estaciones hidrométricas distribuidas espacialmente en todo el Perú.

1. **Caudal diario (Qd):** Es el volumen calculado a partir de la crónica de los caudales instantáneos. En otras palabras, el volumen de escurrimiento (m³) en una jornada completa (24 horas o 86 400 s)(Chereque, 1985).
2. **Caudal mensual (Qm):** Es el volúmen de escurrimiento acumulada en un mes (Chereque, 1985).

$$Q_m = \sum_{d=1}^{dm} Q_d \quad (2.2.2)$$

Donde:

Qm: caudal mensual,

Qd: caudal diario,

dm: días de mes.

3. **Caudal máximo (Qmax):** Es el volúmen de escurrimiento máximo registrado en un periodo determinado, ya sea mensual o anual (Chereque, 1985).

$$Q_{m\acute{a}x} = \max_{i=1}^n (Q) \quad (2.2.3)$$

Donde:

Qmax: caudal máximo,

n: enésimo día.

2.3. Definición de términos

- a) Caudal base: “Es el flujo con pocas variaciones en los períodos sin lluvia”(Chow et al., 1994, p.135).
- b) Caudal pico: “Es el caudal máximo que se produce por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un hidrograma para

fines de diseño”(Méndez, 2014, p.11).

- c) Crecidas máximas: “Se entiende por evento hidrológico que se produce de forma inmediata como respuesta a un período de tiempo con precipitaciones importantes, conociéndose popularmente como avenidas o crecidas”(Cachúan, 2017, p.35).
- d) Sección de control: ¿Representa un reborde natural o artificial que se establece en el cauce a fin de regular la curva nivel? mira.
- e) Hidrograma: Es un grafico que muestra típicamente la variación del caudal en el tiempo.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- La información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido en cuenca del río Ichu.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal diario en la cuenca del río Ichu.
- La información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal mensual en la cuenca del río Ichu.
- La información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

2.5.1.1. Variable dependiente

El modelado hidrológico distribuido es el uso de mapas de parámetros derivados de datos geospaciales para simular procesos hidrológicos, los cuáles se basan en la representación de características de la superficie terrestre y propiedades del subsuelo que afectan a los componentes del balance hídrico (Vieux, 2008).

2.5.2. Variable independiente

Producto PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations) de precipitación, es el resultado de la combinación de datos de estaciones terrenas con climatologías, reanálisis y productos satelitales de estimación de lluvias para obtener una base de datos grillada a nivel nacional de alta resolución espacial (5*5 km) (Aybar et al., 2017).

2.5.3. Definición operacional de la variable

2.5.3.1. Variable dependiente

El modelado hidrológico distribuido se aplicará dentro del marco de los sistemas de información geográfica, así generar mapas con cierta resolución espacial que contienen información grillada de la superficie terrestre que participaran en el proceso hidrológico.

2.5.4. Variable independiente

El producto PISCO de precipitación viene a ser una valiosa fuente de información grillada a nivel nacional, el cuál es propicio ante la baja densidad de estaciones meteorológicas en ámbitos de Perú. Contiene datos de precipitación diaria y mensual.

2.5.5. Operacionalización de variables

Cuadro 2.1: Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento
Variable independiente: Producto PISCO precipitación	Precipitación diaria	Altura de precipitación (mm)	Observación directa (Sensores remotos) (Anexo A4)
Variable dependiente: Modelamiento hidrológico distribuido	Caudal diario, mensual, máximo	Volúmen de flujo por unidad de tiempo (m ³ /s)	Observación directa (Estación hidrométrica) (Anexo A5)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

Se utilizó el método científico, ya que emplea procedimientos desde la observación hasta obtener las conclusiones (Tamayo, 2003). Se emplea este método ya que los resultados obtenidos de la investigación presentarán valor científico, el mismo que podrá ser utilizado como base para futuras investigaciones.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, según Tamayo (2003) menciona que: “es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías” (p.43). En ese sentido, la presente investigación busca determinar la influencia del producto PISCO de precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu-Huancavelica, dando solución práctica a la baja densidad de estaciones hidrometeorológicas que generan déficit de información (precipitación, caudales).

3.3. Nivel de investigación

El nivel es explicativo, según Gonzales et al. (2011), mencionaron que el nivel explicativo: “se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto”(p.142). De esta manera, se brinda un sentido de entendimiento a las causas (ingreso del producto PISCO de pre- cipitación en un modelamiento hidrológico distribuido) y los efectos (resultado de caudales).

3.4. Diseño de investigación

La presente investigación corresponde a un diseño experimental, pues la variable PISCO precipitación será simulada con la aplicación del software TETIS, el cual realiza el modelamiento hidrológico distribuido.

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1 población

Se considera como población a los 943 datos de caudales diarios (m³/s) registrados en el punto de aforo de la cuenca de estudio.

3.5.2 Muestra

La muestra es de tipo censal, donde se considera la totalidad de la población equivalente a 943 datos de caudales diarios (m³/s) registrados en el punto de aforo de la cuenca de estudio.

3.5.3 Muestreo

El muestreo es no probabilístico de carácter intencional, cuyo propósito es generalizar utilizando toda la formación disponible.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

- **Revisión bibliográfica:** Consiste en la búsqueda y registro sistemático, válido y confiable de datos e información recopilada de fuentes científicas verídicas. (Hernandez, 2010, p.20). Mediante esta técnica logramos captar información meteorológica (correspondiente a los datos de PISCO precipitación proporcionado por el SENAMHI y son de acceso libre) e información hidrométrica (correspondiente a niveles de flujo “caudales” proporcionado por la Universidad Nacional de Huancavelica) en la cuenca en estudio.

Nivel de precipitación remota (mm)

Nivel de flujo en la sección de aforo (m³/s)

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Según Carrasco (2005) la revisión bibliográfica permite sintetizar y analizar la información relevante, permitiendo contextualizar la investigación con antecedentes de origen científico y verídicos. (p.313). Cabe mencionar que los softwares adecuados para el manejo de esta investigación fueron: software de procesamiento de productos de sensores remotos (QGIS, SAGAGIS) y software de procesamiento de caudales (R, PYTHON).

- **Softwares:**

Para los datos provenientes de sensores remotos, Qgis y SagaGis, se presentan en formato “.nc”,

Para los datos provenientes de la estación hidrométrica, R, Python, en formato “.csv”.

3.7. Procesamiento de la información

Para lograr el objetivo de la presente investigación, el procesamiento de la información se dividió en una secuencia de 6 etapas, que consiste en:

Primera etapa: Correspondiente a la adquisición de las precipitaciones del producto PISCO. La adquisición es a través de las rutinas R, automatizada desde la dirección electrónica.

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/>.

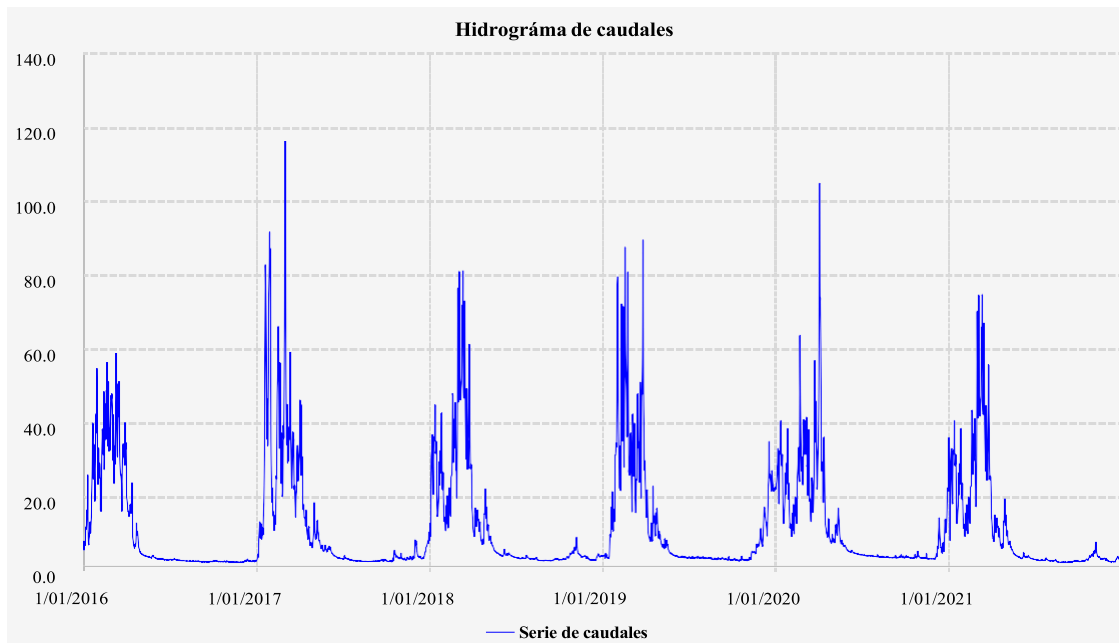
Los mapas se descargan en formatos .nc, los mismos que contienen información de precipitaciones y ubicación en longitud y latitud

```
1 # AUTOR : Bach. Quintana Villa, Dante Yaseff
2 # FECHA : 2022.01.03
3 # PURPOSE : Descarga precipitación PISCO
4 ##### Importar librerías
5 # library(devtools)
6 # install_github("GeomarPerales/RPisco")
7 # Definimos ruta precipitaciones diaria.nc
8 library(RPisco)
9 PISCO.file <- "D:/PISCO/PISCOpd.nc"
10 x <- data.frame(PISCO.file, -74.5, -75.1)
11 data <- piscom(x)
12 head(data)
```

Los archivos que se adquieren son convertidos a formatos .tif para su manipulación como series de tiempo a través de paquete RPisco, de autoría.

Segunda etapa: Corresponde al análisis exploratorio de los caudales en la estación hidrométrica huancavelica, controlada por la Universidad Nacional de Huancavelica. Los datos corresponden a caudales diarios desde el año 2016 hasta la actualidad. Estos valores son muy importantes para la etapa de calibración y validación del modelamiento hidrológico.

Figura 3.1: Caudales observados



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Tercera etapa: Algebra de raster, para la generación de mapas que requiere el modelo distribuido TETIS, el cual requiere de 12 mapas tipo raster, los que se obtienen a partir del DEM y de algebra de raster.

```
1 # AUTOR: Bach. Quintana Villa, Dante Yaseff
2 # FECHA: 2022.01.03
3 # INPUT: Archivo dem(demIchu.asc) para interpolación.
4 # OUTPUT: Mapa de Almac. Estático (TetisIchu.asc)
5 # Limpiar memoria
6 rm(list=ls())
7 # Librerías
8 library(sp)
9 library(raster)
10 library(rasterVis)
11 "D:/PISCO/PISCOpm.nc"
12 setwd('C:/Users/HP/Desktop/DANTE/ProcesamientoR')
13 color = c("red", "yellow", 'green3', "cyan", "blue")
```



```

14  imageraster<- raster('demIchu.asc')
15  spplot(imageraster, col.regions=colorRampPalette(color)(255))
16  data_matrix <- rasterToPoints(imageraster)
17  head(data_matrix)
18  xy<-cbind(data_matrix[,1],data_matrix[,2])
19  z <-cbind(data_matrix[,3])
20  Zmax<-max(z); Zmin<-min(z); Z1<-Zmax; Z2<-Zmin
21  Humax <- 200; Humin <- 350; x1<-Humax; x2<-Humin
22  Hu<- x2+(x1-x2)*(z-Z2)/(Z1-Z2)
23  cells <- cellFromXY(imageraster,xy)
24  imageraster[cells] <- Hu
25  names(imageraster) <- 'TetisIchu'
26  writeRaster(imageraster, names(imageraster), format="ascii", ←→
      overwrite = T)

```

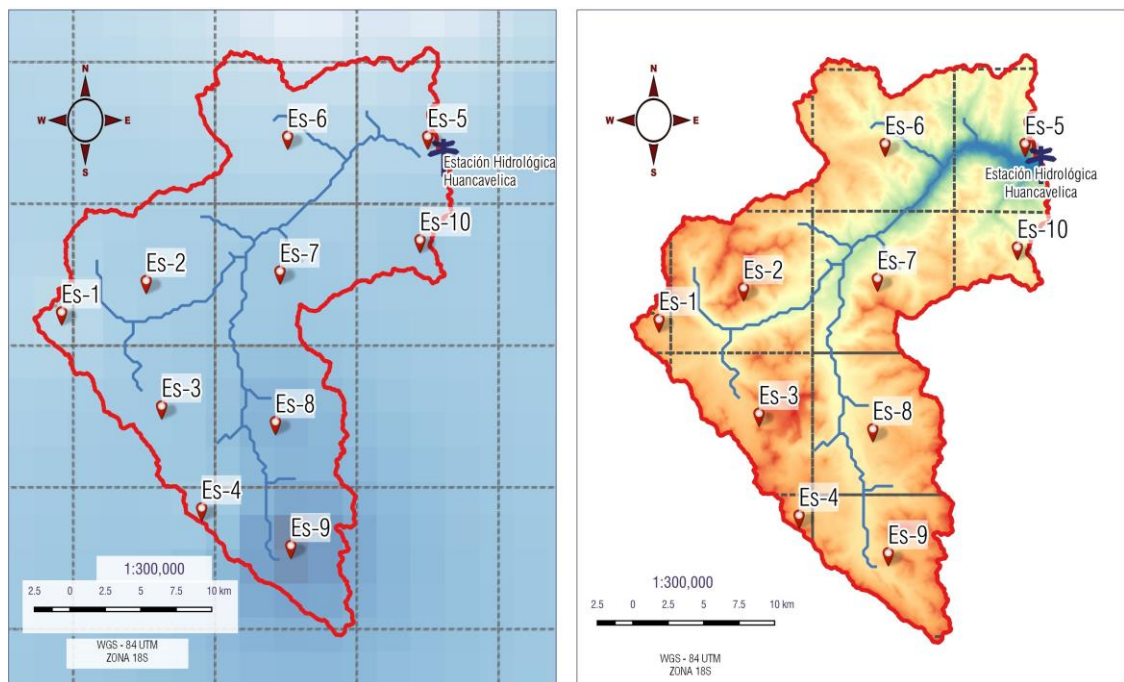
Los mapas que requiere el modelo distribuido TETIS se muestran en la sección de resultados y son:

- Mapa modelo de elevación digital (*msnm*).
- Mapa de pendientes (*m/m*).
- Mapa dirección de flujo (—).
- Mapa de celdas acumuladas(—).
- Mapa de almacenamiento estático del suelo (*mm*).
- Mapa de capacidad de infiltración (*mm/hr*).
- Mapa de percolación (*mm/hr*).
- Mapa de conductividad hidráulica interflujo (*mm/hr*).
- Mapa de conductividad hidráulica de acuífero (*mm/hr*).
- Mapa de capacidad de pérdida al acuífero profundo (*mm/hr*).
- Mapa de velocidad de ladera (*m/s*).
- Mapa de Códigos de cubierta del suelo (—).

En esta etapa, se configura el fichero de eventos en el modelo TETIS,

el mismo que contiene información de 10 estaciones sintéticas consideradas (celdas de precipitaciones del producto PISCO), serie de caudales para la calibración y ubicaciones bidimensionales para la evaluación del modelo hidrológico.

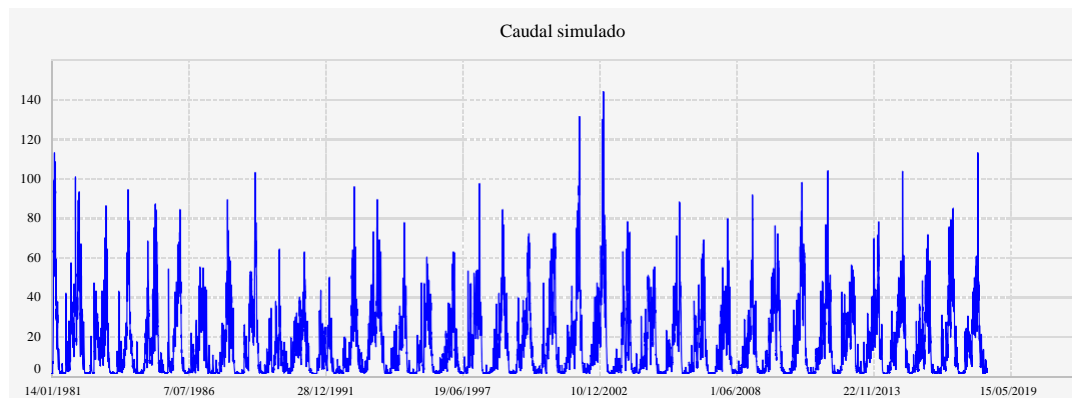
Figura 3.2: Estaciones sintéticas del producto PISCO precipitación en la cuenca del río Ichu



Fuente: Elaboración propia (Qgis)

Cuarta etapa: Se inicia la simulación hidráulica sin el proceso de calibración, de tal modo que se pueda evaluar los factores que influyen en el modelamiento hidrológico distribuido. En esta etapa, los caudales de la estación hidrométrica (series observados), se emplea para comparar mediante el estadístico Nash, el mismo que es riguroso en cuanto se refiere a la comparación de dos series temporales. Grafico demostrado en el punto 4.2.1.

Figura 3.3: Caudales simulados sin proceso de calibración



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Quinta etapa: Corresponde a la etapa del modelamiento hidrológico distribuido con el proceso de calibración, manipulando 9 factores y/o parámetros correctores como: Almacenamiento estático máximo, Evapotranspiración, Infiltración, Escorrentía directa, Percolación, Interflujo, Flujo subterráneo, Flujo base, Velocidad en red fluvial. Y de la misma manera, se evalúa ambas series del caudal (observado y simulado) mediante el estadístico Nash. Apreciado en la figura 4.30.

Sexta etapa: Finalmente, se emplea rutinas en el lenguaje de programación R para las series de los caudales simulados y observados posterior al proceso de calibración,

3.8. Técnicas y análisis de datos

- **Lenguaje de programación R:** a este programa se sometieron las pruebas estadísticas de las series de los caudales simulados y observados, los resultados se presentan en cuadros, gráficos y medidas estadísticas, estos datos arrojados por el programa permitieron validar la hipótesis planteada.
- **Método de Correlación de Pearson**

se confirmó la normalidad de la distribución de las dos variables de

análisis, se tomó la decisión de aplicar inicialmente el método de correlación de Pearson para realizar la prueba de hipótesis que será posteriormente comparada con los resultados que se obtenga de una segunda validación estos métodos de correlación son aplicables para muestras que presentan normalidad; sin embargo, es aplicable a muestras que no presentan normalidad que no es el presente caso, que consideran que si el coeficiente significación (valor de p) es menor a 0.05 existe significancia, es decir existe un 95% de probabilidad de que exista una correlación.

Entonces, que establecido el siguiente criterio para el valor de p en ambos métodos de correlación:

$p \leq 0.05$, existe significancia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis de la información para lograr el objetivo de la presente investigación. Los resultados se presentan en formatos tabulares y gráficos construidos mediante softwares informáticos como TETIS, Rstudio, Matlab, Qgis, Civil3D, entre otros.

4.1. PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido

En la siguiente sección se muestra los resultados gráficos y tabulares respecto al objetivo general de la influencia de información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu.

4.1.1. Análisis de precipitación PISCO

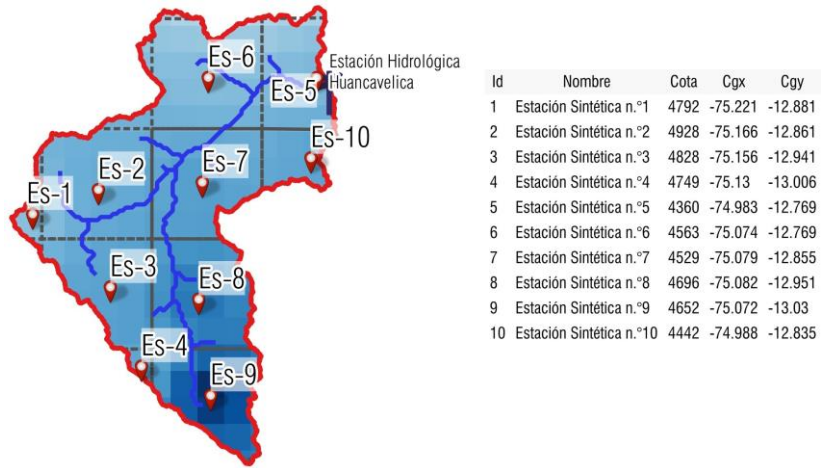
Inicialmente descargado el archivo en formato .nc, se procedió a emplear el lenguaje de programación R con la finalidad de aprovechar el manejo de archivos raster y vectoriales con el empleo de librerías de buen soporte para éstos mismos. Se empleó la librería RPisco para la extracción de datos en las estaciones sintéticas. A continuación, se aprecia un pequeño fragmento del código fuente:

Cuadro 4.1: Precipitación acumulada: precipitación media anual

Estación	ES-01	ES-02	ES-03	ES-04	ES-05	ES-06	ES-07	ES-08	ES-09	ES-10
x	-75.221	-75.166	-75.156	-75.13	-74.983	-75.074	-75.079	-75.082	-75.072	-74.988
y	-12.881	-12.861	-12.941	-13.006	-12.769	-12.769	-12.855	-12.951	-13.03	-12.835
1981	1276.22	1369.23	1315.35	1187.5	1355.51	1333.55	1440.38	1487.43	1576.3	1484.18
1982	904.38	986.87	972.88	930.8	935.45	974.21	1026.9	1056.97	1117.41	1005.27
1983	650.64	730.97	699.51	644.31	680.91	685.79	743.14	789.27	832.1	712.39
1984	987.25	955.09	1010.2	1041.51	785.08	827.82	908.65	1005.41	1079.15	864.32
1985	804.27	861.09	858.52	830.8	798.15	798.07	899.9	1007.27	1082.51	912.09
1986	979.62	984.55	1035.09	1062.16	905.48	916.19	985.79	1116.4	1302.82	976.34
1987	586.08	642.99	629.33	590.47	703.75	680.03	695.34	701.48	727.76	699.1
1988	877.25	885.02	921.98	965.58	752.25	794.08	849.71	970.42	1187.69	801.54
1989	901.38	921.46	992.78	997.48	815.67	840.32	924.44	1086.8	1313.53	852.16
1990	640.65	705.73	692.75	709.1	831.52	796.11	780.09	780.32	866	820.05
1991	714.24	723.14	763.96	810.18	636.12	665.94	714.12	814.72	963.89	667.86
1992	418.03	457.28	482.74	499.11	446.4	448.04	472.9	527.22	588.96	471.61
1993	1013.31	1147.84	1107.71	1040.98	1300.27	1193.71	1252.61	1255.54	1271	1294.05
1994	937.13	945.39	943.56	872.08	993.94	918.23	981.31	1055.32	1073.01	1014.21
1995	741.95	800.76	753.98	681.3	889.74	844.31	848.49	829.67	785.88	856.35
1996	783.77	789.36	854.58	874.99	727.62	732.86	785.21	897.22	1037.59	773.84
1997	694.58	788.72	822.22	830.65	754.01	763.5	836.26	950.2	1114.17	850.72
1998	842.89	839.69	911.81	977.62	768.51	792.16	851.87	993.83	1287.91	815.22
1999	891.01	949.44	1000.67	1048.84	901.28	880.52	971.88	1133.56	1422.06	976.83
2000	918.16	929.67	995.06	1008.98	799.94	827.86	916.47	1078.48	1287.34	877.39
2001	1029.57	1037.65	1071.6	1050.58	978.85	963.27	1055.88	1100.94	1167.58	1019.64
2002	1099.76	1236.61	1141.84	1004.69	1301.13	1267.29	1363.93	1366.24	1306.26	1370.78
2003	996.94	1105.33	1139.25	1103.11	1130.52	1055.37	1178.94	1285.44	1396.42	1194.15
2004	784.84	846.62	847.2	811.02	843.46	825.68	899.62	969.97	1033.49	915.88
2005	692.51	744.86	785.41	781.46	723.16	710.96	772.78	855.08	935.51	758.44
2006	888.01	912.82	937.34	928.61	833.97	858.97	919.62	1013.44	1165.68	864.92
2007	774.7	789.33	819.81	817.34	710.6	729.35	806.46	879.49	905.93	766.15
2008	740.12	738.67	795.53	821.43	690.35	688.76	740	829.96	994.92	728.14
2009	863.89	935.69	934.29	906.06	1086.67	989.3	1039.29	1025.85	1019.12	1098.77
2010	843.42	902.52	934.52	955.93	924.49	895.23	938.58	994.66	1099.92	908.3
2011	1068.81	1129.2	1150.2	1118.21	1101.31	1089.47	1157.37	1234.62	1320.5	1135.4
2012	959.94	1045	1061.31	1031.57	1027.82	989.54	1097.71	1183.11	1250.85	1095.75
2013	848.75	882.66	950.08	1006.72	802.87	825.81	905.04	1034.07	1229.39	884.55
2014	899.11	938.11	1002.54	1060	828.06	855.82	945.17	1061.78	1267.18	915.54
2015	889.63	960.02	909.25	880.41	1016.59	990.54	1004.88	1011.49	1098.07	1008.25
2016	770.1	789.65	736.52	686.72	734.14	751.38	772.03	775.24	792.09	741.7
2017	1080.56	1098.26	1120.39	1115.9	1089.48	1067.52	1135.05	1221.68	1352.49	1122.26
2018	697.89	684.99	716.23	709.77	652.02	642.32	668.84	752.21	849.15	643.47

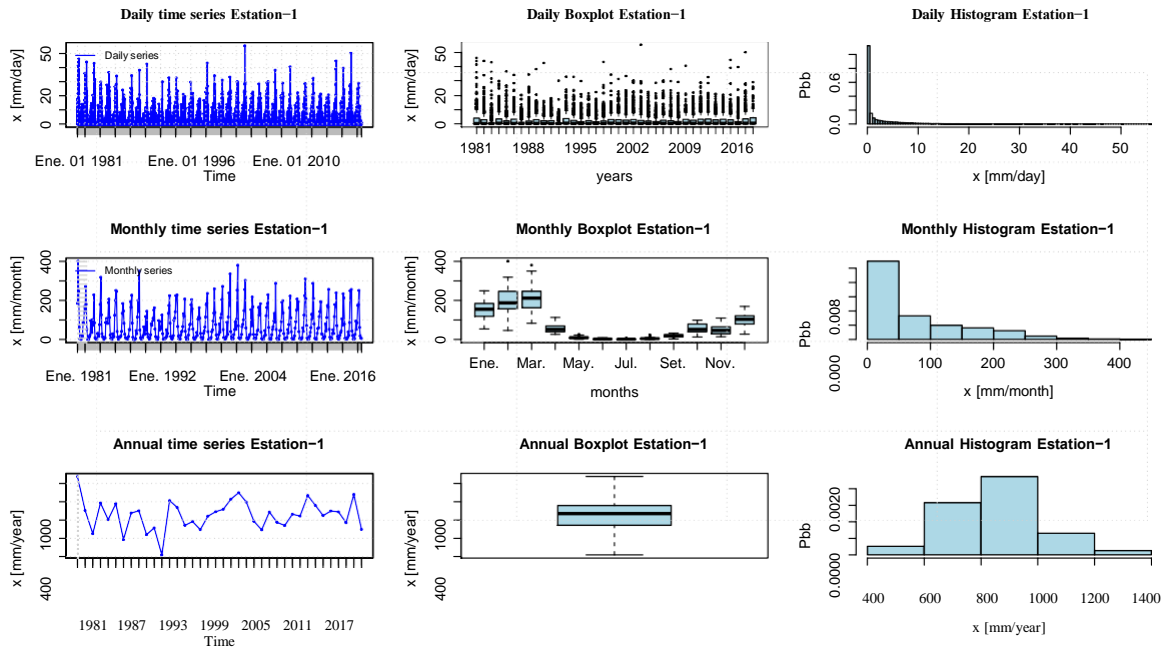
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.2: extracción y análisis de estación sintetica 01 PISCOp



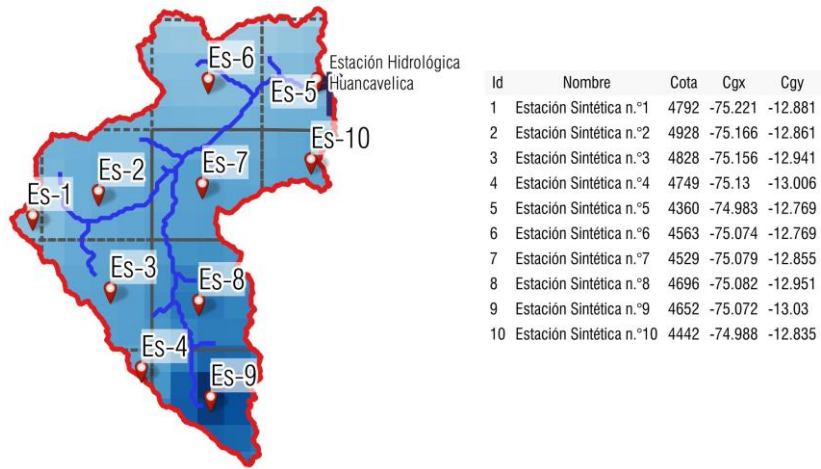
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.3: Estación sintetica 01 del producto PISCO precipitación



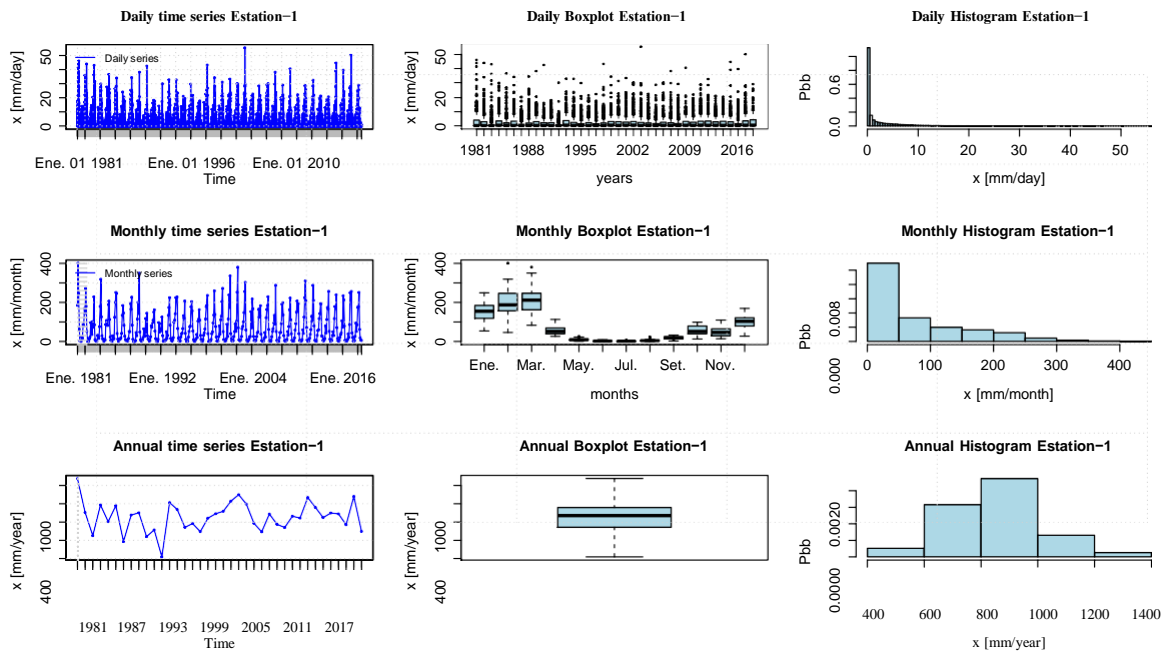
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.4: extracción y análisis de estación sintética 02 PISCOp



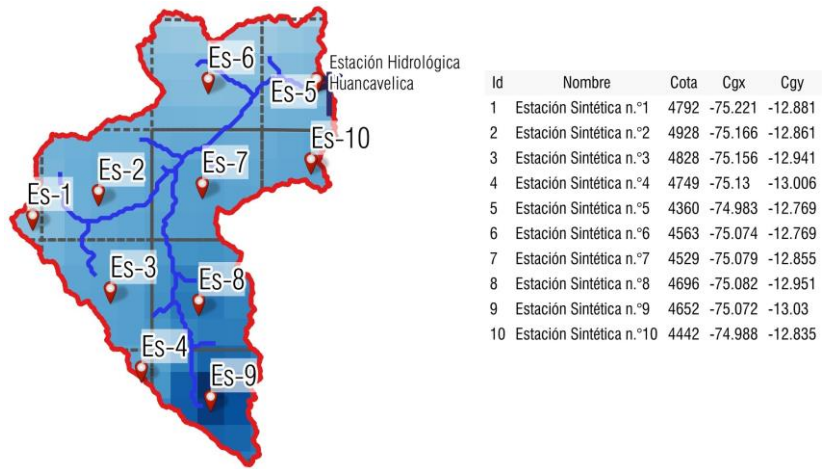
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.5: Estación sintética 02 del producto PISCO precipitación



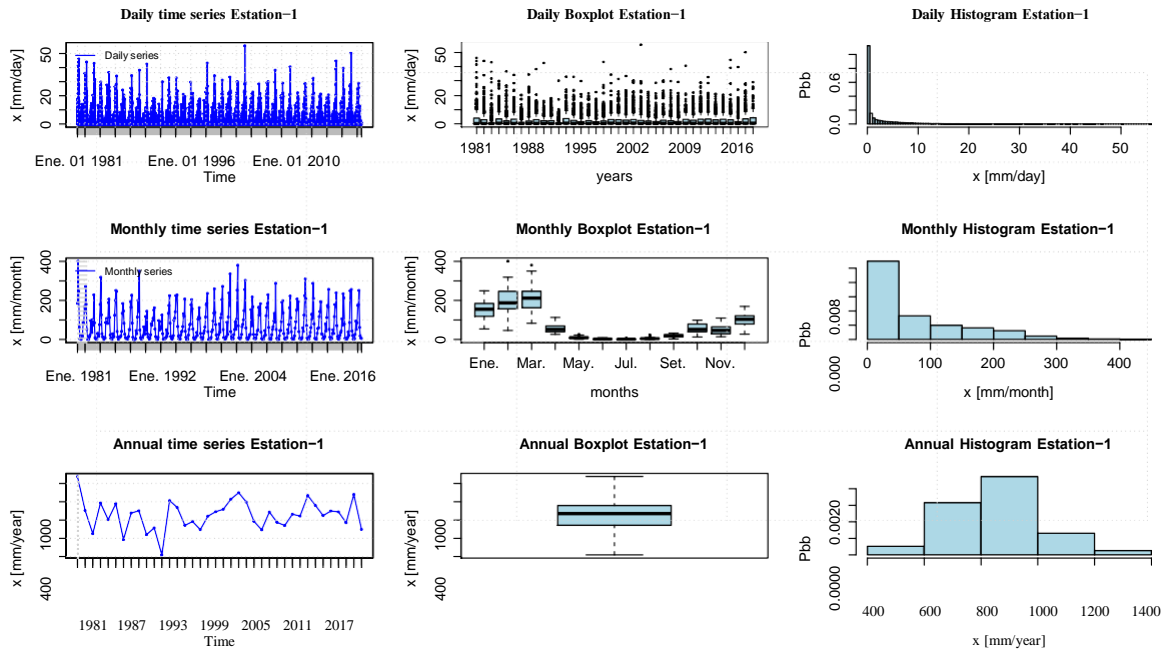
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.6: extracción y análisis de estación sintética 03 PISCOp



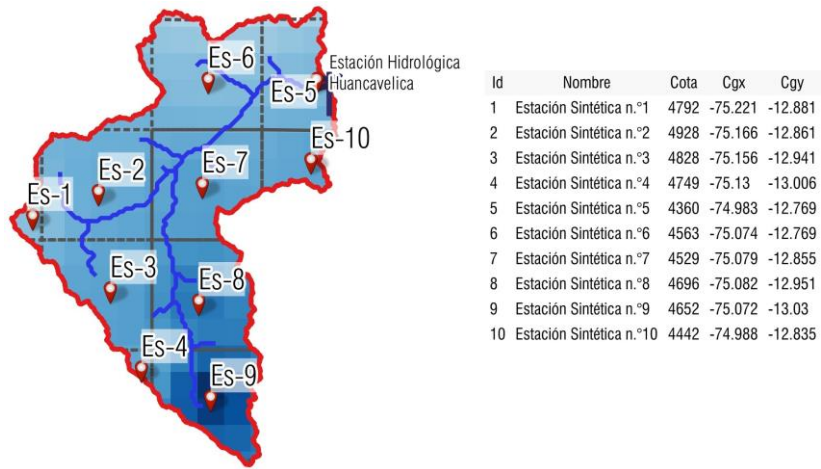
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.7: Estación sintética 03 del producto PISCO precipitación



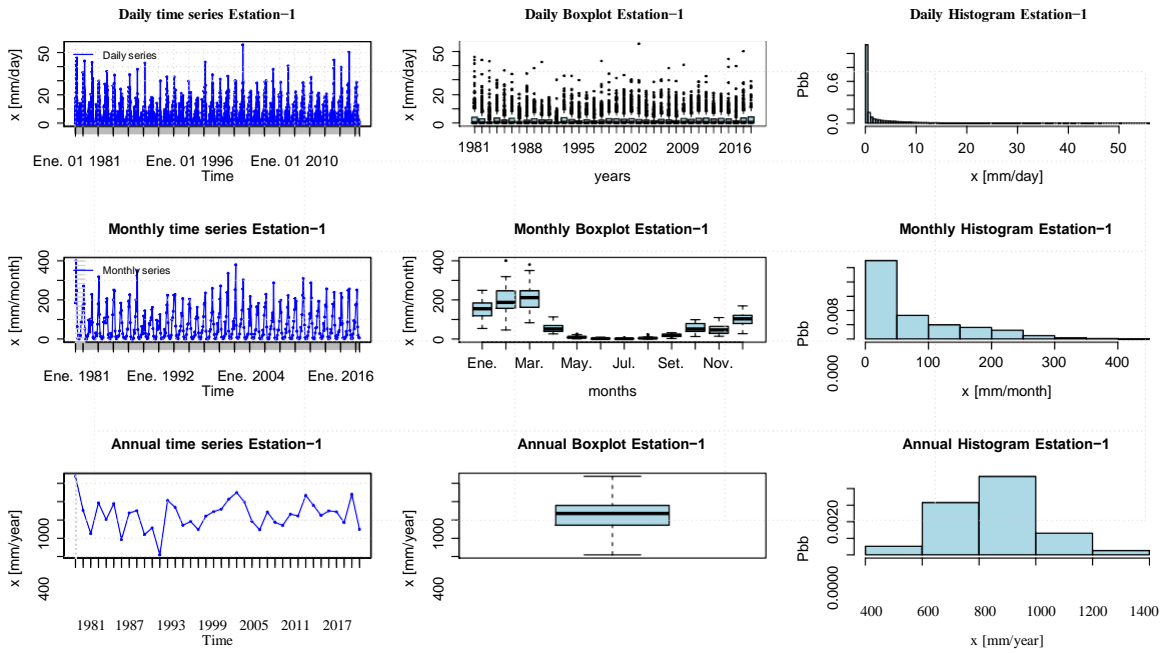
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.8: extracción y análisis de estación sintetica 04 PISCOp



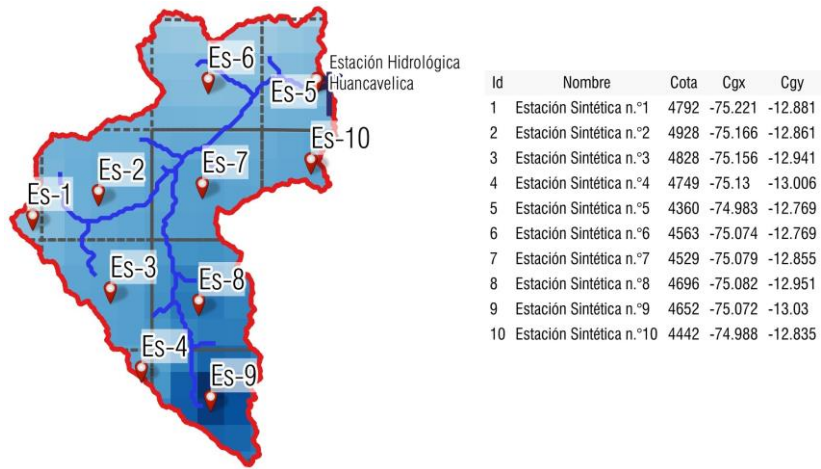
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.9: Estación sintetica 04 del producto PISCO precipitación



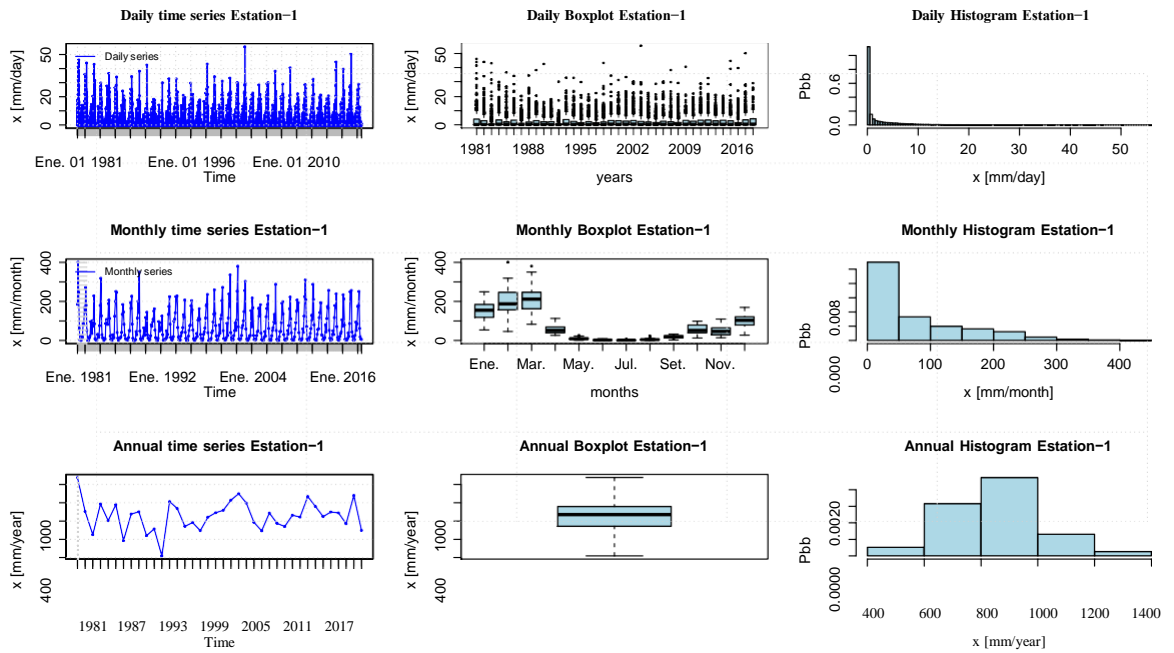
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.10: extracción y análisis de estación sintetica 05 PISCOp



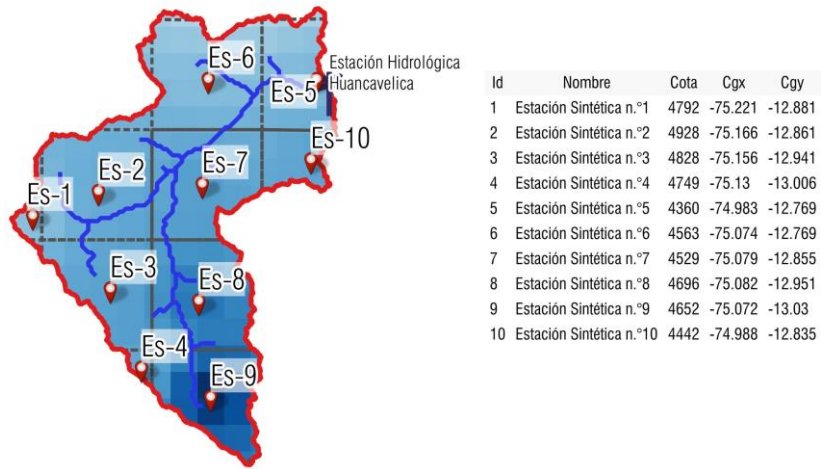
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.11: Estación sintética 05 del producto PISCO precipitación



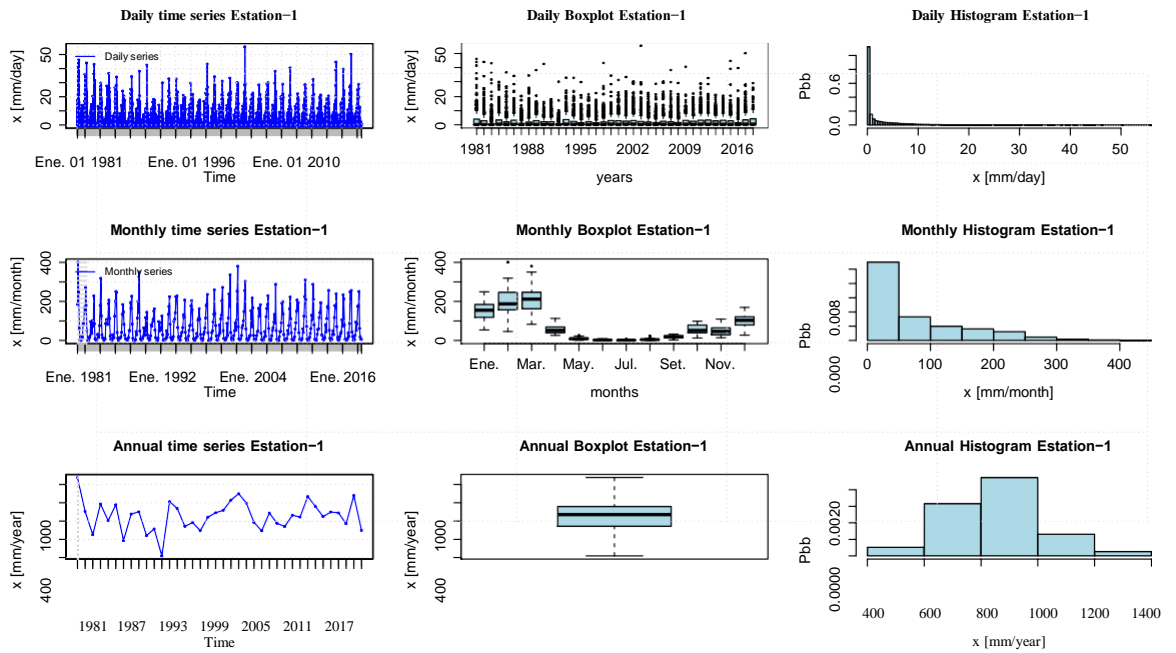
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.12: extracción y análisis de estación sintetica 06 PISCOp



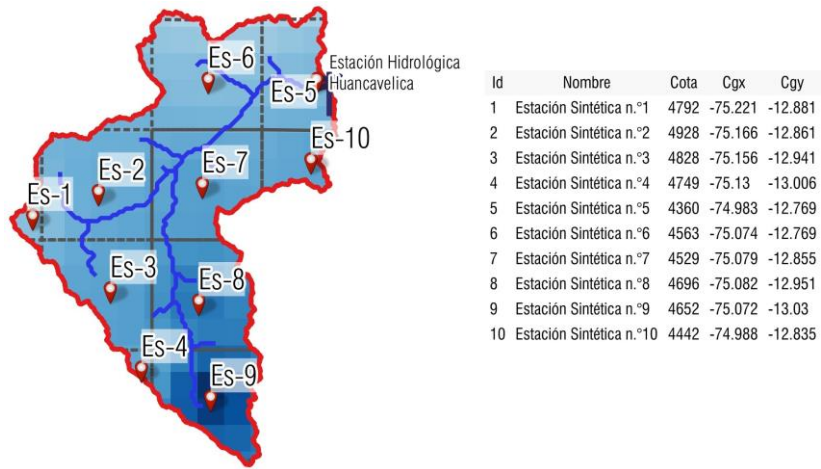
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.13: Estación sintética 06 del producto PISCO precipitación



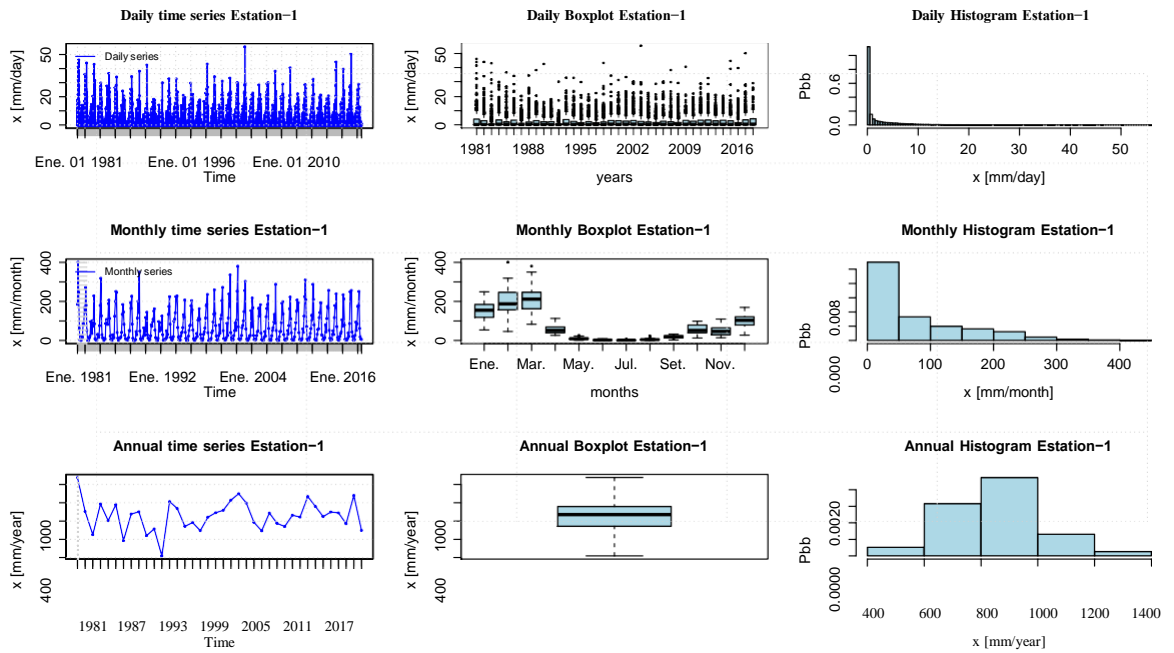
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.14: extracción y análisis de estación sintetica 07 PISCOp



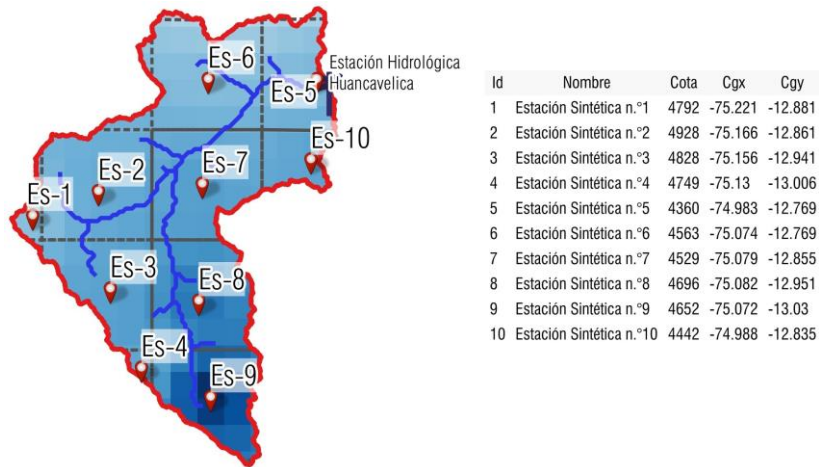
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.15: Estación sintética 07 del producto PISCO precipitación



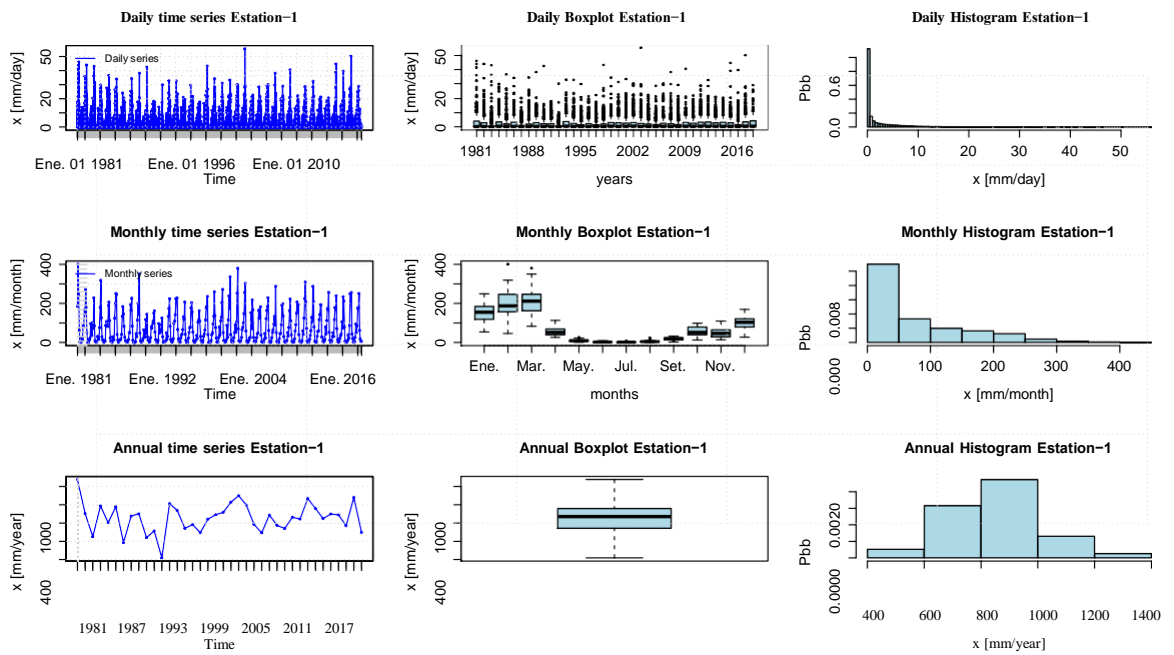
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.16: extracción y análisis de estación sintetica 08 PISCOp



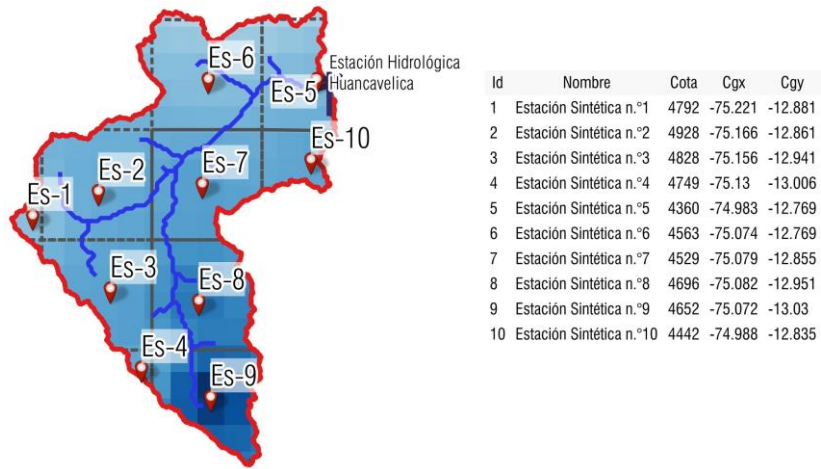
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.17: Estación sintética 08 del producto PISCO precipitación



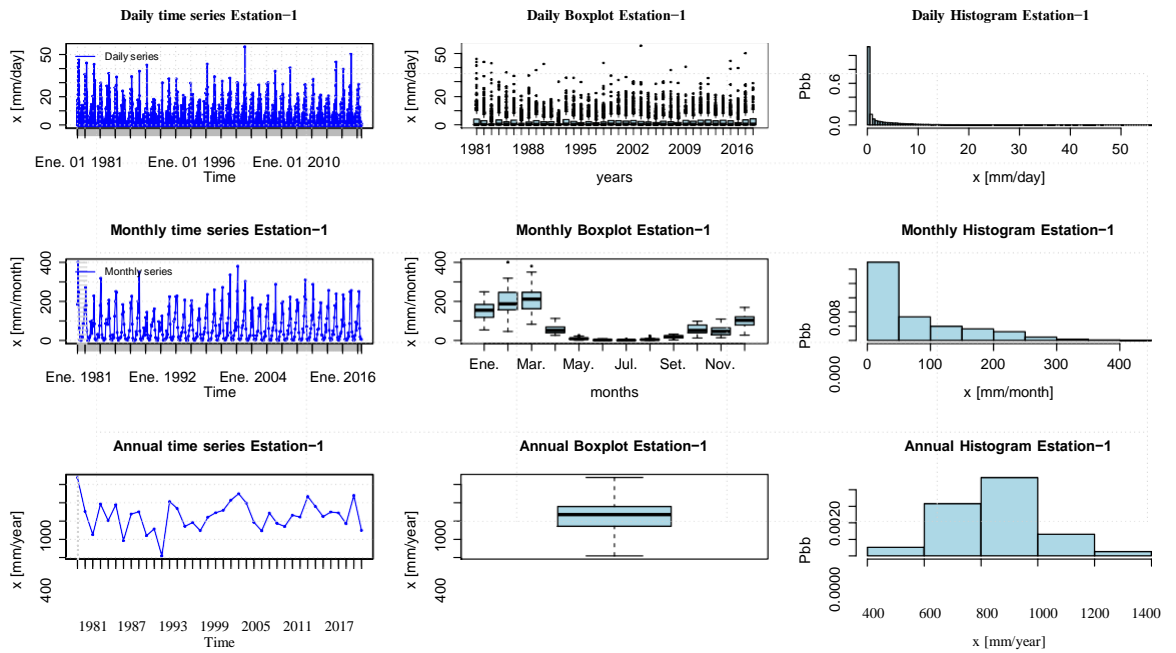
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.18: extracción y análisis de estación sintetica 09 PISCOp



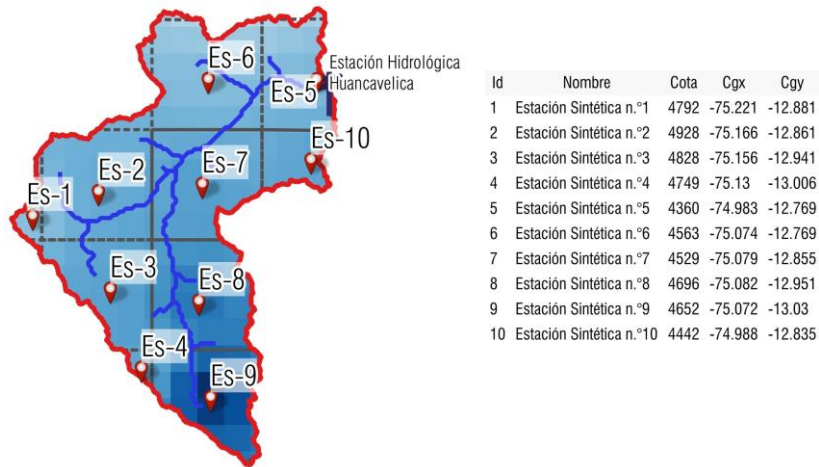
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.19: Estación sintética 09 del producto PISCO precipitación



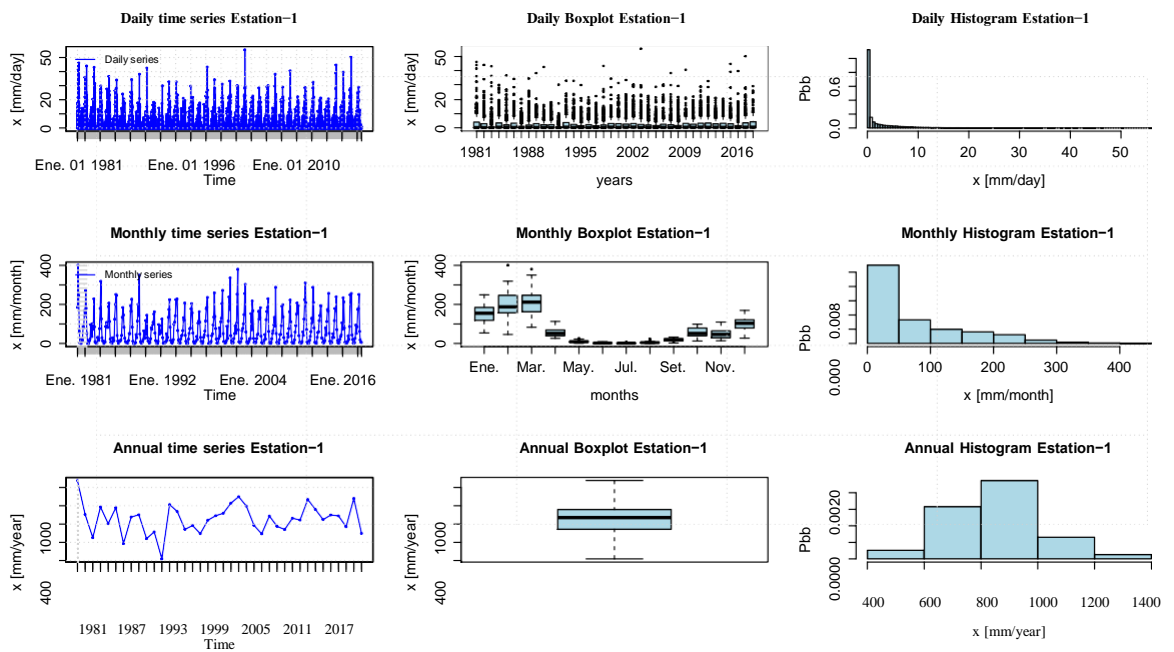
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.20: extracción y análisis de estación sintetica 10 PISCOp



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.21: Estación sintética 10 del producto PISCO precipitación



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

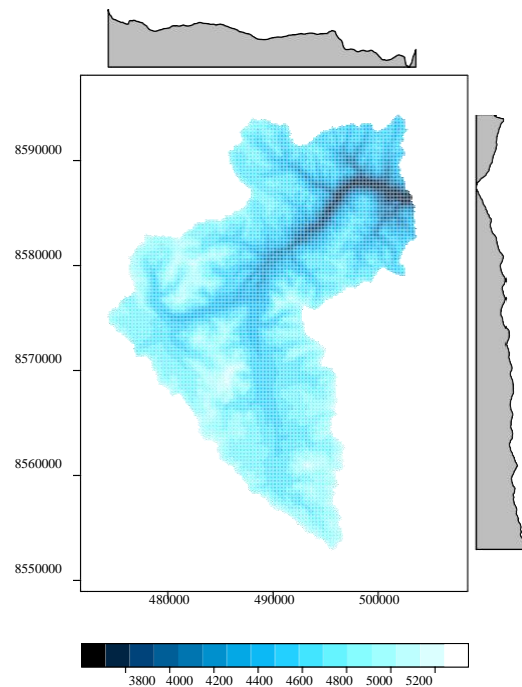
4.1.2. Mapas para el modelo TETIS

El modelo distribuido TETIS, requiere de 12 mapas tipo raster, los cuales fueron generados a partir del DEM mediante el álgebra de raster, los mapas obtenidos se muestran en las siguientes secciones:

Modelo digital de elevaciones

Es el raster base para el modelo TETIS, el cuál tiene una resolución espacial equivalente a 100 m.

Figura 4.22: DEM de la cuenca del río Ichu



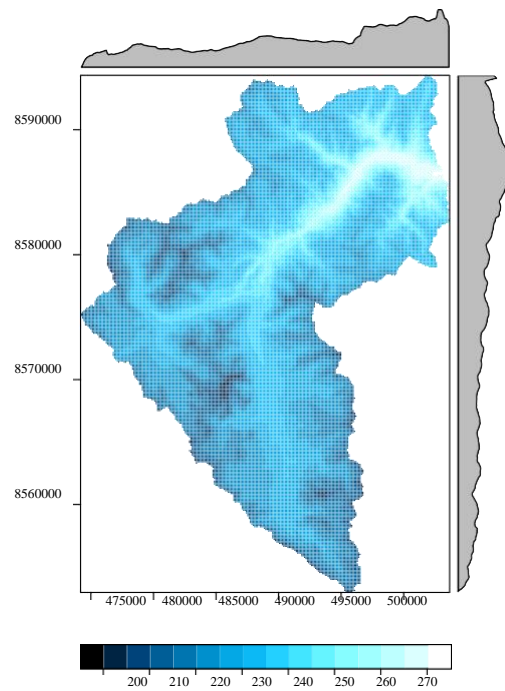
Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Mapa de almacenamiento estático [H_u]

Es la cantidad de agua que expulsa una cuenca por medio de la evapotranspiración. Este proceso depende de la cantidad de vegetación y el clima (temperatura).

Se muestra el raster - Almacenamiento estático(4.23) en función de las alturas y coordenadas UTM de la cuenca del río Ichu.

Figura 4.23: Raster Almacenamiento Estático (Hu)

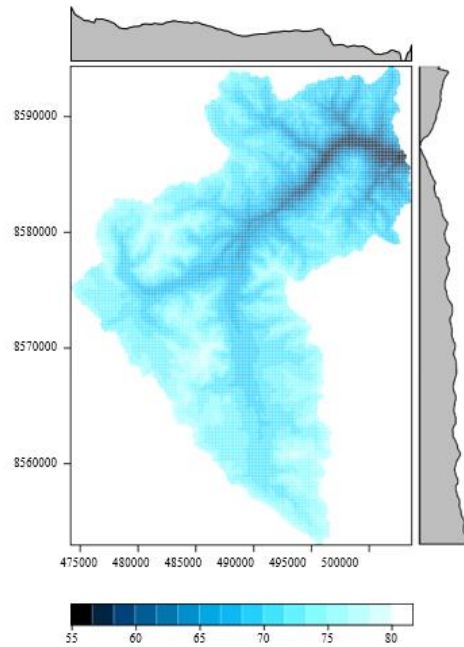


Fuente: Elaboración propia

Mapa de capacidad de infiltración. $\left(\frac{mm}{hr}\right) [Ks]$

Es el paso del agua de la superficie hacia el interior, donde, el agua infiltrada es la escorrentía directa. Por lo tanto en la figura (4.24), se muestra el raster - Capacidad de Infiltración en función de las alturas y coordenadas UTM de la cuenca del río Ichu.

Figura 4.24: Raster Capacidad de Infiltración (K_s)



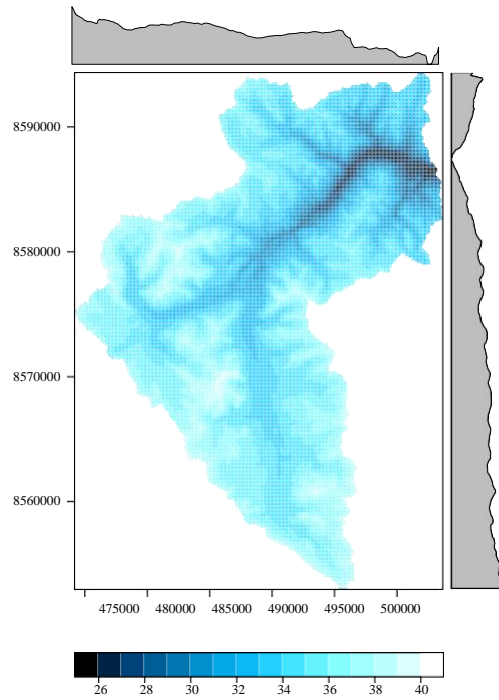
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se recomienda emplear el mapa de capacidad de infiltración [K_s] como el Mapa conductividad hidráulica al acuífero profundo ($\frac{mm}{hr}$) [K_{sa}].

Mapa capacidad de percolación ($\frac{mm}{hr}$) [K_p]

Es el paso del agua de la primera capa superficial al acuífero. Por lo tanto en la figura (4.25), se muestra el raster - Capacidad de Infiltración en función de las alturas y coordenadas UTM de la cuenca del río Ichu

Figura 4.25: Raster Capacidad de Percolación (K_p)



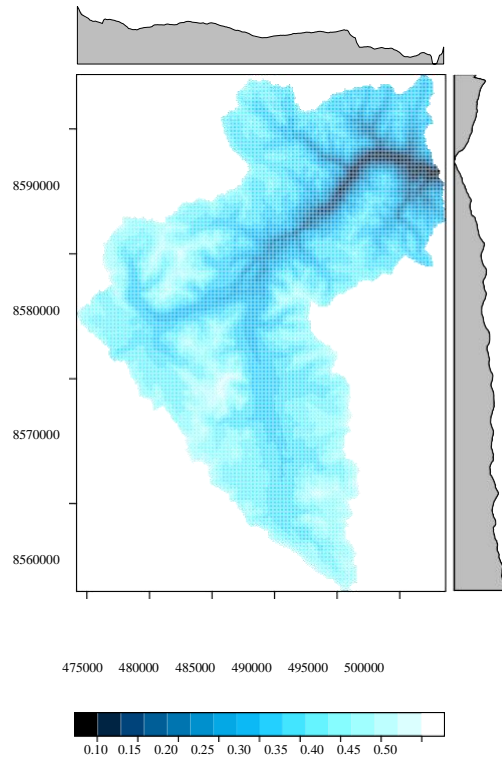
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se recomienda emplear el mapa de capacidad de percolación [K_p] como Mapa conductividad hidráulica al acuífero profundo ($\frac{mm}{hr}$)[K_{sa}].

Mapa de capacidad de pérdida al acuífero profundo [K_{sp}]

Se muestra el raster (4.26) - capacidad de pérdida al acuífero profundo en función de las alturas y coordenadas UTM de la cuenca del río Ichu.

Figura 4.26: Raster Capacidad de perdida al acuífero profundo (K_{sp})



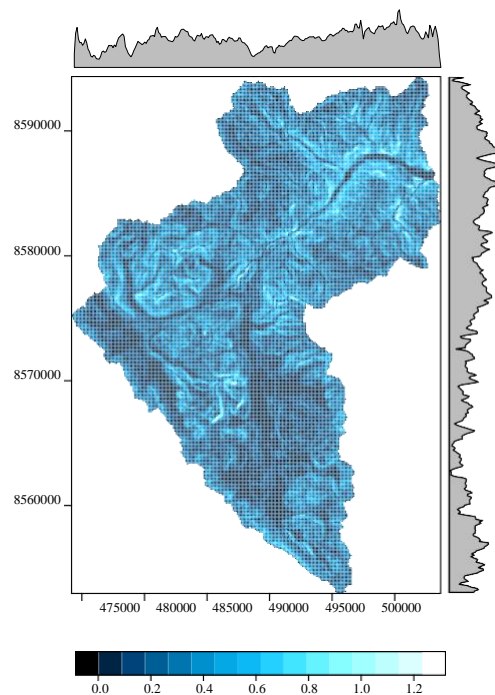
Fuente: Elaboración propia

Mapa velocidad de ladera ($\frac{m}{s}$) [Vel]

Es un parámetro complicado para analizar. Está en función de la pendiente. Se recomienda velocidades entre 0.01 m/s hasta 1.00 m/s. Si es estacionaria se tiene la relación. Frances y Cols. (2014).

$$V_t = 1.4142S_0^{0.5} \quad (4.1.1)$$

Figura 4.27: Raster velocidad de ladera (m/s)



Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que los mapas de Mapa de cubierta de suelo [Cob_{veg}], el modelo TETIS lo genera por defecto, mientras que el mapa óptimo de humedad en el suelo [$cero$] se considera en cada celda igual a cero.

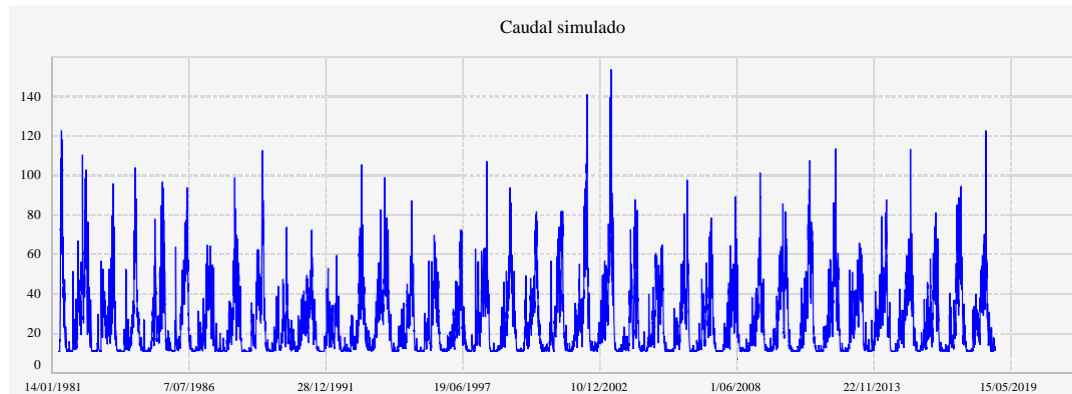
4.2. Caudales diarios en el modelamiento hidrológico distribuido - TETIS

En la siguiente sección se muestra los resultados gráficos y tabulares respecto al objetivo específico: influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido del caudal diario.

4.2.1. Caudales simulados sin calibración TETIS

Al tener la información de los mapas en formato ASCII, y la información del producto PISCO; se procede a realizar la simulación para generar el caudal simulado. El caudal simulado en el punto de aforo por el modelo hidrológico distribuido TETIS fue realizado en un periodo de año 1981 al 2018 (37 años), en la siguiente figura se muestra el hidrograma de salida.

Figura 4.28: Caudales simulados sin proceso de calibración



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

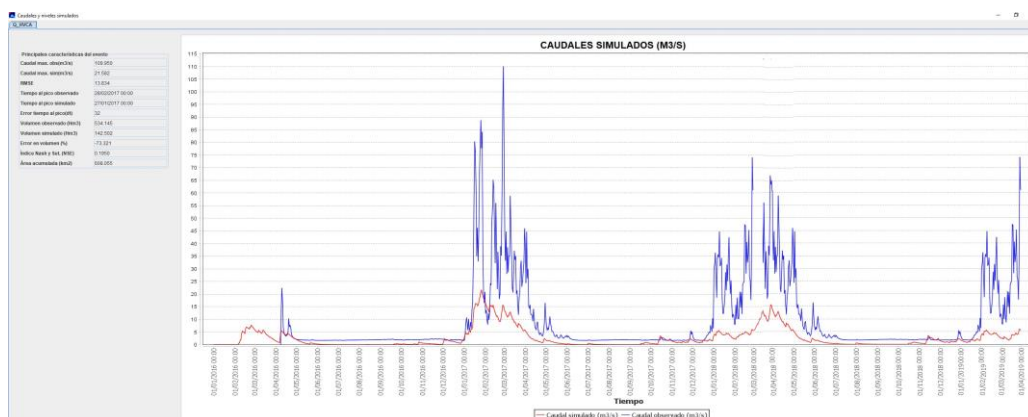


Figura 4.29: Resultados de la simulación sin calibración. Nash = 0.1925. Fuente: TETIS V.9.0.1.

4.2.2. Calibración y validación del modelo TETIS

Finalmente, para mostrar los resultados del proceso de modelamiento hidrológico se procedió a realizar la calibración y validación del modelo TETIS.

4.2.2.1. Calibración mediante el modelo TETIS.

La cuál consiste en obtener un ajuste óptimo entre los caudales observados y calculados (simulados), donde se evaluará mediante el coeficiente de Nash.

El modelo TETIS calibra cuatro variables de estado y nueve parámetros de estados iniciales, las cuales son:

Variables de Estados iniciales:

- **(H1)** Almacenamiento estático.
- **(H2)** Humedad del suelo en el almacenamiento de superficie.
- **(H3)** Almacenamiento gravitacional.
- **(H4)** Almacenamiento del acuífero.

Los factores Correctores corrigen los parámetros de producción (H_u , λ , K_s , K_p) y traslación, al multiplicarlos de forma directa. La calibración automática puede realizarse de todos los parámetros o por cada elemento (recomendablemente).

- **(FC1)** Almacenamiento Estático.
- **(FC2)** Evapotranspiración.
- **(FC3)** Infiltración.
- **(FC4)** Escorrentía.
- **(FC5)** Percolación.
- **(FC6)** Interflujo.
- **(FC7)** Perdidas.
- **(FC8)** Flujo base.
- **(FC9)** Velocidad del flujo.

El modelo TETIS fue calibrado en la estación de aforo ubicada la parte urbana de la ciudad de Huancavelica, reservándose los puntos de simulación restantes para la etapa de validación. El modelo TETIS usa el algoritmo Shuffled Complex Evolution, para poder realizar la calibración automática, que es robusta y eficiente para los procesos de calibración de modelos lluvia-escorrentía, obteniéndose un coeficiente de Nash igual 0.58 para el periodo comprendido entre abril 2016 a junio 2018, en la estación de aforo, el cual corresponde a un ajuste muy bueno. Por lo que recomienda TETIS que mientras más años de observación de datos mejor es el ajuste al realizar la calibración del modelo. En la figura 4.30, se muestra los factores calibrados para la cuenca experimental del río Ichu, se efectuaron simulaciones continuas de los gastos de salida en la sub cuenca, expresados en intervalos diarios, así mismo cabe indicar que los resultados fueron calibrados con la estación hidrológica ubicada en la ciudad de Huancavelica, mostrando así un resultados que confirman la solidez del modelo.

Figura 4.30: Configuración del modelo

The screenshot displays the 'Información de la simulación' window, which is divided into several sections for parameter configuration:

- Factores correctores del modelo:** A list of nine correction factors (FC-1 to FC-9) and a hydrological design scaling factor, each with a corresponding input field.

[FC-1] Almacenamiento estático	1.00000
[FC-2] Evapotranspiración	1.00000
[FC-3] Infiltración	0.50000
[FC-4] Escorrentía directa	1.00000
[FC-5] Percolación	0.40000
[FC-6] Interflujo	10.00000
[FC-7] Flujo subterráneo profundo	0.10000
[FC-8] Flujo base	80.00000
[FC-9] Velocidad en red fluvial	1.00000
Escalamiento diseño hidrológico	1.00000
- Otras variables:** A section for additional simulation variables.

Número de datos	13726
Intervalo temporal (min)	1440
Factor interpolación de la lluvia con la cota (mm/m)	0.0000000
Estaciones para interpolar	3
Número de regiones homogéneas	1
- Estados iniciales:** A section for initial conditions, currently showing 'Región 1'.

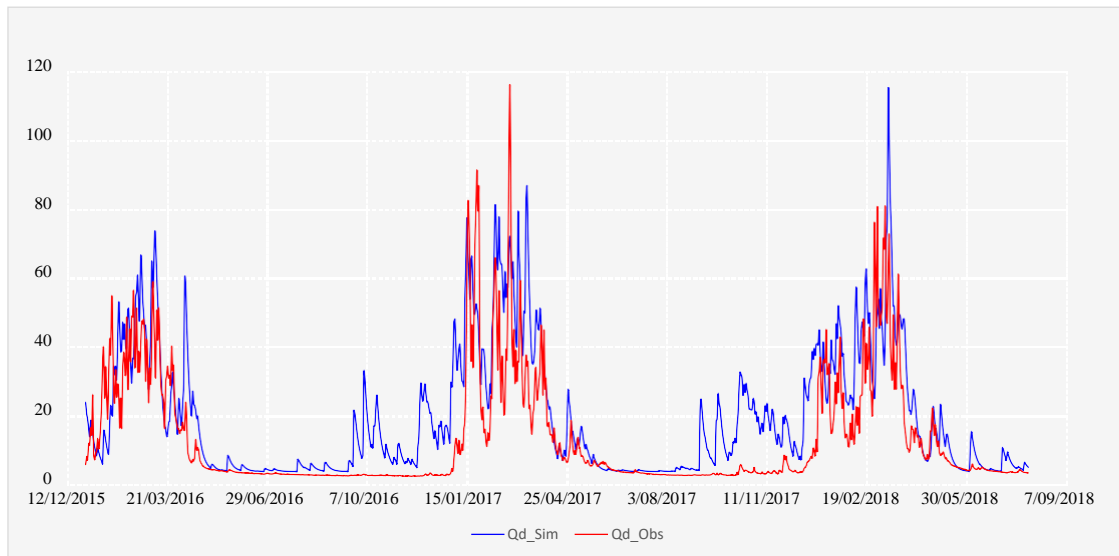
H1 - Almacenamiento estático (0-100% del máximo)	0.0000000
H2 - Agua en superficie (mm)	0.0000000
H3 - Almacenamiento gravitacional (mm)	0.0000000
H4 - Estado inicial del acuífero (mm)	0.0000000
H5 - Caudal en el cauce (0-1000% del caudal en sección llena)	0.0000000
H6 - Intercepción por la vegetación (0-100% del máximo)	0.0000000

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.33, se observa el hidrograma parámetros de la calibración del

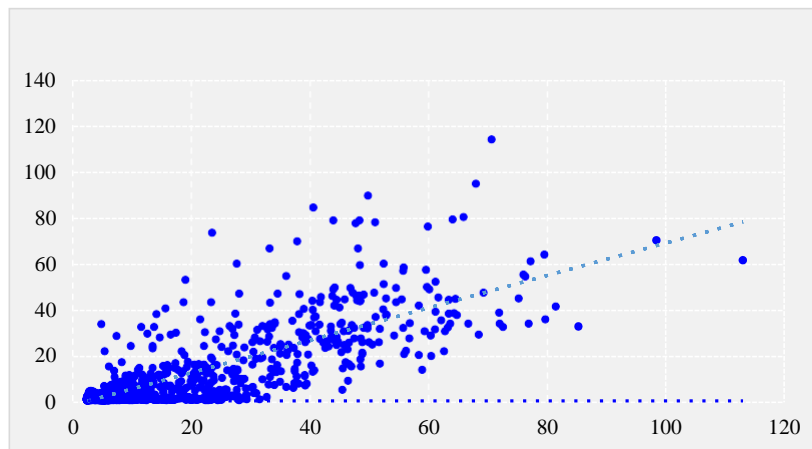
modelo Tetis, consiste el lograr el ajuste bueno, entre los caudales observados y simulados, mediante el cambio de parámetros de mayor influencia. Con el fin de evaluar la eficiencia del modelo en la calibración del modelo, los hidrogramas resultantes se han comparado visualmente con los observados y se han obtenido el parámetro de eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE), obteniendo un valor de 0.5802, siendo este considerado como bueno.

Figura 4.31: Caudal diario simulados y observado



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.32: Dispersión

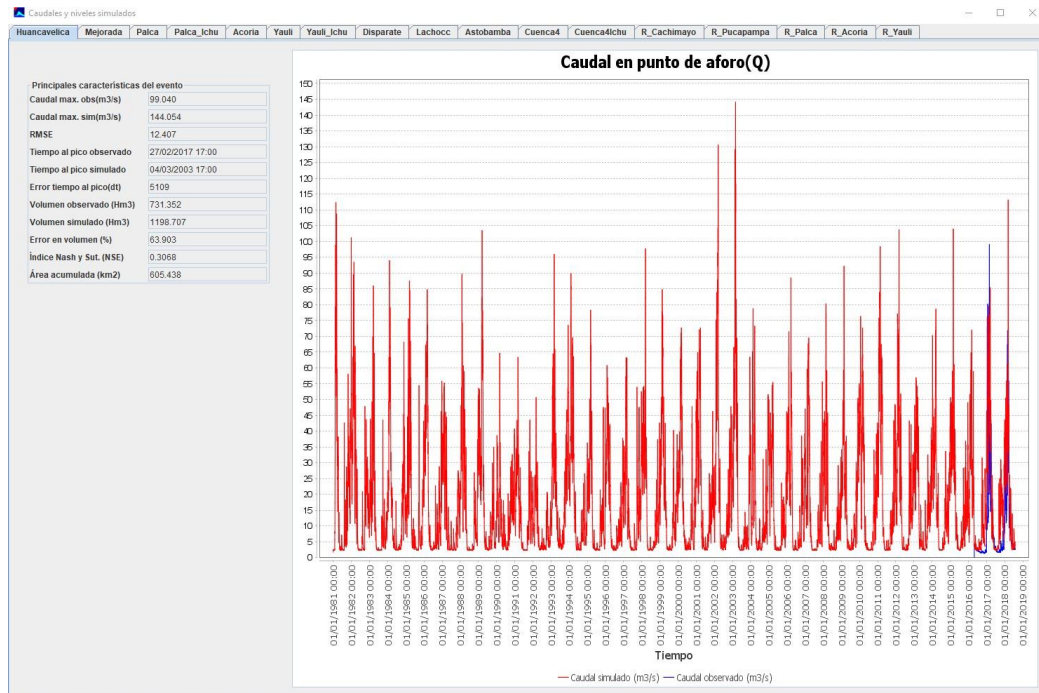


Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

4.2.3. Generación de caudales históricos calibrados

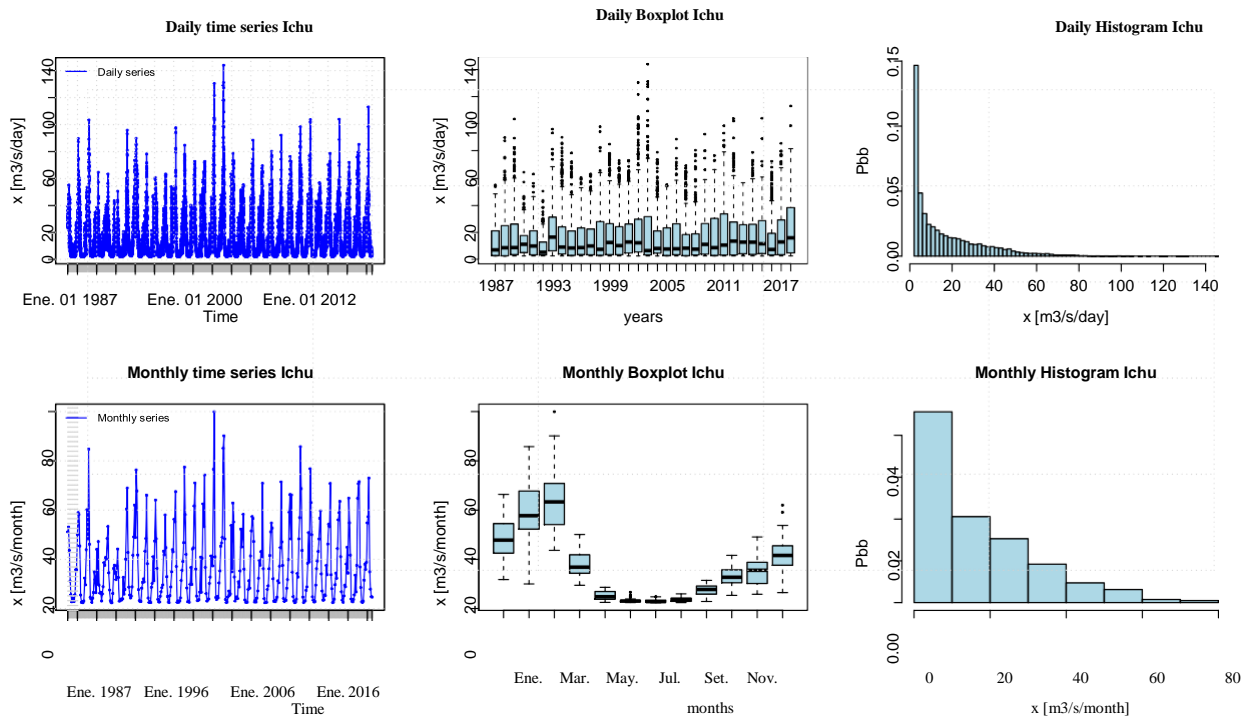
A continuación, se describe la serie historia de los datos generados apartir de la calibración del modelo hidrológico TETIS para el punto de interés mencionado:

Figura 4.33: Caudales generados e índice de estadísticos de calibración



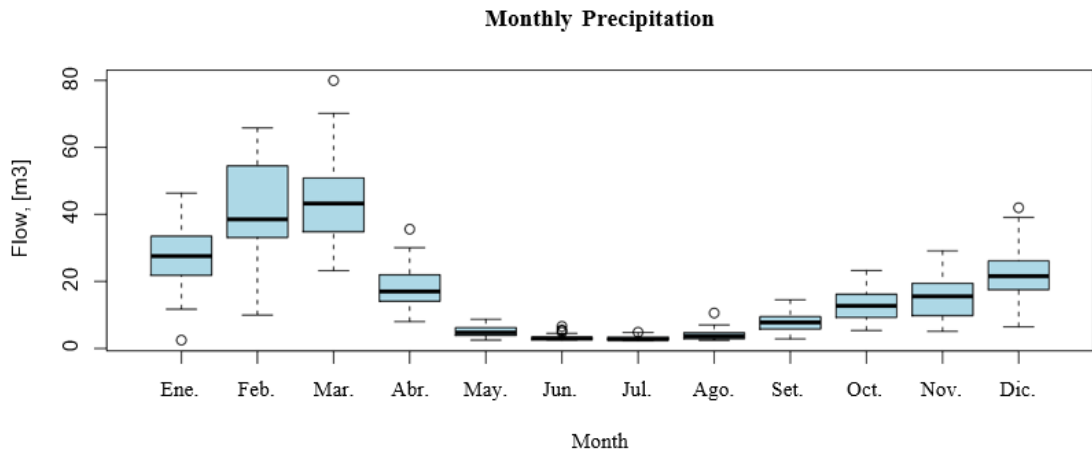
Fuente: Software Tetis

Figura 4.34: Caudales generados e índice de estadísticos de calibración



Fuente: Software Tetis

Figura 4.35: Caudales generados e índice de estadísticos de calibración



Fuente: Software Tetis

4.3 Caudales mensuales en el modelamiento hidrológico distribuido - TETIS

En la siguiente sección se muestra los resultados gráficos y tabulares respecto al objetivo específico: influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido del caudal mensual.

Los datos en la tabla 4.6, muestran los caudales mensuales simulados donde se evidencian mayores valores en los meses de enero, febrero, marzo que corresponden a épocas de avenidas.

Cuadro 4.2: Caudal mensual simulado – TETIS

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	76.7	1782.1	1674.4	533.2	99.6	103.2	75.8	328.1	309	703.4	768.3	1180.2
1982	1038.4	1748.3	1154.9	524	134.2	73.6	73.9	217.2	173.3	721	716.6	413.1
1983	728.2	570.7	1329.5	793.7	153.7	73.3	76.8	73.8	386.4	285.5	154.5	358.1
1984	859.9	1819.3	719.2	256.5	146.6	162.1	78	93	105.1	475.9	796.4	645.7
1985	453.1	1043.6	1345.9	1067.6	149	163.5	113.9	74.5	435.4	170.6	159	693.5
1986	1010.9	1525.5	1692.7	241.4	127.7	74.3	103.4	215.2	227.8	220.6	425.6	849.5
1987	963.2	926.6	733.2	334.7	174.8	81.9	134.6	116.4	86.1	173.9	474.7	487.9
1988	932.2	1131	1184.5	762	170	75.6	76.1	73.8	92.1	383.7	288.3	741.3
1989	1245.6	791.6	2006.6	782.9	142.5	116.9	78.2	130	196	462.6	352.9	199.6
1990	745.5	279.9	843.9	285	193.6	197.9	93.8	184.6	266.3	578.4	527.7	643.2
1991	623.3	796.3	1033.3	436.7	233.1	95.8	73.9	73.8	184.2	505.3	528.2	444.8
1992	363.9	500	750	379	93.2	95	120.2	107.6	119.8	393.8	175.3	240.6
1993	620.2	1130.5	1518	683.6	268.8	163.3	131.8	156.1	264.4	671.1	872.8	1301.7
1994	894.9	1576.9	1480	651.4	239.2	96.6	87.7	90.7	248.2	329.3	362.1	335.5
1995	721.9	797.8	1427	547	132.4	74.3	90.2	75.6	258.6	317.7	632.3	348.9
1996	848	1277.3	879.4	488.7	115.2	81.1	81.7	154.8	204.7	264.1	288.1	721.9
1997	676	1065.4	766.7	388.8	151.5	79.1	75.3	163.1	263.3	463.5	717.9	714.4
1998	1124.1	988.3	1473.5	512.8	78.6	93.9	79.4	95.1	130.3	353.7	466.4	593.4
1999	830.9	1608.6	1183.4	660	258.3	82.7	91.1	79	295.1	517.3	293.3	748.5
2000	764.5	1208.6	1580.3	479.6	156.9	95	104.1	111.7	199.2	647.5	198.7	633.9
2001	1317.3	932.1	1682.3	501.6	188.9	90	107.4	121	306.8	396.1	641.5	620.2
2002	536.6	1583.2	2478	629.8	139.6	110.8	150.6	134.4	312.7	474.6	758.6	825.8
2003	897.4	1823.1	2174.8	847.8	113.3	72.3	83.6	146.2	213.8	166.9	179.4	1046.5
2004	462.7	1242.5	1090.3	384.3	94.1	136.1	147.2	125.7	326.5	271.3	458.7	998.8
2005	775.3	878.7	1186	479.2	108.7	76.9	78.9	80.5	232.8	351.7	247.2	662.5
2006	977.7	1046.7	1135.2	817.5	81.7	101.1	81.8	130.9	214.4	381.9	584	545.8
2007	718.1	591.8	1577.3	485.2	125.1	71.7	77.5	77.9	233.3	286.4	486.1	668.7
2008	966	1008.7	1013.3	364.3	90.4	94.1	87.1	113.2	138.1	350.5	314.5	533.4
2009	766.9	1439.8	838.9	526.1	128	87.4	106.6	103.1	246.8	364.9	597	1212.3
2010	1436.8	792.1	1430	443.1	150.7	89.4	74.3	82.2	114.6	442.3	383.2	877.5
2011	1144.7	1841.3	1509.6	708.4	143.4	72.5	92.4	96.4	221.6	273.2	551.1	956
2012	587	1647.6	1335.6	901.4	147.2	102.5	81.4	88.8	285	502	579.3	719.6
2013	875.4	1026	1230	422.1	220.4	101.1	108.8	172.6	158.8	543.2	411.8	811.2
2014	1062.4	933.1	1575.5	412.8	250.3	71.8	81.7	117.4	292	446.6	368.9	755.4
2015	1116.7	1092.6	1349.8	632.5	211.1	102	78.3	159.2	285.4	274.4	542.1	771.2
2016	445.1	1300.5	1079.1	650.7	119	87.5	83.8	114.3	166.8	419.1	201.4	543.6

(sigue en la página siguiente)

Cuadro 4.2: Continuación de la tabla

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	1387.5	1419.5	1598.1	506.6	265.3	81.6	77.8	92.2	344.4	558.7	476.6	583.6
2018	1077.6	1045.8	1642.7	447.7	244.1	145.4	143.2	123.5	230.8	409.3	458.9	687.2
Prom	844	1163.5	1334.3	551.8	159	99.3	94.3	123.5	230.8	409.3	458.9	687.2
Max	1436.8	1841.3	2478	1067.6	268.8	197.9	150.6	328.1	435.4	721	872.8	1301.7
Min	76.7	279.1	78.6	71.7	73.9	73.8	86.1	166.9	154.5	199.6		

Cuadro 4.3: Caudal mensual observado - estación hidrométrica

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2016	644.8	1037.3	1015.1	291.9	82.5	55.9	51	42.4	36.7	40.3	33	43.8
2017	1058.6	1019.9	1002.6	416.2	195.5	86.3	55.9	41.6	44.3	66.8	73	134.2
2018	782.1	757.2	1349.5	337.8	159	89.5	68.6	54.7	50.7	81.1	101.1	69.3
2019	498	1170.8	1022	331.6	145.9	75	72	64	57.2	54	132.1	551.8
2020	708.7	682.3	964.4	589.7	230.2	105.4	86.8	76.6	73.6	76.9	64	322.5
2021	692.4	673.6	1219.9	287.6	129	69.3	51.7	40.3	37.1	62.2	79.5	52.3
Prom	730.8	890.2	1095.6	375.8	157	80.2	64.3	53.3	49.9	63.5	80.5	195.7
Max	1058.6	1170.8	1349.5	589.7	230.2	105.4	86.8	76.6	73.6	81.1	132.1	551.8
Min	498	673.6	964.4	287.6	82.5	55.9	51	40.3	36.7	40.3	33	43.8

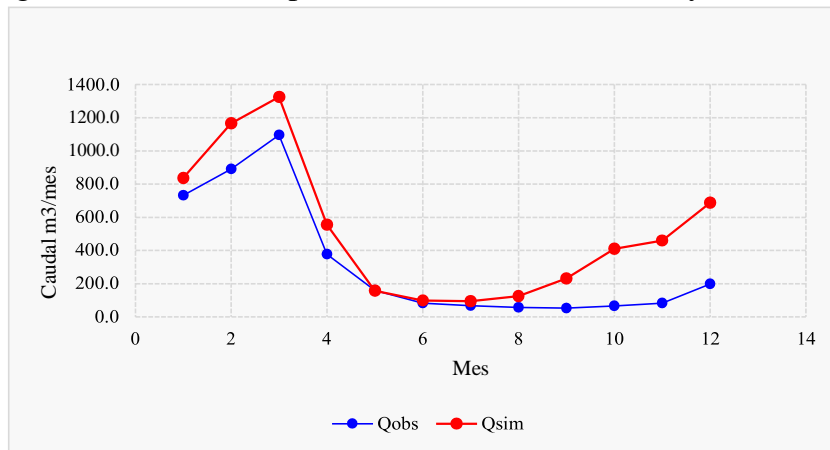
Se obtiene el caudal promedio mensual correspondiente al período 2016-2018(tabla 4.4).

Cuadro 4.4: Caudal promedio mensual

Mes	Qm-Obs	Qm-Sim
ENE	730.756	837.711
FEB	890.192	1166.690
MAR	1095.581	1325.949
ABR	375.792	554.
MAY	157.026	156.649
JUN	80.231	98.057
JUL	64.331	92.939
AGO	53.286	123.514
SET	49.932	230.790
OCT	63.545	409.257
NOV	80.455	458.935
DIC	195.656	687.233

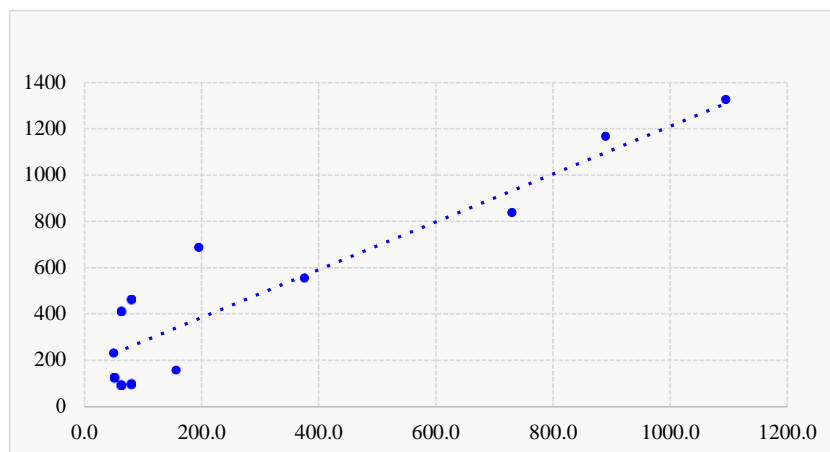
Es evidente que los caudales mensuales simulados sobreestiman a los caudales mensuales observados de forma ligera, como se aprecia en la fig. 4.36. Por otro lado, durante los meses de estiaje los caudales observados y simulados asumen valores muy semejantes.

Figura 4.36: Caudales promedio mensual simulados y observado



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

Figura 4.37: Dispersión de caudales mensuales



Fuente: Elaboración propia (Rstudio)

4.4 Caudales máximos en el modelamiento hidrológico distribuido - TETIS

En la siguiente sección se muestra los resultados gráficos y tabulares respecto al objetivo específico: influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido del caudal máximo.

En la tabla 4.5, se tiene los caudales simulados del software TETIS, a continuación, se describen los caudales máximos de la cuenca del río Ichu:

Cuadro 4.5: Resumen de caudales máximos simulados (m³/s)

Año	(Q_{max})
1981	112.28
1982	93.42
1983	85.90
1984	93.94
1985	87.46
1986	84.74
1987	55.18
1988	89.68
1989	103.43
1990	64.65
1991	63.33
1992	50.60
1993	95.89
1994	89.82
1995	78.26
1996	60.74
1997	63.25
1998	97.65
1999	84.76
2000	72.62
2001	72.63
2002	130.52
2003	144.05
2004	78.71
2005	55.41
2006	88.44
2007	69.46
2008	80.23
2009	92.15
2010	76.25

(continúa en la página siguiente)

Cuadro 4.5: Continuación de la tabla

Año	(Q_{max})
2011	98.37
2012	103.68
2013	56.90
2014	78.58
2015	103.95
2016	71.92
2017	120.34
2018	113.10
Minimo	50.60
Maximo	144.05
Promedio	84.93

Fuente: resultados del software TETIS

Se tiene el registro de caudales máximos observados correspondientes al periodo 2016-2018. Por tanto, la comparativa se realiza en ese rango de tiempo.

Cuadro 4.6: Caudal máximo simulado y observado

Fecha	Q_{maxsim}	Q_{maxobs}
2016	71.9215	57.26887935
2017	120.3492	114.3244741
2018	113.1004	79.24578772

4.5 Prueba de hipótesis

4.5.1 Hipótesis general

Los caudales estudiados, presentan una distribución normal, por lo cual se eligió la prueba de T Student, teniendo:

- **Hipótesis alterna (H1):** la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido en cuenca del río Ichu.
- **Hipótesis nula (H0):** la información del producto PISCO de precipitación no influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido en cuenca del río Ichu.

Código Fuente 4.1: Prueba de hipótesis en R

```
1  t_test <- t.test(Q_sim, Q_obs)
2  Paired t-test
3  data:  Q_sim and Q_obs
4  t = 1.4506, df = 1883.1, p-value = 0.1471
5  alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
6  95 percent confidence interval:
7  -0.3844571  2.5686027
8  sample estimates:
9  mean of x mean of y
10 12.87726 11.78519
```

Se obtuvo un p-valor de 0.147, este valor no necesariamente es cero, pues representa un decimal. Por tanto, como P-valor es mayor que 0,05 entonces se acepta la hipótesis alternativa, es decir, no existe una diferencia significativa en la media de los caudales observados y simulados; ya que el propósito de la presente investigación es evidenciar que los caudales simulados sean semejantes a los caudales observados.

Complementario a la prueba de T Student, los indicadores estadísticos dan la mayor confiabilidad de validación. Comprobando que la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido en cuenca del río Ichu.

4.5.1.1 Análisis estadístico mediante indicadores estadísticos

En el modelo TETIS, se usó como función objetivo el coeficiente de Nash- Sutcliffe NSE, donde NSE se evalúa de $(-\infty$ a 1) (un ajuste perfecto establece un valor igual a 1). Este criterio es comúnmente usado en la evaluación de los modelos hidrológicos.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q})^2} \quad (4.5.1)$$

Donde:

Q_{sim} : caudal simulado, Q_{obs} : caudal observado, \bar{Q} : caudal medio de los observados, n : número total de observaciones.

El resultado del estadístico NSE fue de 0.5802 catalogandose como bueno.

4.5.2 Hipótesis específica 01

Se empleó la determinación del coeficiente de Correlación de Pearson que es un estadístico paramétrico.

- **Hipótesis alterna (H1):** la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal diario en la cuenca del río Ichu.
- **Hipótesis nula (H0):** la información del producto PISCO de precipitación no influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal diario en la cuenca del río Ichu.

Código Fuente 4.2: Prueba de hipótesis en R

```
1 cor_test <- cor.test(Qd_sim, Qd_obs)
2
3 Pearson product-moment correlation
4 data: Qd_sim and Qd_obs
5 t = 39.176, df = 941, p-value < 2.2e-16
6 alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
7 95 percent confidence interval:
8 0.7617948 0.8104476
9 sample estimates:
10 cor
11 0.57215
```

Se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.57215, catalogándose como una correlación positiva moderada. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna, es decir, la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de caudal diario en la cuenca del río Ichu.

4.5.3 Hipótesis específica 02

Se empleó la determinación del coeficiente de Correlación de Pearson que es un estadístico paramétrico.

- **Hipótesis alterna (H1):** la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales mensuales en la cuenca del río Ichu.
- **Hipótesis nula (H0):** la información del producto PISCO de precipitación no influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales mensuales en la cuenca del río Ichu.

Código Fuente 4.3: Prueba de hipótesis en R

```
1 cor_test <- cor.test(Qm_sim, Qm_obs)
2
3 Pearson product-moment correlation
4 data: Qm_sim and Qm_obs
5 t = 7.8823, df = 10, p-value = 1.34e-05
6 alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
7 95 percent confidence interval:
8 0.7578545 0.9800094
9 sample estimates:
```

```
10 cor
11 0.8796
```

Se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson 0.8796, catalogándose como una correlación positiva fuerte. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna, es decir, la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales máximos en diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Ichu.

4.5.4 Hipótesis específica 03

Se empleó la determinación del coeficiente de Correlación de Pearson que es un estadístico paramétrico.

- **Hipótesis alterna (H1):** la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu.
- **Hipótesis nula (H0):** la información del producto PISCO de precipitación no influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu.

Código Fuente 4.4: Prueba de hipótesis t.test in R

```
1 cor_test <- cor.test(Qmax_sim, Qmax_obs)
2
3 Pearson product-moment correlation
4 data: datmax[, 1] and datmax[, 2]
5 t = 1.762, df = 1, p-value = 0.3286
6 alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
7 sample estimates:
8 cor
9 0.6424
```

Se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson 0.6424, catalogándose como una correlación positiva fuerte. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna, es decir, la información del producto PISCO de precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con respecto al resultado de la hipótesis general, autores como Asurza (2017), Paz y Rios (2021), Calle (2016), muestran resultados buenos y muy buenos en la escala de Nash-Suctiffle, evidenciando que la precipitación remota es un producto útil, que sirve como punto de partida en la estimación de caudales, mostrando relevancia en zonas con ausencia de registros pluviométricos. Es así, que los resultados obtenidos del modelo hidrológico distribuido con el software TETIS, previamente calibrados brindan una eficiencia de Nash Suctifle igual a 0.5882 al comparar los caudales observados y simulados. Cabe mencionar que Asurza (2017), Huamán (2018) al emplear productos de precipitación remota obtuvieron resultados similares (buenos y muy buenos).

Con respecto al resultado de la hipótesis específica 01, se concuerda con Clavijo y Salazar (2019), Caro (2015), Huamán (2018), que el modelo hidrológico distribuido representa el ciclo hidrológico con buena estimación de caudales diarios, de la misma forma que la presente investigación obtuvo una correlación positiva moderada entre los caudales diarios observados y caudales simulados - calibrados empleando el software TETIS. Sin embargo, Zubieta (2017) menciona que no muestra capacidad de modelar adecuadamente caudales durante el período de estiaje, ya que se tiene que realizar constantes aforamientos en épocas de estiaje, tál como sugiere TETIS.

Con respecto al resultado de la hipótesis específica 02, es importante considerar que la variable precipitación y caudal son altamente no lineal y muy aleatorias, concordando con Oré (2019). Ya que se obtuvo una correlación positiva fuerte entre los caudales promedio mensuales observados y simulados - calibrados empleando el software TETIS, evidenciando que se obtiene mayores ajustes a escala mensual que diaria concordando con Rodríguez (2021), debido principalmente al balance de las subestimaciones y sobreestimaciones acumuladas en un mes.

Con respecto al resultado de la hipótesis específica 03, se obtuvo una correlación positiva moderada entre los caudales máximos observados y caudales simulados-calibrados empleando productos de precipitación remota en la modelización hidrológica, de tal manera, se concuerda con Zubieta (2017) demostrando la capacidad de estimación adecuada de eventos hidrológicos extremos. Cabe mencionar que es mucho mejor trabajar con mayor data histórica a fin de corroborar con mayor certeza los caudales máximos.

CONCLUSIONES

- La influencia del empleo del producto PISCO de precipitación en la simulación con el modelo hidrológico distribuido TETIS en la cuenca del río Ichu, evidencia que no hay diferencia significativa entre los caudales observados y simulados, complementariamente en la escala del índice de eficiencia Nash - Sutcliffe se obtuvo un valor de 0.5802, catalogándose como un ajuste bueno.
- La influencia del producto PISCO de precipitación en la modelización hidrológica distribuida empleando el software TETIS en la cuenca del río Ichu, evidencia que los caudales diarios observados al ser comparados con los caudales diario simulados-calibrados, corresponden a una correlación positiva moderada con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.57215.
- La influencia del producto PISCO de precipitación en la modelización hidrológica distribuida empleando el software TETIS en la cuenca del río Ichu, evidencia que los caudales mensuales observados al ser comparados con los caudales mensuales simulados-calibrados, corresponden a una correlación positiva fuerte con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.8796.
- La influencia del producto PISCO de precipitación en la modelización hidrológica distribuida empleando el software TETIS en la cuenca del río Ichu, se evidencia que los caudales máximos observados al ser comparados con los caudales máximos simulados-calibrados, corresponden a una correlación positiva moderada con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.6424.

RECOMENDACIONES

- Actualmente la densidad de estaciones meteorológicas e hidrológicas en el territorio peruano y tal como es la cuenca del río Ichu, por su ubicación geográfica, sus condiciones particulares como fisiográfica, geología, geomorfológica, no cubre los radios de influencia para una buena representación meteorológica espacial, por lo que se recomienda hacer uso de información proveniente de sensoramiento remotos, tales como PISCO precipitación.
- Difundir el empleo de precipitación satelital en la modelización hidrológica, ya que mediante una adecuada calibración de parametros se pueden obtener caudales simulados muy semejantes a los caudales reales. A su vez la estimación certera del caudal permite preveer los riesgos de desastre por inundaciones y sequías.
- Al organismo competente, actualizar la data PISCO de precipitación a tiempo real en su versión diaria, ya que tiene grandes aportes en temas relacionados a los recursos hídricos.

Referencias

- Asurza, F. (2017). *Comparación de los productos TRMM Y GPM para el modelamiento hidrológico en la cuenca del río Huancané* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., y Felipe, O. (2017). Uso del producto grillado PISCO de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. *SENAMHI, 1–22*. Descargado de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/260>
- Cachuán, J. (2017). *Modelo hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando el hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del río Shullcas* (Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú). Descargado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3870/CachuanDavila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calle, S. (2016). *Análisis y evaluación de los datos de precipitación de los satélites TRMM y GPM en las 4 macroregiones climáticas de Bolivia* (Tesis Doctoral, Universidad Mayor de San Andrés). Descargado de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9903>
- Carmona, A. (2019). *Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada pisco para las cuencas del río Biabo* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Caro, C. (2015). *Modelación hidrológica distribuida basada en esquemas de volúmenes finitos* (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya). Descargado de <http://hdl.handle.net/10803/398144>

- Chereque, W. (1985). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil* (2.^a ed.). Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chow, V. T., Maidment, D., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (1.a ed.). Bogotá: McGraw-Hill.
- Clavijo, L., y Salazar, J. (2019). *Modelación hidrológica mediante TETIS para el estudio de eventos extremos máximos en la cuenca del río Guayuriba* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Santo Tomás.
- Cruz, E., y Romero, J. (2018). *Análisis comparativo de los modelos lluvia-escorrentía: gr2m, Temez y Lutz-Scholz aplicados en la subcuenca del río Callazas* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Delgado, Y. (2019). *Validación y corrección de la precipitación estimada por satélite del producto CHIRPS, usando el modelo de redes neuronales artificiales en la cuenca del río Vilcanota-Cuzco* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Andina del Cusco.
- Escamilla, V., Puertes, C., y francés, F. (2017). Capacidades del modelo hidrológico TETIS versión 9. *Jornadas Ing. del Agua*, 14. Descargado de <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2017/wp-content/uploads/ponencias/tema{-}B/b21.pdf>
- Gonzales, A., Oseda, D., Ramíres, F., y Gave, J. (2011). *¿Cómo Aprender y Enseñar Investigación Científica?* (1.^a ed.). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Group, W. B. (2022). *Measuring Precipitation: on the ground and from space*. Descargado 2022-02-27, de <https://olc.worldbank.org/sites/default/files/sco/E7B1C4DE-C187-5EDB-3EF2-897802DEA3BF/Nasa/chapter2.html>

- Huamán, R. (2018). *Respuesta Hidrológica distribuida mediante precipitación por satélite TRMM en la cuenca río Mantaro* (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Huancavelica). Descargado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1802>
- Mamani, C. (2021). *Comparación de las precipitaciones medias mensuales utilizando sistemas de información de las imágenes satelitales espaciales con las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ilave* (Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria la Molina). Descargado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/15170>
- Mccuen, R. (2004). *Hydrologic Analysis and Design* (3.^a ed.). Prentice Hall.
- Méndez, R. (2014). *Implementación de nuevas ecuaciones de separación de flujo base para la modelación del volumen de escorrentía al método de estimación de crecientes desarrollado por Coronado a Triana* (Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica de Bolívar). Descargado de <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0067427.pdf>
- Oré, R. (2019). *Predicción de caudales mediante redes neuronales artificiales empleando información de sensores remotos en la cuenca experimental del río Ichu* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional de Huancavelica.
- Paz, M., y Rios, D. (2021). *Estimación de precipitación mediante el empleo de imágenes satelitales* (Tesis Doctoral, Universidad Católica de Córdoba). Descargado de <http://pa.bibdigital.uccor.edu.ar/2959/1/TF{-}Paz{-}Rios.pdf>
- Ponce, V. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices* (1.^a ed.). Prentice Hall.
- Ramos, C. (2012). *Métodos de análisis en recursos hídricos* (1.a ed.). Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Rivadeneira, S. (2019). *Corrección de estimaciones de precipitación por satélite GPM-IMERG usando técnica de mezcla sobre las cuencas Chillón, Rímac y Lurín* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Rodriguez, J. (2021). *Validación de los productos TRMM y CHIRPS para la intercuenca alto Apurimac* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (4.^a ed.). México: Editorial Limusa. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Vieux, B. (2008). Distributed Hydrologic Modeling. En S. Shekhar y H. Xiong (Eds.), *Encycl. gis* (pp. 250–254). Boston, MA: Springer US. Descargado de <https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1{-}317> doi: 10.1007/ 978-0-387-35973-1 317
- Villavicencio, E. (2019). *Datos de precipitación y temperatura en zonas de escasa información de la región ancash período 2012-2017, 2019* (Tesis Doctoral, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo). Descargado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4356/T003{-}45710128{-}T.pdf?sequence=1{&}isAllowed=y>
- Zubieta, R. (2017). *Estimación de concentración de lluvia diaria y eventos hidrológicos extremos en cuencas andino-amazónicas empleando precipitación basada en satélites* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional Agraria la Molina.

Anexos.

Anexo	Descripción
A1	Panel fotográfico
A2	Matriz de consistencia
A3	Matriz de operacionalización de variables
A3	Precipitación - PISCOp
A4	Caudales - Estación hidrométrica

A1.-Panel fotográfico.



En la presente fotografía se puede apreciar la verificación de niveles de agua producto de caudales máximos en el punto de interés



En la presente fotografía se puede apreciar la importancia de la adecuada estimación de caudales máximos



En la presente fotografía se puede apreciar la importancia de la adecuada estimación del caudal en el diseño de estructuras hidráulicas



En la presente fotografía se muestra la estación hidrométrica en el punto de interés de la cuenca del río Ichu

A2.- Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Marco teórico	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
<p>Problema general: ¿De qué manera la información del producto PISCO influye en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu - Huancavelica?</p>	<p>Objetivo general: Determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu.</p>	<p>1. Antecedentes A nivel internacional: Universidad Católica de Córdoba – Argentina (2021): Paz y Ríos “<i>Estimación de la precipitación mediante empleo de imágenes</i>”. Universidad Santo Tomás- Colombia. (2019): Clavijo y Salazar “<i>Modelación Hidrológica mediante TETIS para el estudio de eventos extremos máximos en la cuenca del río Guayuriba</i>”. Universidad Mayor de San Andrés - Bolivia (2016) Calle (2016) “<i>Análisis y evaluación de los datos de precipitación de los satélites TRMM y GPM en las 4 macrorregiones climáticas de Bolivia</i>”. B nivel nacional: Universidad Nacional Agraria La Molina-Perú. (2021): Mamani “<i>Comparación de las precipitaciones medias mensuales, utilizando sistema de información de las imágenes satelitales espaciales, con las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Illave-Puno</i>”. Universidad Nacional Agraria La Molina-Perú. (2021): Carmona “<i>Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada PISCO para las cuencas del río Biabo</i>”. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo- Perú. (2019): Villavicencio “<i>Datos de precipitación y temperatura en zonas de escasa información de la región Ancash período 201-2017,2019</i>”. C nivel local: - Huamán (2018), en su tesis titulada: “<i>Respuesta Hidrológica distribuida mediante precipitación por satélite TRMM en la cuenca río Mantaro</i>”, desarrollado en la Universidad Nacional de Huancavelica – Perú.</p> <p>2. Marco teórico referencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación satelital • Modelo hidrológico distribuido • Modelo lluvia-escorrentía 	<p>Hipótesis general: La información del producto PISCO influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido en cuenca del río Ichu.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La información del producto PISCO precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión caudal diario en la cuenca del río Ichu. 2. La información del producto PISCO precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión caudal mensual en la cuenca del río Ichu. 3. La información del producto PISCO precipitación influye favorablemente en el modelamiento hidrológico distribuido de la dimensión caudales máximos en la cuenca del río Ichu. 	<p>Variable independiente: Producto PISCO precipitación (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations) por sus siglas en inglés. Aybar (2017) Dimensiones: 1: Precipitación diaria 2: Precipitación mensual</p> <p>Variable dependiente: Modelo Hidrológico Distribuido Clavijo (2019) Dimensiones: 1: Caudal diario 2: Caudal mensual 3: Caudal máximos</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo.</p> <p>Diseño de Investigación: Experimental</p> <p>Población y Muestra: Población: 943 datos de caudales diarios (m3/s) registrados en la estación hidrométrica de la cuenca del río Ichu, región Huancavelica. Muestra: Se considera la población igual a la muestra, ya que se quiere generalizar utilizando toda la formación disponible. (943 datos de caudales diarios registrados en la estación hidrométrica de la cuenca del río Ichu.) Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos Técnicas: conjunto de reglas y procedimientos que permiten al investigador establecer la relación con el objeto o sujeto de la investigación. -Revisión bibliográfica. Instrumentos: Mecanismo que usa el investigador para recolectar y registrar los datos. - Softwares de lenguaje de programación. Técnicas Estadísticas de Análisis y Procesamiento de Datos: Para evaluar los datos observados y simulados se utilizará el coeficiente de eficiencia de Nash, coeficiente de determinación y coeficiente de correlación.</p>
<p>Problemas específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido en la dimensión caudal diario en la cuenca del río Ichu? 2. ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en el modelamiento hidrológico distribuido en la dimensión del caudal mensual en la cuenca del río Ichu? 3. ¿De qué manera la información del producto PISCO precipitación influye en la determinación de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido en la dimensión de caudal diario en la cuenca del río Ichu. 2. Establecer la influencia de la información del producto PISCO precipitación en la determinación de la dimensión caudal mensual en la cuenca del río Ichu. 3. Determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en la determinación de los caudales máximos en la cuenca del río Ichu. 				

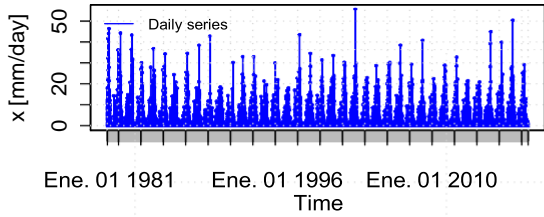
Dante Yassef Quintana Villa

Variab	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable independiente: PRODUCTO PISCO PRECIPITACIÓN	Es el producto satelital de estimación de lluvias para obtener una base de datos grillada a nivel nacional de alta resolución espacial (Aybar,2017)	Es una fuente de información grillada a nivel nacional, el cuál muestra valores de precipitación diaria .	Precipitación diaria	Altura de precipitación (mm)	Observación directa (Sensor remoto) (Anexo 4)
Variable dependiente: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO	Es el uso de mapas de parámetros derivados de datos geoespaciales para simular procesos hidrológicos, tomando en consideración los componentes del balance hídrico (Vieux,2008).	Es el modelo hidrológico distribuido que trabaja con información grillada de la superficie terrestre a fin de representar el proceso hidrológico.	Caudal diario Caudal mensual Caudal máximo	Volumen de flujo por unidad de tiempo (m ³ /s) Volumen de flujo por unidad de tiempo (m ³ /s) Volumen de flujo por unidad de tiempo (m ³ /s)	Observación directa (Estación hidrométrica) (Anexo 5)

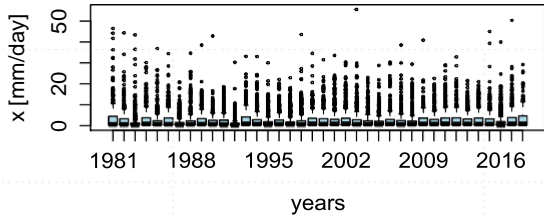
A4.- Precipitación - PISCOP

Fuente: SENAMHII HSR PISCO Prec v1p0

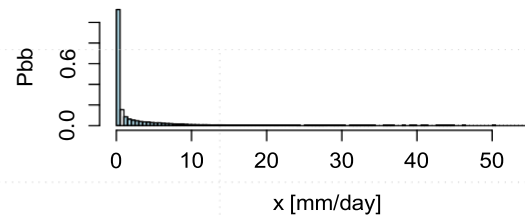
Daily time series Estation-1



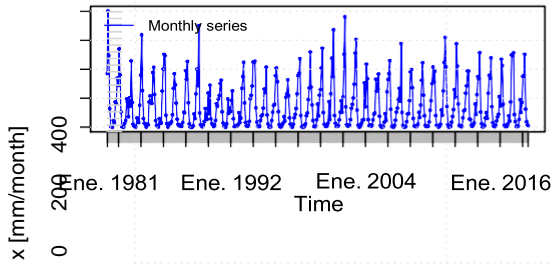
Daily Boxplot Estation-1



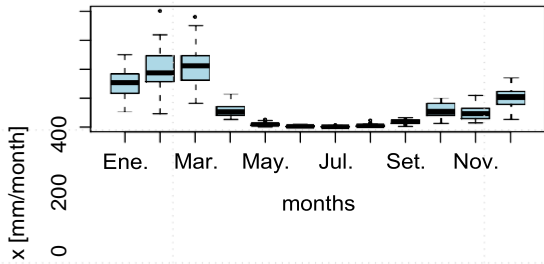
Daily Histogram Estation-1



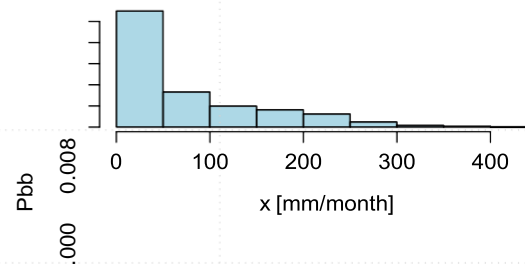
Monthly time series Estation-1



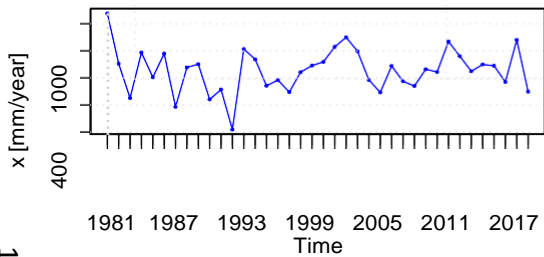
Monthly Boxplot Estation-1



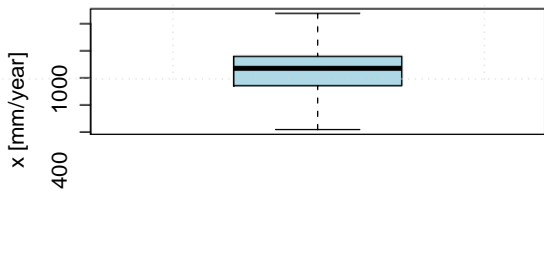
Monthly Histogram Estation-1



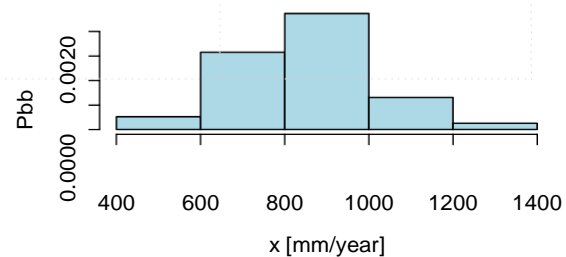
Annual time series Estation-1

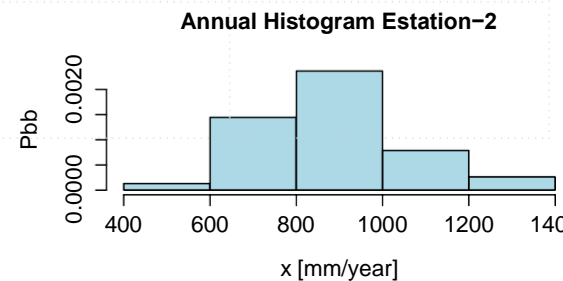
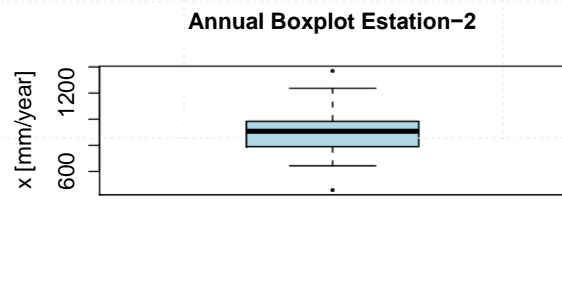
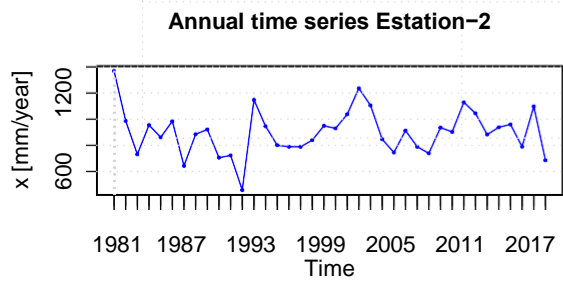
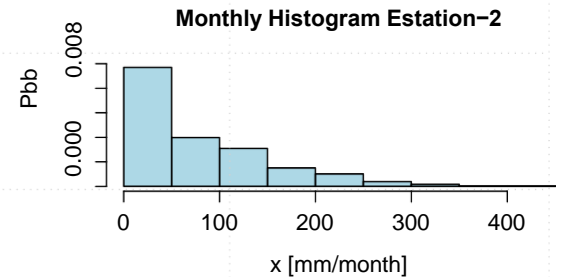
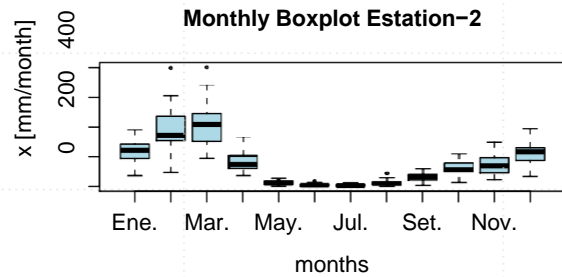
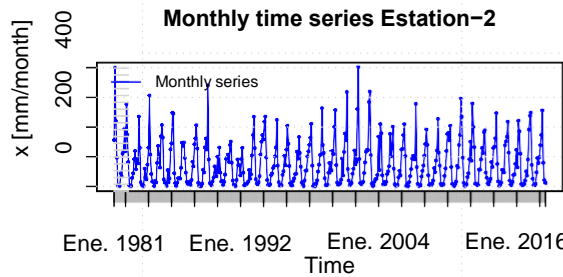
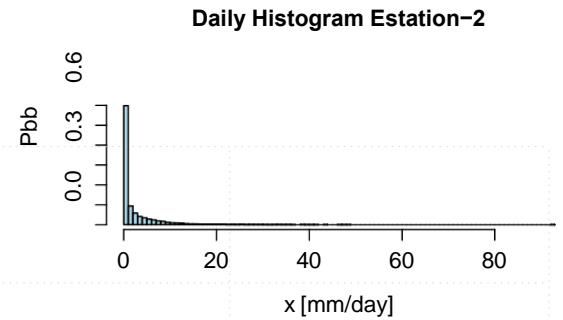
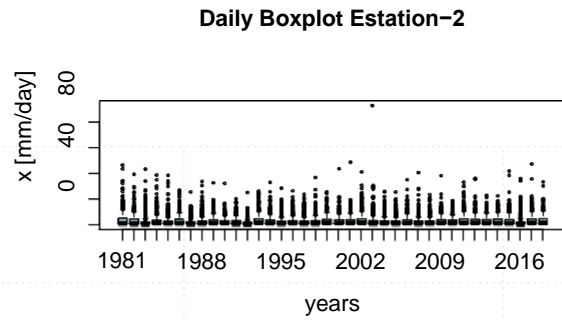
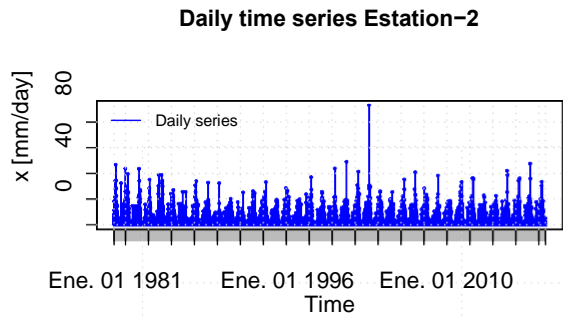


Annual Boxplot Estation-1

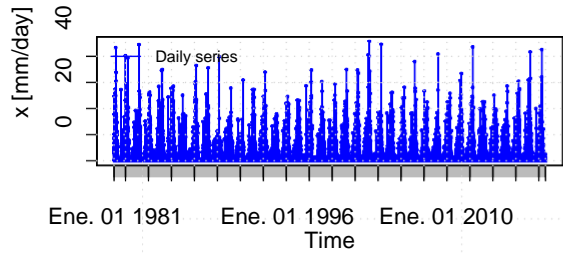


Annual Histogram Estation-1

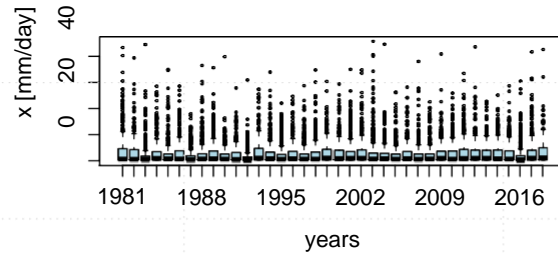




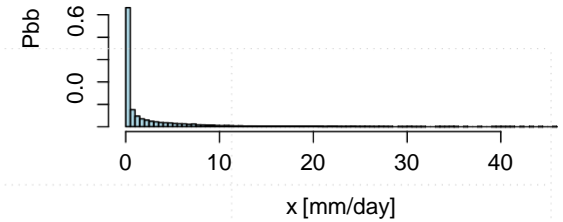
Daily time series Estation-3



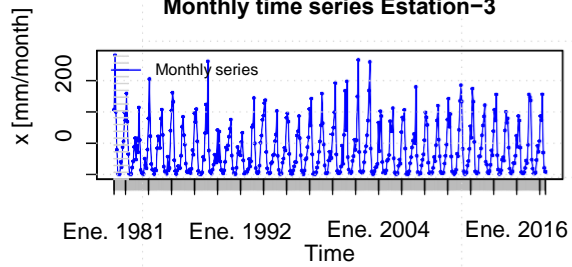
Daily Boxplot Estation-3



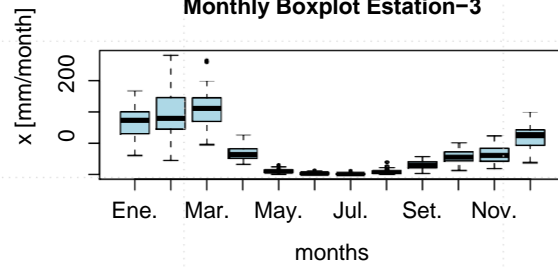
Daily Histogram Estation-3



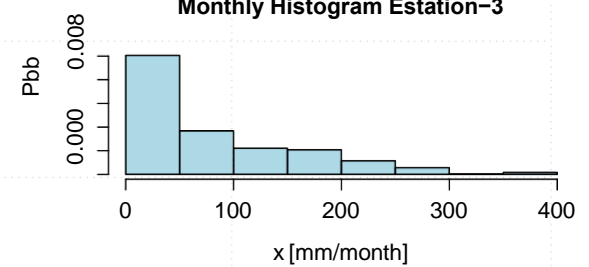
Monthly time series Estation-3



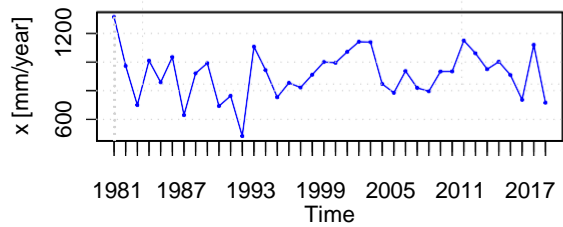
Monthly Boxplot Estation-3



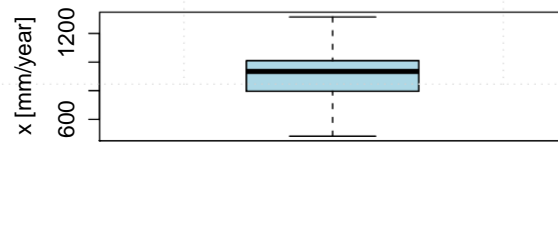
Monthly Histogram Estation-3



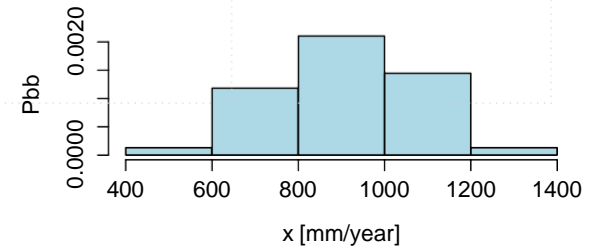
Annual time series Estation-3



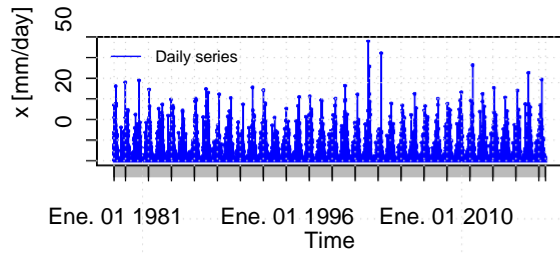
Annual Boxplot Estation-3



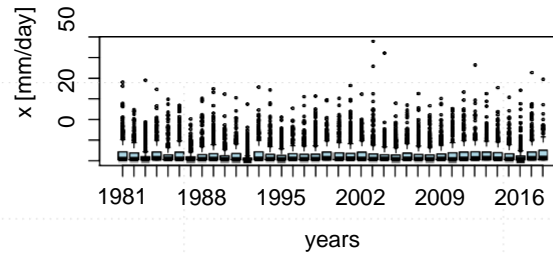
Annual Histogram Estation-3



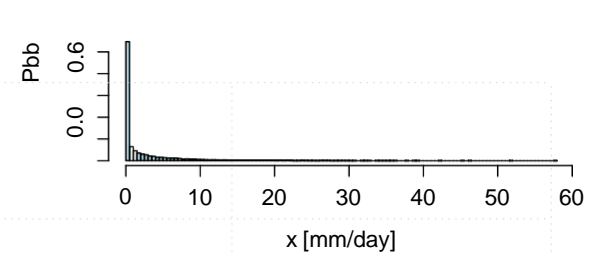
Daily time series Estation-4



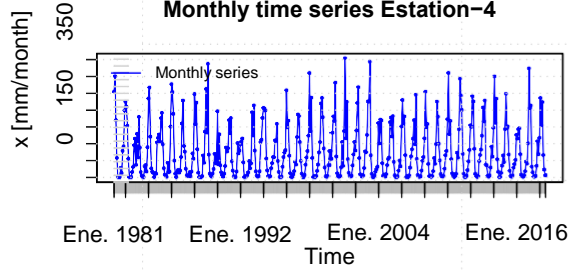
Daily Boxplot Estation-4



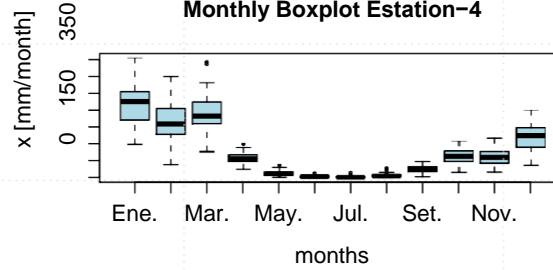
Daily Histogram Estation-4



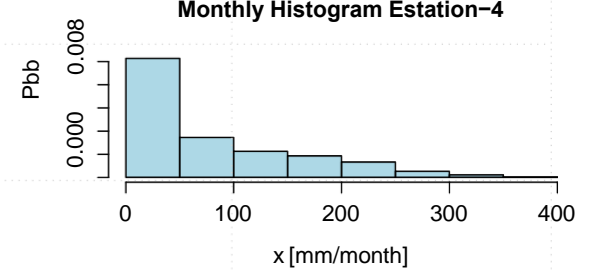
Monthly time series Estation-4



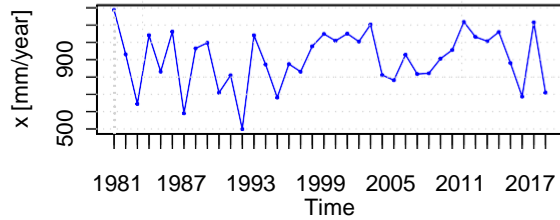
Monthly Boxplot Estation-4



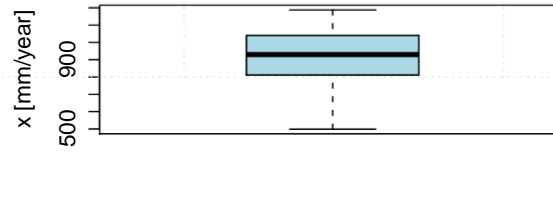
Monthly Histogram Estation-4



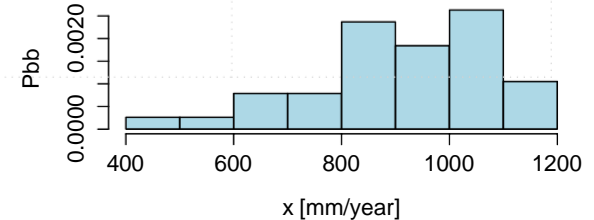
Annual time series Estation-4

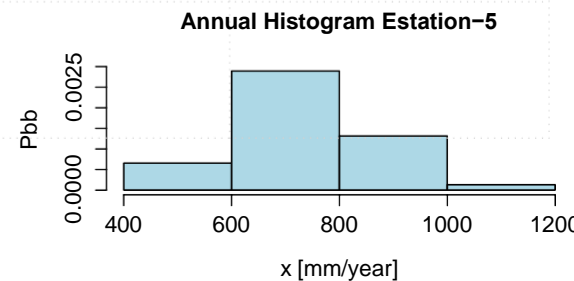
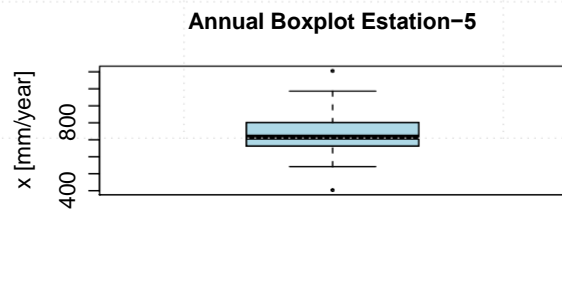
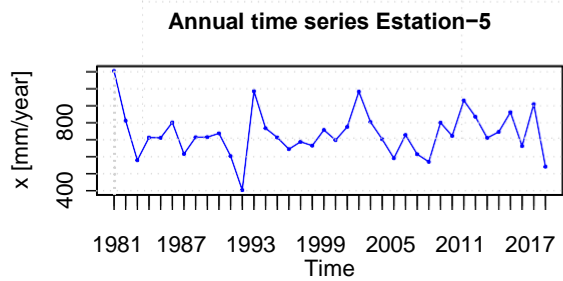
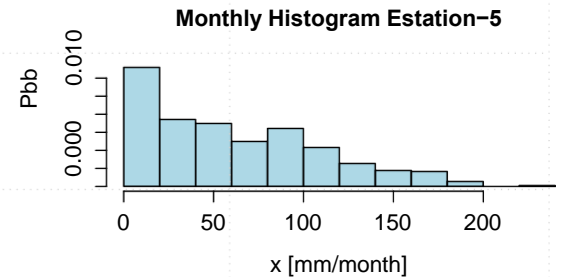
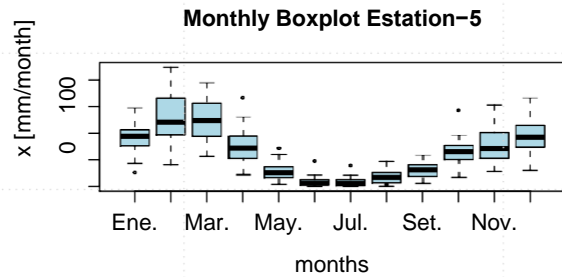
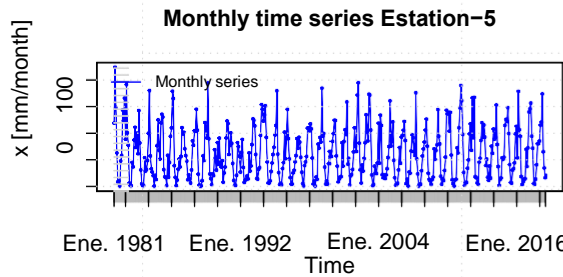
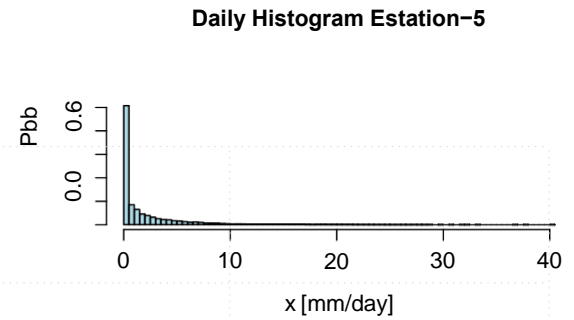
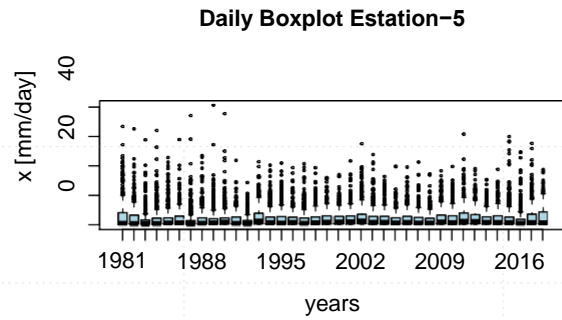
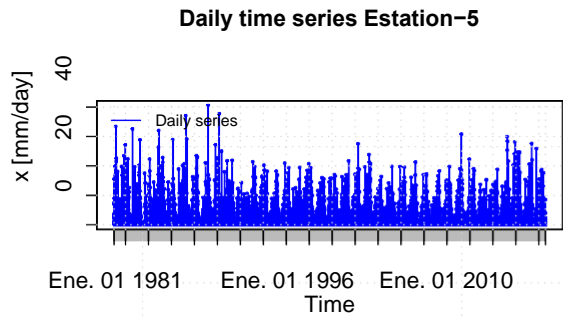


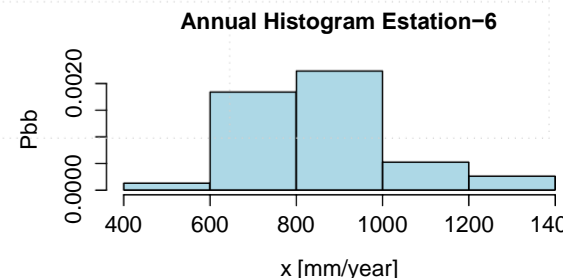
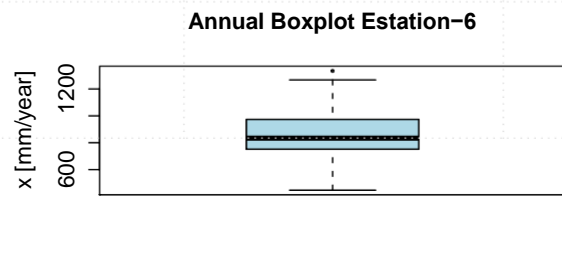
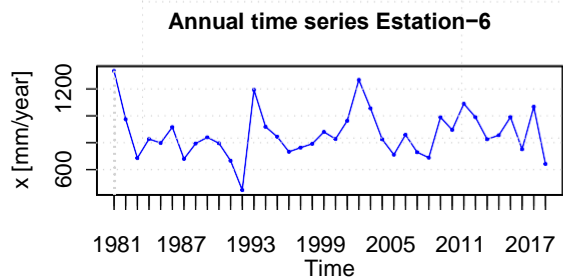
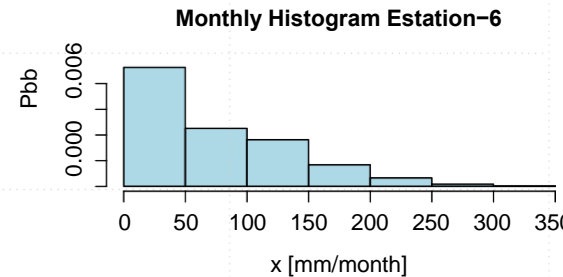
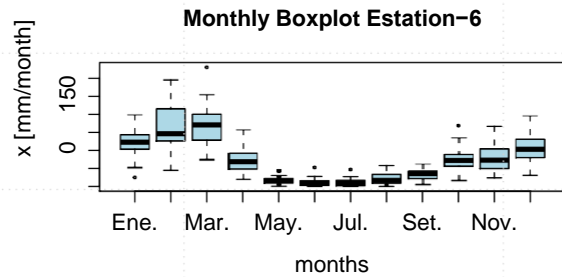
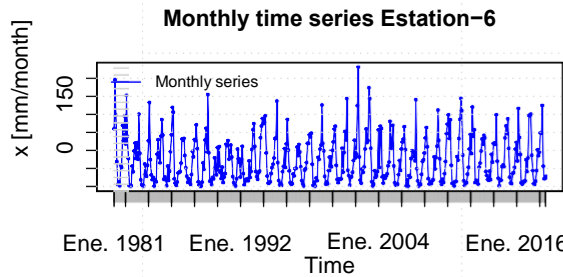
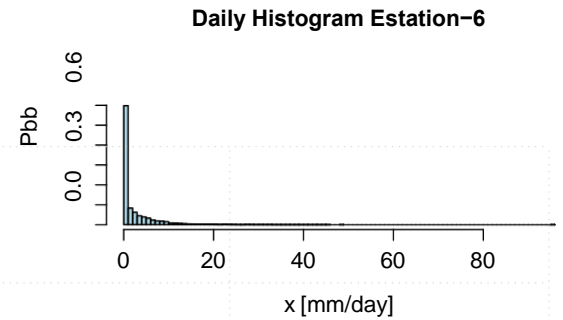
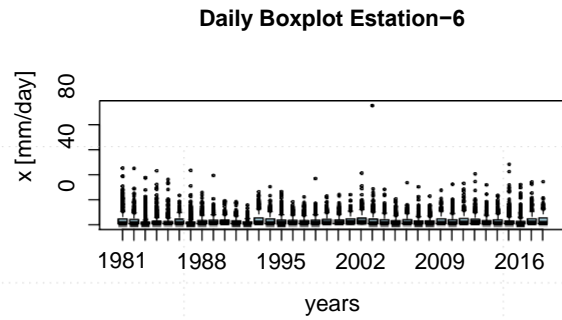
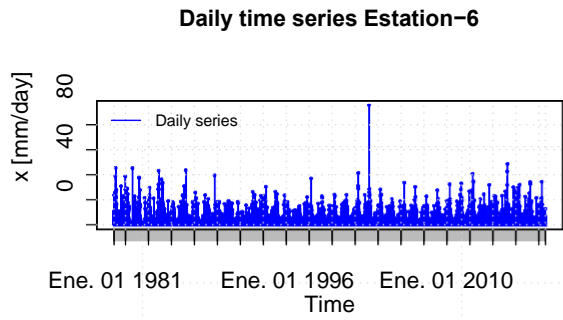
Annual Boxplot Estation-4



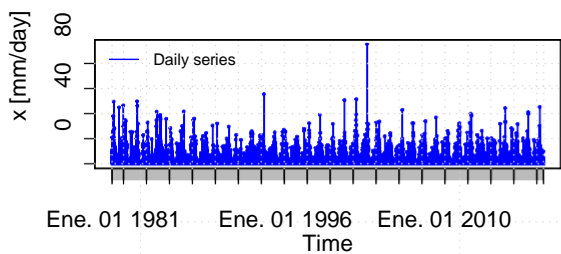
Annual Histogram Estation-4



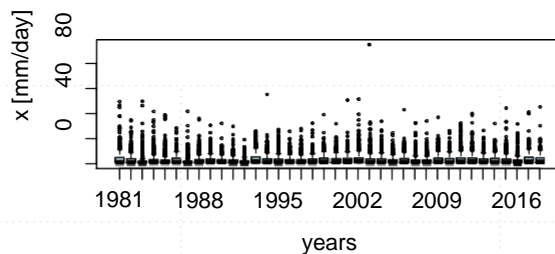




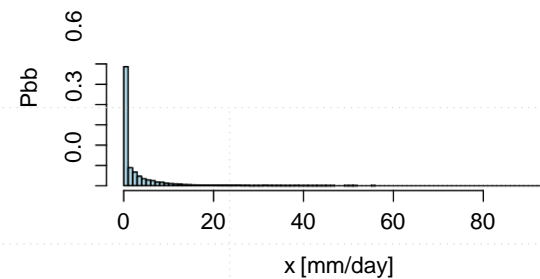
Daily time series Estation-7



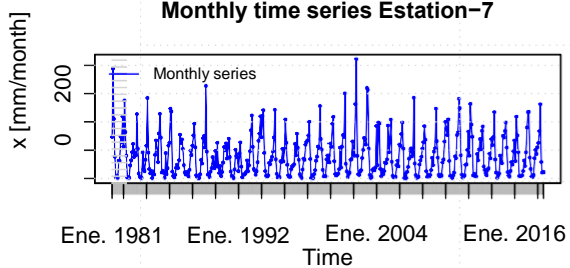
Daily Boxplot Estation-7



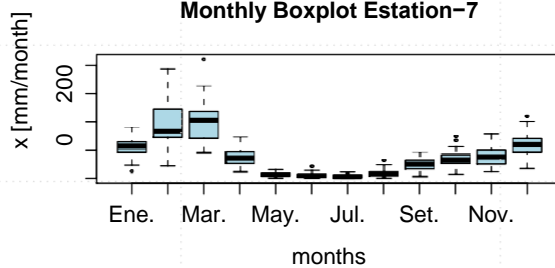
Daily Histogram Estation-7



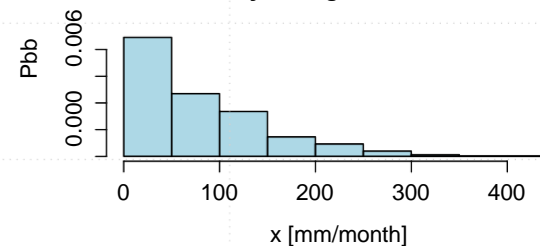
Monthly time series Estation-7



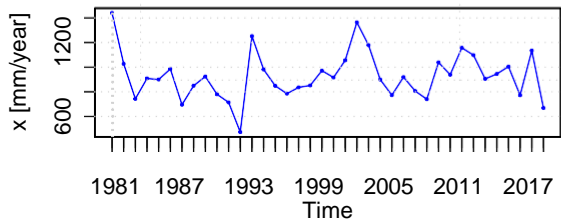
Monthly Boxplot Estation-7



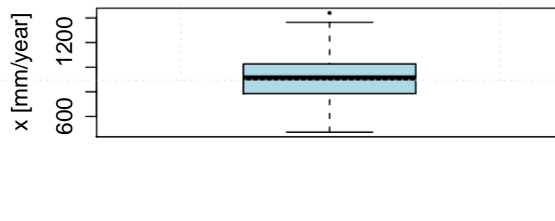
Monthly Histogram Estation-7



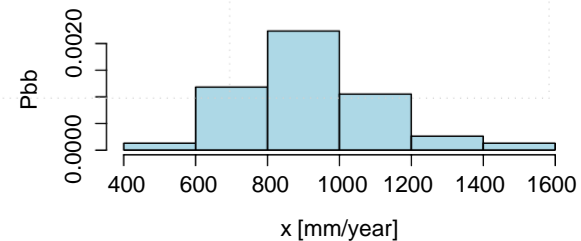
Annual time series Estation-7



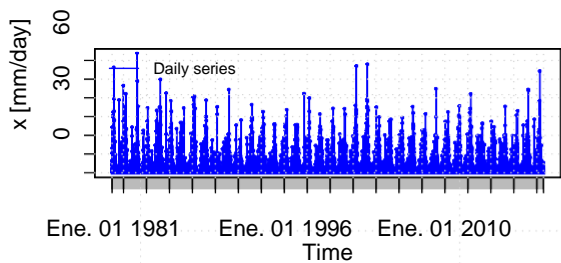
Annual Boxplot Estation-7



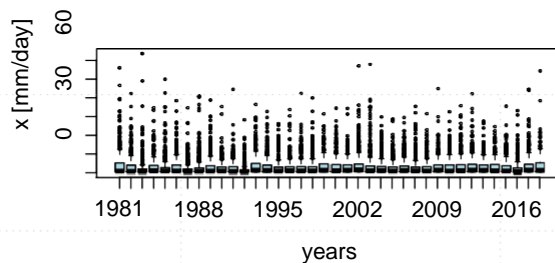
Annual Histogram Estation-7



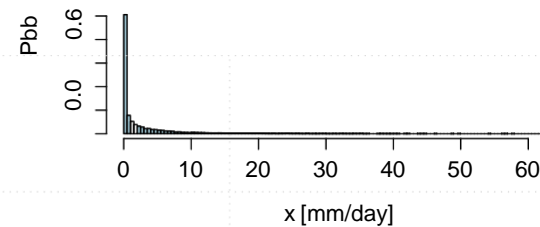
Daily time series Estation-8



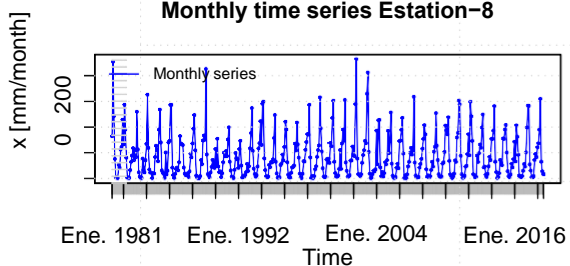
Daily Boxplot Estation-8



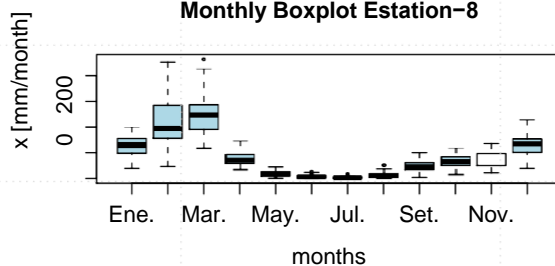
Daily Histogram Estation-8



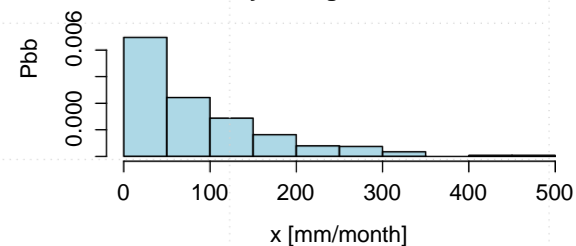
Monthly time series Estation-8



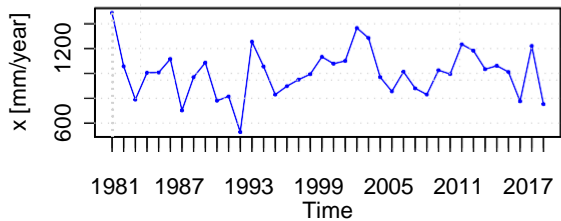
Monthly Boxplot Estation-8



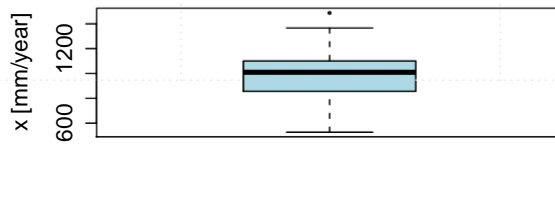
Monthly Histogram Estation-8



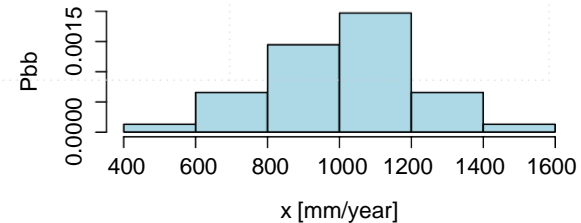
Annual time series Estation-8



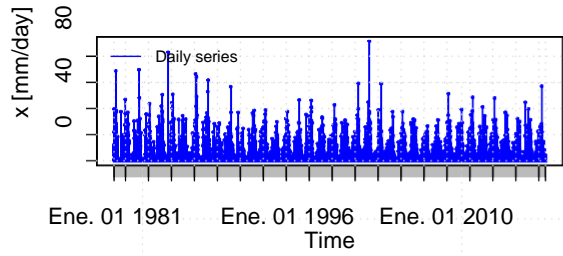
Annual Boxplot Estation-8



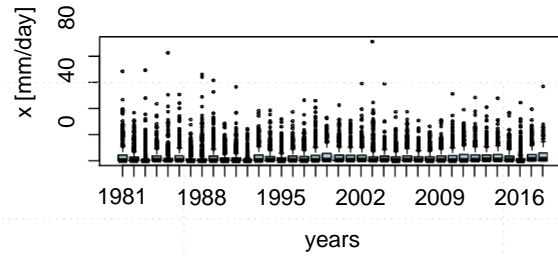
Annual Histogram Estation-8



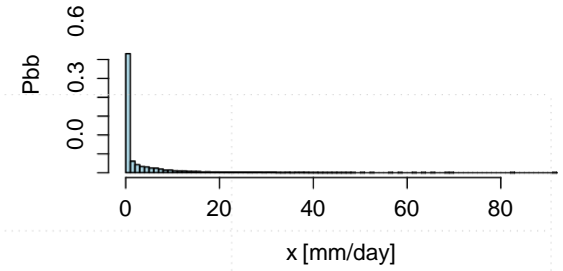
Daily time series Estation-9



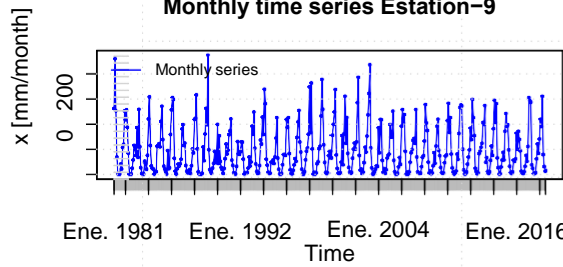
Daily Boxplot Estation-9



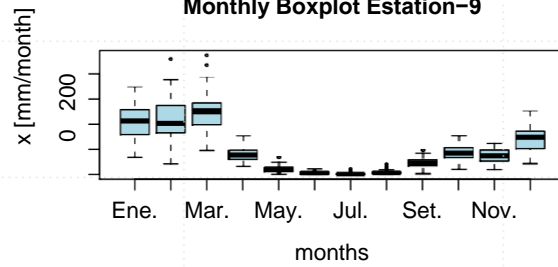
Daily Histogram Estation-9



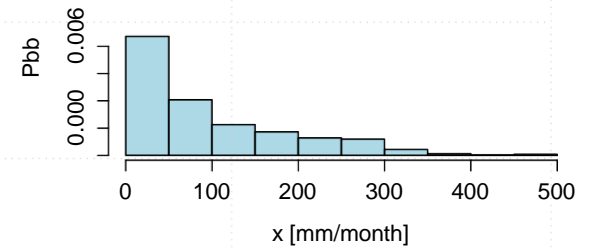
Monthly time series Estation-9



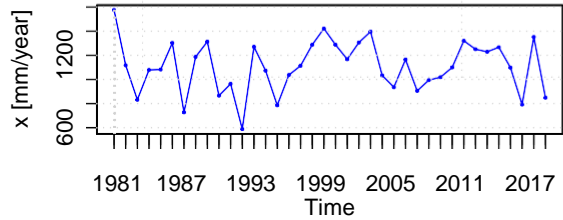
Monthly Boxplot Estation-9



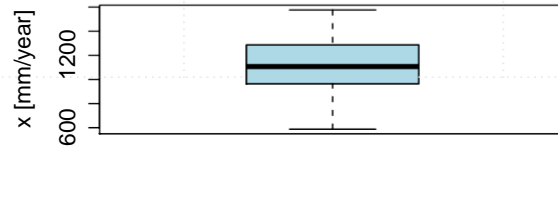
Monthly Histogram Estation-9



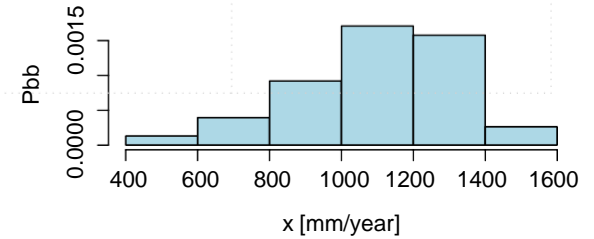
Annual time series Estation-9



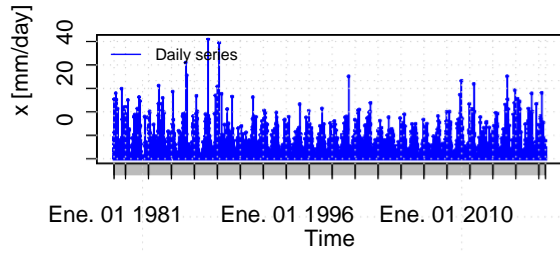
Annual Boxplot Estation-9



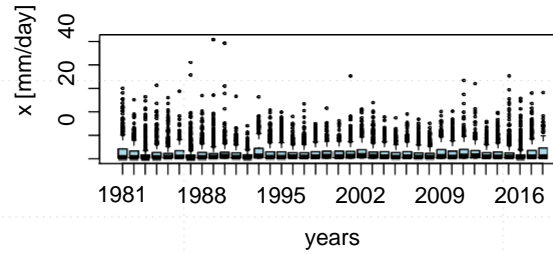
Annual Histogram Estation-9



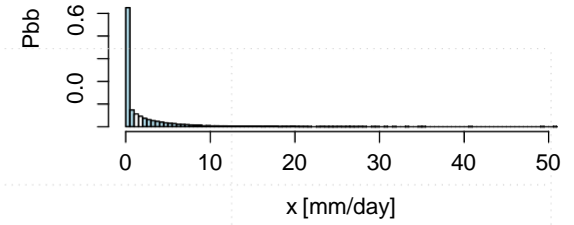
Daily time series Estation-10



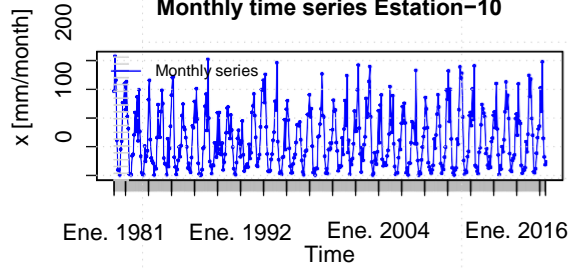
Daily Boxplot Estation-10



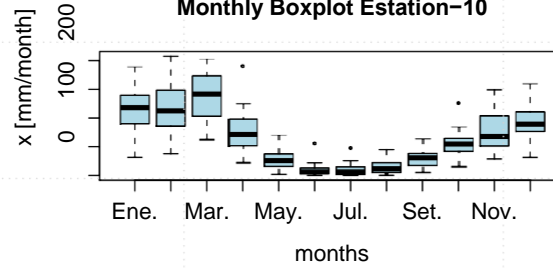
Daily Histogram Estation-10



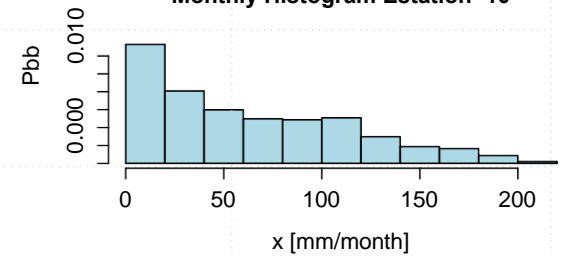
Monthly time series Estation-10



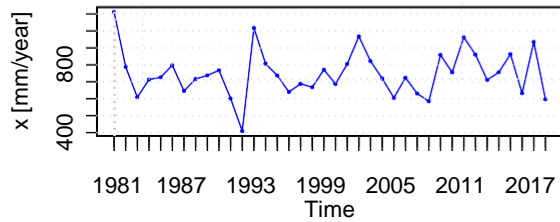
Monthly Boxplot Estation-10



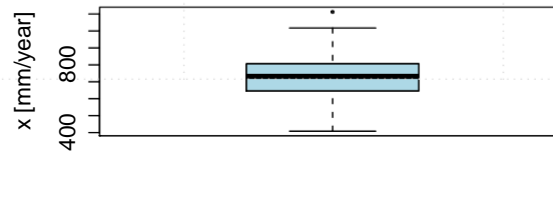
Monthly Histogram Estation-10



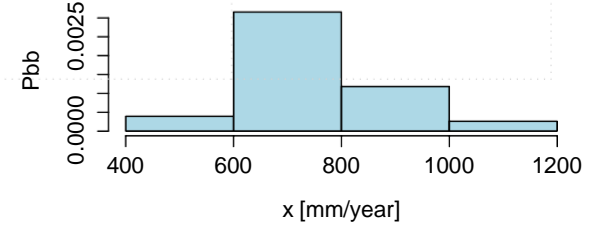
Annual time series Estation-10



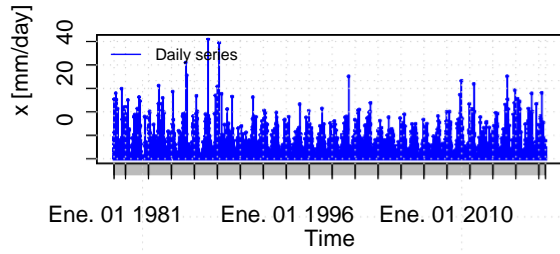
Annual Boxplot Estation-10



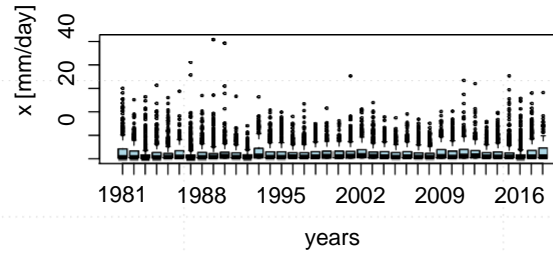
Annual Histogram Estation-10



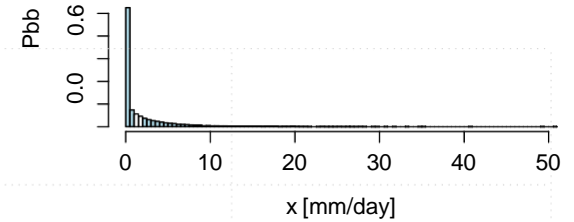
Daily time series Estation-11



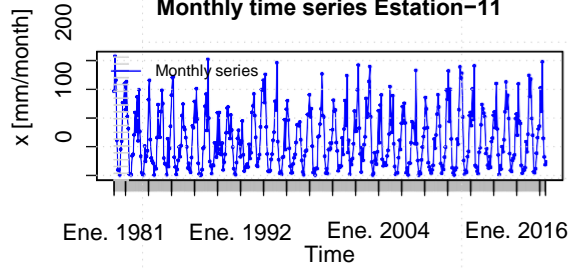
Daily Boxplot Estation-11



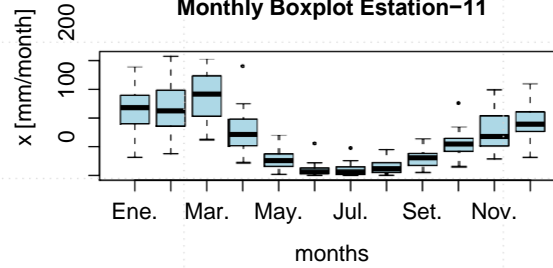
Daily Histogram Estation-11



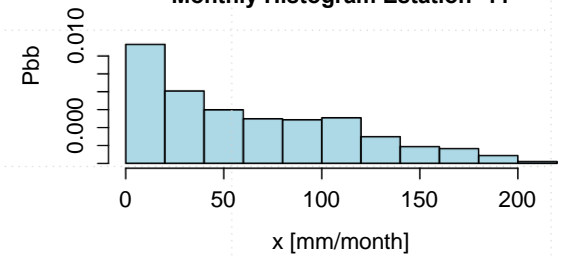
Monthly time series Estation-11



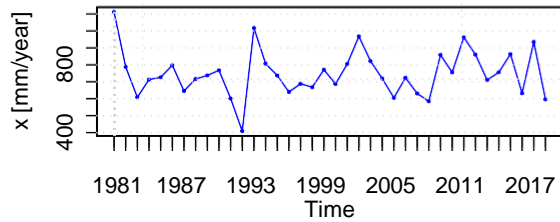
Monthly Boxplot Estation-11



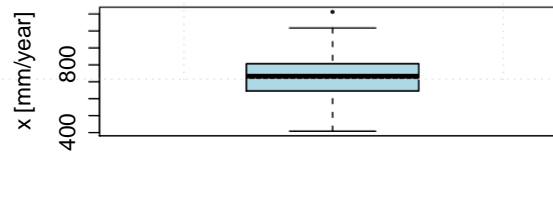
Monthly Histogram Estation-11



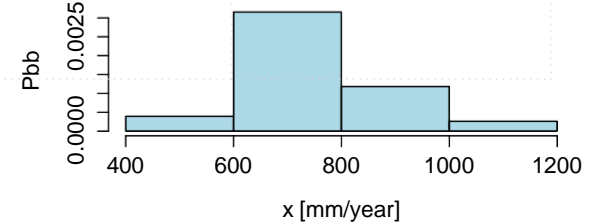
Annual time series Estation-11

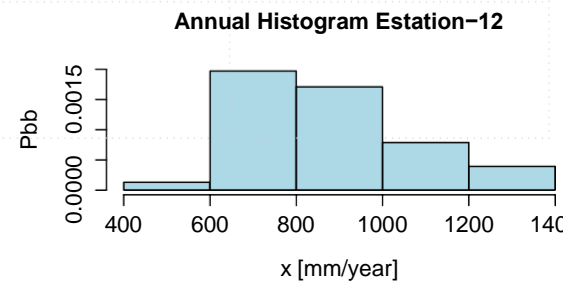
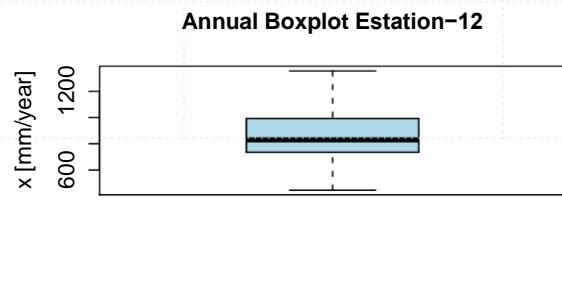
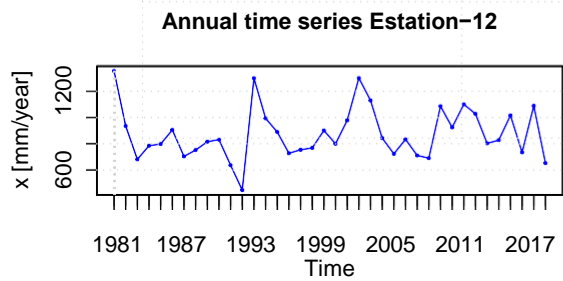
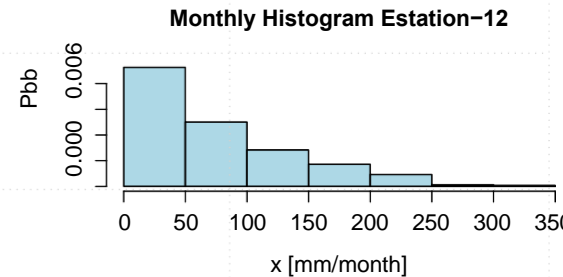
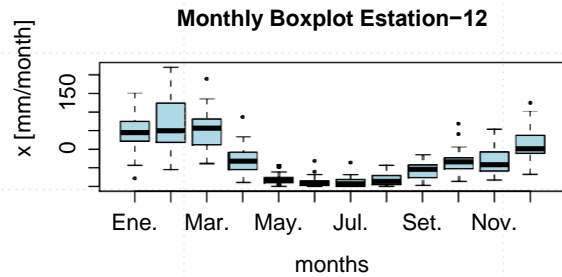
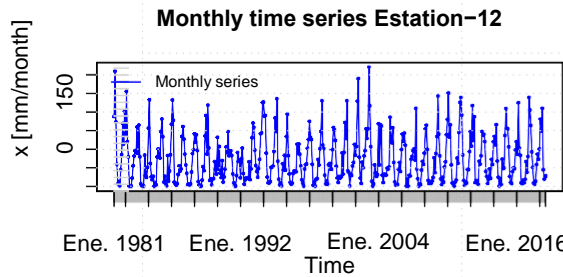
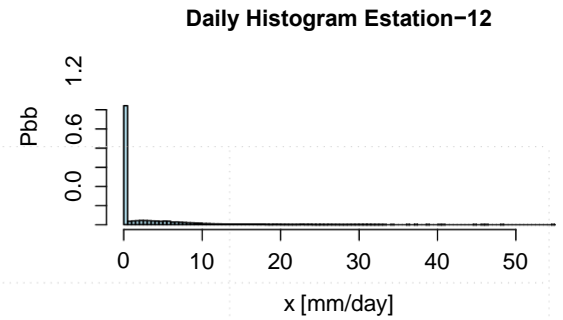
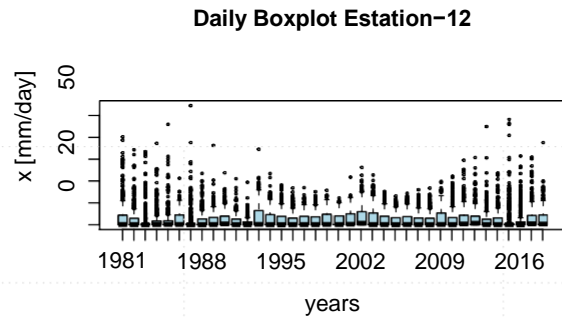
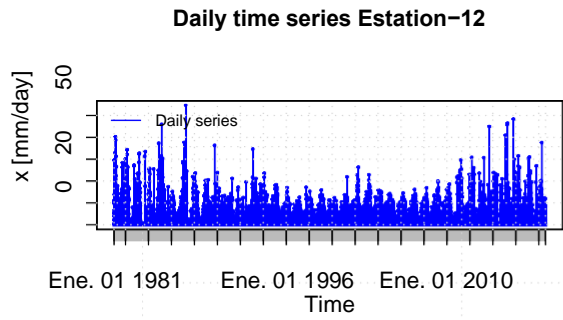


Annual Boxplot Estation-11

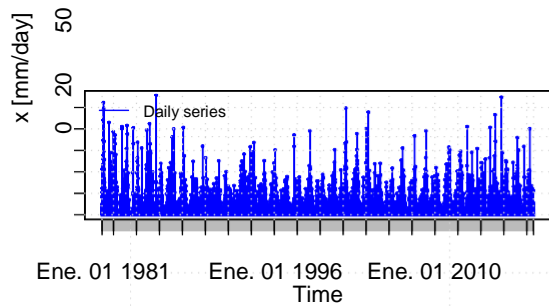


Annual Histogram Estation-11

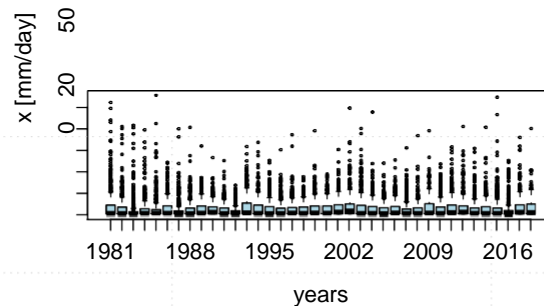




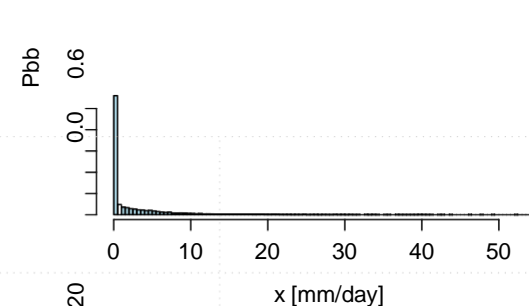
Daily time series Estation-13



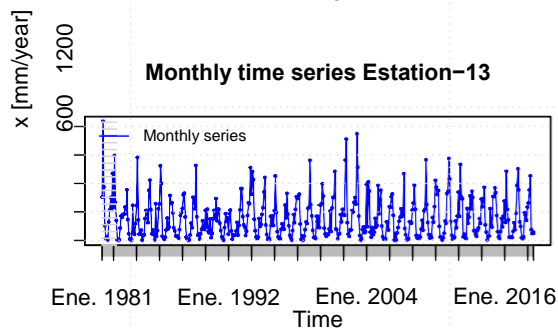
Daily Boxplot Estation-13



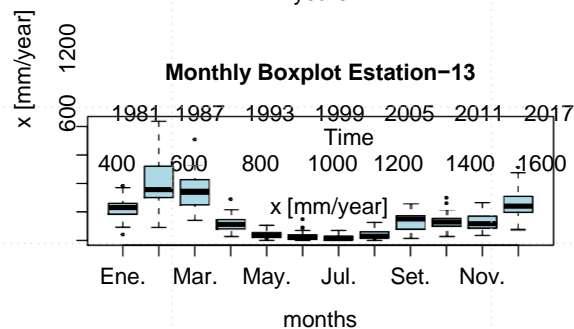
Daily Histogram Estation-13



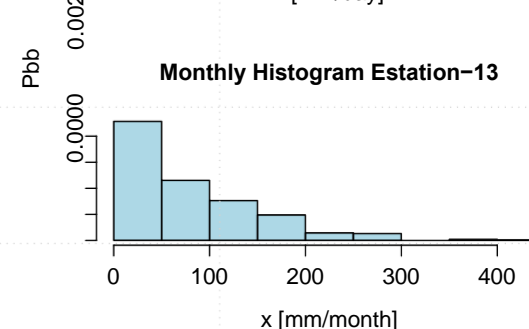
Monthly time series Estation-13



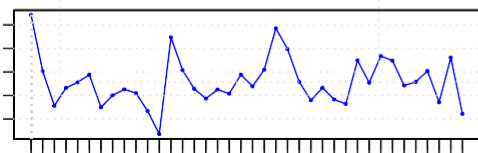
Monthly Boxplot Estation-13



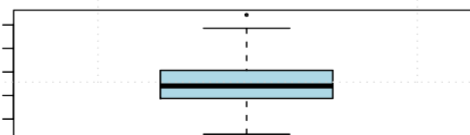
Monthly Histogram Estation-13



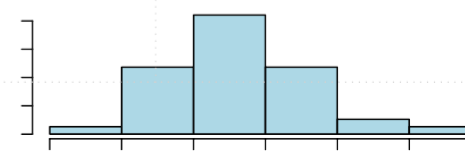
Annual time series Estation-13



Annual Boxplot Estation-13



Annual Histogram Estation-13





ESTACIÓN HIDROLÓGICA - HUANCAVELICA

"PROYECTO FOCAM : CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE HUANCAVELICA REGIÓN HUANCAVELICA".



Estación : Huancavelica
 Latitud : -12.78462° S
 Longitud : -74.97218° W
 Altitud : 3,678 mmsm
 Parametros : Caudal (m3/seg)

Dpto. : Huancavelica
 Prov. : Huancavelica
 Dist. : Huancavelica
 Lugar: : Santa Ana
 Mes : Abril - 2016

A5.- Caudales - Estación hidrométrica

CAUDAL - Metros Cúbicos / segundos																								
Día	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9	13.29	14.69	13.34	12.97	12.69	12.51	12.51	11.89	11.49	11.54	10.61	10.41	10.04	9.81	9.77	9.46	9.42	9.27	9.61	9.31	10.57	10.94	15.91	21.15
10	22.26	22.32	21.09	19.37	17.84	16.70	15.45	15.04	14.20	13.44	12.74	12.51	11.97	11.62	11.49	11.58	11.58	11.89	12.78	12.78	14.54	15.55	16.65	16.38
11	16.81	16.38	15.86	14.74	13.96	13.44	12.42	12.11	11.80	11.11	10.82	10.61	10.12	9.77	9.65	9.23	9.01	8.78	8.21	7.97	7.80	7.49	7.36	6.97
12	6.79	6.76	6.57	6.39	6.54	6.48	6.48	6.48	6.36	6.27	6.18	6.18	6.18	6.10	5.95	6.10	5.87	5.62	5.59	5.57	5.30	5.27	5.22	5.27
13	5.09	4.89	4.97	4.84	4.80	4.77	4.92	4.84	4.87	4.77	4.80	4.75	4.72	4.70	4.58	4.68	4.56	4.33	4.31	4.38	4.26	4.18	4.15	4.05
14	4.01	3.96	3.96	3.88	3.92	3.92	3.90	4.01	4.03	4.03	3.99	4.01	4.03	4.03	3.92	4.01	3.96	4.18	4.05	3.99	3.86	3.76	3.70	3.68
15	3.64	3.64	3.57	3.59	3.51	3.49	3.51	3.51	3.46	3.46	3.46	3.48	3.48	3.51	3.44	3.46	3.46	3.44	3.46	3.40	3.44	3.38	3.38	3.38
16	3.33	3.28	3.38	3.26	3.26	3.28	3.28	3.30	3.28	3.33	3.38	3.57	3.59	3.57	3.68	3.82	3.90	4.11	4.31	4.33	4.31	4.13	3.90	4.11
17	4.13	4.47	4.72	4.84	4.75	4.63	4.56	4.61	4.47	4.56	4.38	4.26	4.18	4.24	4.05	4.03	4.09	4.09	4.01	4.01	3.99	4.03	4.01	3.92
18	3.88	3.86	3.84	3.84	3.88	3.84	3.84	3.86	3.78	3.82	3.86	3.90	3.88	3.90	4.03	4.11	4.18	4.26	4.15	4.18	4.09	4.13	4.54	4.72
19	4.97	5.38	5.90	6.45	6.97	6.66	6.36	6.21	6.51	6.48	6.57	6.54	6.30	6.21	6.07	5.90	5.76	5.70	5.90	5.93	6.36	6.91	6.76	6.76
20	10.24	9.69	8.78	8.46	7.97	7.43	7.20	7.23	6.79	6.57	6.54	6.30	6.21	6.07	5.90	5.76	5.70	5.90	5.93	6.36	6.91	6.76	6.72	6.76
21	7.13	7.39	8.04	8.07	7.80	7.59	7.36	6.97	6.91	6.48	6.45	5.98	6.07	5.93	5.79	5.65	5.54	5.43	5.17	5.20	5.17	5.43	6.18	7.10
22	7.63	8.97	9.54	10.41	10.20	10.12	9.77	9.46	8.89	8.53	8.07	7.83	7.56	7.33	7.10	7.07	7.10	7.23	7.20	7.53	7.63	7.56	7.13	7.13
23	6.76	6.57	6.57	6.30	6.21	6.13	5.93	5.93	5.73	5.65	5.81	5.65	5.43	5.46	5.38	5.27	5.27	5.22	5.38	5.02	4.97	4.77	4.75	4.68
24	4.31	4.44	4.18	4.09	4.09	4.01	4.11	4.05	3.90	4.01	4.05	3.92	3.96	3.90	3.90	3.88	3.84	3.76	3.74	3.68	3.63	3.61	3.51	3.53
25	3.44	3.49	3.38	3.28	3.30	3.23	3.26	3.24	3.23	3.21	3.18	3.21	3.21	3.16	3.11	3.16	3.11	3.21	3.05	2.94	3.03	2.97	2.94	2.95
26	3.01	2.97	2.91	2.89	2.85	2.82	2.82	2.82	2.83	2.76	2.76	2.76	2.74	2.70	2.70	2.73	2.76	2.85	2.76	2.76	2.72	2.68	2.60	2.66
27	2.60	2.66	2.66	2.58	2.57	2.54	2.58	2.57	2.54	2.53	2.54	2.53	2.53	2.51	2.54	2.51	2.56	2.68	2.56	2.54	2.54	2.53	2.49	2.49
28	2.49	2.49	2.49	2.48	2.47	2.47	2.46	2.43	2.47	2.42	2.33	2.34	2.33	2.34	2.34	2.41	2.34	2.33	2.34	2.38	2.35	2.35	2.34	2.31
29	2.28	2.31	2.30	2.30	2.27	2.28	2.27	2.28	2.31	2.27	2.25	2.25	2.26	2.22	2.26	2.22	2.28	2.24	2.24	2.26	2.26	2.25	2.22	2.21
30	2.21	2.19	2.18	2.18	2.19	2.15	2.17	2.17	2.18	2.18	2.15	2.14	2.14	2.14	2.13	2.18	2.15	2.27	2.15	2.15	2.14	2.14	2.14	2.14

* El uso de esta información sera bajo su entera responsabilidad.



ESTACIÓN HIDROLÓGICA - HUANCAVELICA

“PROYECTO FOCAM : CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE HUANCAVELICA REGIÓN HUANCAVELICA”.



Estación Latitud Longitud Altitud Parametros

CAUDAL - Metros Cúbicos / segundos																								
Día	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	2.13	2.09	2.09	2.10	2.09	2.09	2.11	2.12	2.10	2.09	2.09	2.09	2.09	2.08	2.09	2.06	2.09	2.10	2.24	2.11	2.11	2.10	2.09	2.07
2	2.05	2.07	2.06	2.06	2.06	2.09	2.10	2.09	2.10	2.09	2.30	2.34	2.30	2.26	2.26	2.22	2.21	2.28	2.22	2.20	2.18	2.17	2.14	2.09
3	2.08	2.08	2.07	2.07	2.09	2.12	2.13	2.12	2.12	2.09	2.09	2.08	2.06	2.06	2.05	2.03	2.05	2.15	2.07	2.06	2.04	2.04	2.03	2.01
4	1.99	2.01	1.99	1.99	1.98	2.01	2.01	1.98	2.00	1.98	1.98	1.98	1.94	1.96	1.96	1.93	1.93	2.05	2.01	1.96	1.96	1.95	1.96	1.94
5	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.94	1.97	1.98	1.98	1.98	1.96	1.95	1.93	1.94	1.93	1.89	1.98	1.96	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
6	1.89	1.89	1.89	1.89	1.91	1.91	1.93	1.93	1.96	1.94	1.95	1.95	1.95	1.99	2.02	1.98	2.00	2.15	2.02	1.98	1.98	1.98	1.98	1.97
7	1.93	1.92	1.92	1.92	1.93	1.96	1.98	1.98	2.00	1.98	1.98	1.98	1.96	1.96	1.97	1.93	1.98	2.07	1.97	1.94	1.96	1.93	1.93	1.94
8	1.91	1.92	1.91	1.91	1.91	1.91	1.93	1.93	1.94	1.93	1.93	1.93	1.92	1.91	1.93	2.01	1.93	1.93	1.91	1.91	1.93	1.91	1.91	1.91
9	1.91	1.88	1.88	1.88	1.88	1.89	1.89	1.91	1.92	1.89	1.89	1.89	1.89	1.87	1.88	1.86	1.87	1.94	1.88	1.86	1.88	1.87	1.88	1.88
10	1.87	1.84	1.83	1.82	1.83	1.83	1.87	1.85	1.88	1.87	1.85	1.85	1.85	1.85	1.84	1.83	1.82	1.89	1.83	1.83	1.84	1.83	1.83	1.84
11	1.84	1.84	1.82	1.81	1.81	1.79	1.81	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.81	1.81	1.81	1.81	1.82	1.89	1.82	1.81	1.83	1.82	1.82	1.81
12	1.81	1.82	1.82	1.82	1.81	1.82	1.82	1.83	1.84	1.83	1.82	1.83	1.82	1.81	1.82	1.82	1.81	1.79	1.80	1.81	1.82	1.81	1.81	1.82
13	1.82	1.81	1.79	1.79	1.80	1.79	1.79	1.81	1.81	1.81	1.80	1.79	1.79	1.79	1.80	1.79	1.82	1.85	1.81	1.79	1.81	1.80	1.79	1.79
14	1.78	1.79	1.79	1.79	1.78	1.77	1.79	1.79	1.82	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.87	1.79	1.79	1.80	1.79	1.79	1.80
15	1.79	1.77	1.76	1.78	1.77	1.79	1.79	1.79	1.81	1.80	1.79	1.79	1.79	1.79	1.78	1.79	1.79	1.88	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
16	1.79	1.77	1.77	1.76	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.78	1.77	1.78	1.79	1.85	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.78
17	1.78	1.75	1.76	1.76	1.76	1.77	1.77	1.78	1.78	1.77	1.78	1.78	1.76	1.76	1.76	1.76	1.79	1.82	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76
18	1.75	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.77	1.78	1.77	1.76	1.76	1.76	1.75	1.75	1.75	1.76	1.84	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76
19	1.74	1.74	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.75	1.75	1.74	1.75	1.76	1.75	1.76	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.73	1.74	1.73	1.74
20	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73	1.74	1.73	1.73	1.74	1.73	1.73	1.73	1.72	1.72	1.73	1.74	1.74	1.84	1.76	1.74	1.75	1.74	1.74	1.75
21	1.73	1.73	1.74	1.74	1.74	1.74	1.75	1.76	1.76	1.74	1.74	1.74	1.78	1.75	1.74	1.74	1.82	1.93	1.77	1.75	1.75	1.75	1.74	1.72
22	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74	1.73	1.74	1.75	1.76	1.74	1.75	1.74	1.74	1.76	1.78	1.77	1.82	1.76	1.80	1.85	1.85	1.81	1.84
23	1.86	1.88	1.94	1.96	2.03	2.08	2.06	2.10	2.07	2.04	2.07	2.09	2.07	2.08	2.07	2.07	2.22	2.05	2.03	2.03	2.00	1.98	1.98	1.98
24	1.93	1.92	1.93	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.93	1.91	1.91	1.89	1.89	1.89	1.89	1.85	1.93	1.92	1.89	1.86	1.88	1.85	1.85	1.85
25	1.84	1.82	1.81	1.82	1.83	1.84	1.83	1.83	1.82	1.82	1.83	1.83	1.81	1.81	1.81	1.82	1.82	1.85	1.88	1.80	1.82	1.81	1.82	1.82
26	1.81	1.81	1.81	1.81	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.80	1.80	1.80	1.79	1.79	1.78	1.76	1.76	1.77	1.77	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76
27	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.75	1.76	1.74	1.74	1.74	1.74	1.73	1.72	1.72	1.74	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
28	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.74	1.72	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.79	1.73	1.73	1.72	1.72	1.72	1.71
29	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.72	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.72	1.72	1.72	1.76	1.72	1.72	1.72	1.71	1.71
30	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.72	1.71	1.71	1.72	1.71	1.71	1.71	1.70	1.71	1.73	1.72	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
31	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70



ESTACIÓN HIDROLÓGICA - HUANCAVELICA

"PROYECTO FOCAM : CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE HUANCAVELICA REGIÓN HUANCAVELICA".



Estación : Huancavelica
Latitud : -12.78462° S
Longitud : -74.97218° W
Altitud : 3,678 mnsnm
Parametros : Caudal (m3/seg)

Dpto. : Huancavelica
Prov. : Huancavelica
Dist. : Huancavelica
Lugar: : Santa Ana
Mes : Junio - 2016

CAUDAL - Metros Cúbicos / segundos																								
Día	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.72	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
2	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
3	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
4	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.72	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
5	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
6	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
7	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
8	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
9	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
10	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.72	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
11	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.73	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
12	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
13	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
14	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71
15	1.71	1.71	1.70	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
16	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.72	1.72	1.72	1.71	1.71	1.71	1.71	1.73	1.73
17	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.71	1.71	1.76	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71
18	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71
19	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.71	1.71
20	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.71	1.71	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71
21	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.70	1.71	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.75	1.72	1.72
22	1.72	1.72	1.72	1.73	1.72	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.72	1.72	1.73	1.75	1.75	1.74	1.73	1.70	1.73	1.73	1.73	1.72	1.73	1.72
23	1.73	1.73	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	1.72	1.71	1.72	1.72	1.72	1.71	1.72	1.72	1.71	1.72	1.72
24	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.71	1.72	1.72	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.70	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73
25	1.75	1.74	1.74	1.73	1.74	1.73	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.70	1.72	1.72	1.73	1.73
26	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.73	1.73	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74	1.74	1.72	1.72	1.70	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74	1.74
27	1.76	1.76	1.75	1.75	1.75	1.75	1.74	1.73	1.73	1.72	1.74	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.71	1.70	1.72	1.73	1.73	1.72	1.73	1.76
28	1.75	1.75	1.75	1.75	1.74	1.73	1.73	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73	1.72	1.72	1.70	1.70	1.71	1.72	1.71	1.71	1.72	1.73
29	1.73	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.86	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
30	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70



ESTACIÓN HIDROLÓGICA - HUANCAVELICA

“PROYECTO FOCAM: CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCAEXPE DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE HUANCAVELICA REGIÓN HUANCAVELICA”.



Estación Latitud Longitud Altitud Parametros

: Huancavelica
: -12.78462 ° S
: -74.97218° W
: 3,678 mmsm
: Caudal (m3/seg)

Dpto. : Huancavelica
Prov. : Huancavelica
Dist. : Huancavelica
Lugar: : Santa Ana
Mes : Junio - 2016

CAUDAL - Metros Cúbicos / segundos																								
Día	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	4.97	5.20	5.46	5.65	6.76	7.43	7.07	6.85	6.16	5.95	5.59	4.97	4.77	4.58	4.26	4.18	4.15	3.86	3.63	3.53	3.49	3.46	3.48	
2	3.40	3.40	3.38	3.59	3.72	3.76	3.78	3.68	3.64	3.46	3.49	3.35	3.21	3.16	3.13	3.06	2.95	3.13	2.85	2.77	2.66	2.82	2.65	2.57
3	2.66	2.57	2.58	2.43	2.42	2.40	2.38	2.27	2.30	2.30	2.31	2.28	2.24	2.24	2.22	2.21	2.20	2.34	2.22	2.17	2.14	2.09	2.07	2.09
4	2.03	2.03	1.99	1.93	1.91	1.91	1.92	1.89	1.88	1.88	1.89	1.87	1.88	1.86	1.87	1.88	1.87	2.03	1.93	1.89	1.89	1.88	1.86	1.88
5	1.88	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.84	1.84	1.84	1.85	1.85	1.84	1.85	1.85	1.85	1.84	1.82	1.96	1.85	1.84	1.83	1.82	1.82	1.84
6	1.82	1.82	1.78	1.79	1.78	1.78	1.80	1.79	1.78	1.78	1.79	1.77	1.78	1.78	1.78	1.78	1.85	1.78	1.78	1.77	1.76	1.76	1.76	
7	1.76	1.76	1.73	1.72	1.74	1.72	1.72	1.74	1.73	1.74	1.72	1.73	1.72	1.72	1.79	1.72	1.72	1.72	1.71	1.72	1.72	1.72	1.72	1.73
8	1.72	1.73	1.72	1.72	1.72	1.73	1.72	1.73	1.76	1.74	1.75	1.76	1.77	1.79	1.79	1.82	1.92	1.82	1.82	1.81	1.79	1.79	1.79	1.78
9	1.76	1.76	1.76	1.76	1.78	1.83	1.91	2.12	2.09	2.07	2.07	2.08	2.03	2.13	2.22	2.03	1.97	2.13	1.93	1.92	1.89	1.89	1.85	1.85
10	1.85	1.82	1.82	1.82	1.84	1.82	1.84	1.84	1.84	1.83	1.83	1.80	1.79	1.79	1.79	1.77	1.76	1.85	1.79	1.78	1.77	1.75	1.74	1.74
11	1.73	1.72	1.71	1.71	1.71	1.71	1.72	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
12	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
13	1.70	1.70	1.70	1.76	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
14	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.76	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
15	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.74	1.71	1.74	1.72	1.71	1.71	1.70	1.71	1.74	1.71	1.73	1.72	1.73	1.72	1.73	1.74	1.74
16	1.74	1.75	1.76	1.74	1.73	1.73	1.73	1.73	1.74	1.74	1.74	1.72	1.74	1.73	1.75	1.73	1.74	1.78	1.74	1.74	1.73	1.73	1.72	1.72
17	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70	1.71	1.75	1.73	1.72	1.71	1.72	1.73	1.75
18	1.78	1.82	1.94	2.03	2.11	2.13	2.22	2.76	2.70	2.72	2.58	2.51	2.43	2.39	2.30	2.32	2.26	2.35	2.17	2.15	2.11	2.07	2.08	2.06
19	2.09	2.21	2.42	2.74	3.28	3.16	3.08	2.95	2.80	2.73	2.64	2.53	2.46	2.46	2.39	2.34	2.31	2.51	2.32	2.27	2.21	2.19	2.20	2.34
20	2.34	2.33	2.34	2.42	2.46	2.40	2.57	2.68	2.68	2.68	2.66	2.65	2.51	2.48	2.40	2.34	2.33	2.43	2.30	2.73	2.86	2.73	2.48	2.49
21	2.60	2.58	2.53	2.49	2.64	3.70	3.78	3.76	3.64	3.57	3.49	3.48	3.38	3.26	3.33	3.08	3.13	3.03	3.05	2.94	2.91	2.95	3.11	3.18
22	3.35	3.46	3.74	4.31	5.17	5.07	5.02	4.77	4.49	4.31	4.18	4.09	4.03	4.01	4.01	3.99	3.86	3.72	3.51	3.53	3.48	3.48	3.48	3.51
23	3.68	4.18	4.61	4.89	5.09	4.89	4.72	4.47	4.33	4.24	4.15	3.92	3.86	3.68	3.59	3.49	3.44	3.35	3.28	3.23	3.35	3.28	3.53	3.72
24	3.90	4.77	6.36	6.30	6.13	5.73	5.41	5.12	4.77	4.72	4.38	4.31	4.15	3.92	3.86	3.68	3.78	3.76	3.51	3.96	4.58	4.70	4.68	4.54
25	4.47	4.24	4.11	4.20	4.31	4.31	4.33	4.24	4.20	4.09	3.96	3.88	3.76	3.68	3.61	3.61	3.59	3.96	3.53	3.46	3.57	3.64	3.76	4.49
26	5.02	5.02	5.09	5.46	5.46	5.20	4.94	4.87	4.70	4.63	4.61	4.26	4.15	3.99	4.03	3.90	3.76	6.13	4.44	4.20	4.31	4.03	3.90	4.03
27	4.68	5.38	5.81	6.48	6.85	7.53	8.28	8.32	8.28	8.17	7.49	7.20	7.01	6.60	6.60	6.82	7.53	7.36	6.88	7.36	7.07	7.10	7.33	7.53
28	7.56	8.07	8.53	9.23	9.16	8.78	8.42	8.00	7.59	7.39	7.33	7.07	6.79	6.48	6.51	6.27	6.13	6.01	6.13	6.69	6.69	6.48	6.45	6.30
29	6.60	6.33	6.18	6.10	5.93	5.76	5.54	5.70	5.43	5.22	5.20	5.09	4.94	4.77	4.75	4.61	4.58	4.84	4.77	4.89	4.89	4.84	5.09	4.94
30	5.22	5.51	5.65	5.65	5.90	5.57	5.43	5.25	5.09	4.92	4.84	4.77	4.63	4.56	4.47	4.26	4.42	4.56	4.63	4.84	4.87	5.09	6.30	7.73
31	10.29	10.82	10.33	9.77	9.12	8.53	8.07	7.63	7.23	7.23	7.13	6.97	6.79	6.57	6.45	6.27	5.98	5.98	5.98	5.90	5.51	5.79	6.01	6.33

* El uso de esta información sera bajo su entera responsabilidad.