



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA SEMIDISTRIBUIDA EN LA CUENCA DEL RÍO HUANCANÉ - PUNO

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. EDDY ALBERTH AVALOS ALAVE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

A mi madre Hilda Alave Aguilar, por todo el amor y apoyo incondicional, y por ser la artífice en la culminación de mis estudios superiores quien con sus consejos y ayuda me dieron impulso para salir adelante.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme por un buen camino y dejarme hacer las cosas en su debido tiempo.

A mi madre y a mis hermanos Juan y Mary, quienes siempre estuvieron apoyándome en todo momento de mi formación académica.

A mi Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, personal docente y administrativo por mi formación académica y profesional.

Mis agradecimientos al M.Sc. Roberto Alfaro Alejo director de la tesis, por su confianza y todo el apoyo incondicional.

Al M.Sc. Wilber Fermín Laqui Vilca, por su apoyo y orientación en el desarrollo de la investigación.

Al M.Sc. Audberto Millones Chafloque, M.Sc. Oscar Mamani Luque por su tiempo, sugerencias y apoyo brindado en el proceso de desarrollo de la presente tesis.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES 15

1.2. ANTECEDENTES 16

1.3. OBJETIVOS 18

1.3.1. Objetivo general 18

1.3.2. Objetivos específicos 18

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. HIDROLOGÍA 19

2.1.1. Definición..... 19

2.1.2. El ciclo hidrológico 19

2.1.3. Cuenca hidrográfica 20

2.2. MODELOS MATEMÁTICOS HIDROLÓGICOS 21

**2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS
HIDROLÓGICOS..... 21**

2.3.1. Según la naturaleza del algoritmo planteado 22

2.3.2. Según las técnicas involucradas en la modelación..... 23

2.3.3. Según su representación espacial 25

2.3.4. Según la escala temporal 27

2.4. PROCESO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA..... 28

2.4.1. Calentamiento 28

2.4.2. Calibración 29

2.4.3. Validación 29



2.5. REPRESENTACIÓN CONCEPTUAL DE LOS MODELOS PROPUESTOS	30
2.5.1. Modelo lluvia escorrentía HBV	32
2.5.2. Modelo lluvia escorrentía SAC-SMA	34
2.6. INDICADORES DE DESEMPEÑO DE LOS MODELOS PROPUESTOS.	37
2.6.1. Coeficiente de Nash-Sutcliffe	37
2.6.2. Coeficiente logarítmico de Nash-Sutcliffe	38
2.6.3. Coeficiente de correlación de Pearson	39
2.6.4. Eficiencia Kling-Gupta	39
2.6.5. Bias Score	40
2.6.6. Error relativo de la raíz cuadrática media	40
2.6.7. Volumen relativo Bias	41
2.6.8. Error pico normalizado	42
2.7. ALGORITMOS DE CALIBRACIÓN EN RS MINERVE.	42
2.7.1. Función Objetivo	43
2.7.2. Shuffled Complex Evolution - University of Arizona (SCE-UA)	44
2.7.3. Uniform Adaptive Monte Carlo	44
2.7.4. Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock	44
CAPITULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	45
3.2. MATERIALES	46
3.2.1. Información cartográfica	46
3.2.2. Información hidrometeorológica	47
3.2.3. Equipos y herramientas	48
3.3. METODOLOGÍA	48
3.3.1. Modelo conceptual para la modelización hidrológica	48
3.3.2. Análisis cartográfico de la cuenca	49
3.3.3. Análisis estadístico de la información hidrometeorológica	63
3.3.4. Adecuación de los modelos hidrológicos	69
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA HUANCANÉ.	75
4.1.1. Análisis pluviométrico	75
4.1.2. Análisis de temperatura	90



4.1.3.	Evapotranspiración.....	93
4.1.4.	Análisis hidrométrico	93
4.2.	APLICACIÓN DE LOS MODELOS LLUVIA ESCORRENTÍA HBV Y SAC-SMA	95
4.2.1.	Calibración	98
4.2.2.	Validación	102
4.2.3.	Comparación de modelos	104
V.	CONCLUSIONES	109
VI.	RECOMENDACIONES	111
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS.....		117

Área: Ingeniería y tecnología

Línea: Recursos hídricos

Fecha de sustentación: 17 de julio de 2020



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros y condiciones iniciales del modelo HBV.....	34
Tabla 2. Parámetros y condiciones iniciales del modelo SAC-SMA.	36
Tabla 3. Indicadores de bondad con sus valores referenciales	43
Tabla 4. Modelo Digital de Terreno DEM del Satélite ALASKA	47
Tabla 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané.	47
Tabla 6. Periodo de información recopilada	48
Tabla 7. Ubicación de estación hidrológica.....	48
Tabla 8. Índice de Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.....	53
Tabla 9. Forma de la cuenca en función al factor de forma.....	53
Tabla 10. Parámetros de forma de la cuenca Huancané	55
Tabla 11. Parámetros de relieve de la cuenca Huancané	59
Tabla 12. Clasificación de la pendiente según D.S. N° 017-2009-AG.....	62
Tabla 13. Parámetros de la red de drenaje de la cuenca del río Huancané	63
Tabla 14. Agrupación de estaciones en funcion al mapa climatico.....	81
Tabla 15. Análisis de homogeneidad - Grupo 01	82
Tabla 16. Análisis de homogeneidad - zona 02	83
Tabla 17. Análisis de homogeneidad - Grupo 03	84
Tabla 18. Estadísticos de la prueba Turning Points a la serie de precipitación.	87
Tabla 19. Estadísticos de la prueba Mann Kendall a las series de precipitación.....	88
Tabla 20. Estadísticos de la prueba CUSUM a la serie de precipitación.....	89
Tabla 21. Índices de correlación entre estaciones (Temperatura media).....	92
Tabla 22. valores iniciales de los modelos lluvia escorrentía.....	96
Tabla 23. Indicadores estadísticos de bondad de ajuste – sin calibración	96
Tabla 24. Parámetros obtenidos de la calibración del modelo hidrológico SAC	99



Tabla 25. Parámetros obtenidos de la calibración del modelo hidrológico HBV	99
Tabla 26. Indicadores estadísticos de bondad de ajuste.....	101
Tabla 27. Valores referenciales del criterio Nash Sutcliffe.	101
Tabla 28. Rangos de evaluación para calibración y validación	102
Tabla 29. Parámetros estadísticos de los modelos hidrológicos etapa de validación ..	102
Tabla 30. Comparación de los índices estadístico de ajuste de bondad.....	105
Tabla 31. Caudales medios mensuales multianuales (1991 - 2015), Diferencia porcentual entre caudales observados y caudales simulados.....	106



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	20
Figura 2. Modelos hidrológicos según su distribución espacial.....	27
Figura 3. Interfaz del Software RS MINERVE.....	32
Figura 4. Modelo HBV.....	33
Figura 5. Modelo SAC-SMA.....	36
Figura 6. Ubicación del área de estudio.....	46
Figura 7. Modelo conceptual del proceso de delimitación de la cuenca Huancané	50
Figura 8. Proceso de delimitación de la cuenca del río Huancané	50
Figura 9. Curva hipsométrica de la cuenca del río Huancané	56
Figura 10. Polígono de frecuencias medias de la cuenca del río Huancané	57
Figura 11. Construcción de base de datos precipitación – Estación Ananea.....	70
Figura 12. Construcción de base de datos temperatura – Estación Arapa.....	70
Figura 13. Construcción de base de datos caudales - Pte. Huancané	71
Figura 14. Modelo hidrológico RS GIS.....	72
Figura 15. Modelo hidrológico de la cuenca Huancané - RS MINERVE.....	72
Figura 16. Creación del modelo REACH KINEMATIC.....	73
Figura 17. Asignación del modelo REACH KINEMATIC a cada subcuenca	73
Figura 18. Topología de la cuenca en RS MINERVE.....	74
Figura 19. AED histogramas de precipitación diaria periodo 1991-2015.....	76
Figura 20. AED Histogramas de precipitación diaria multiestaciones.....	77
Figura 21. Diagrama de cajas (box plot) de las precipitaciones acumuladas mensuales. Periodo: 1991 - 2015.....	79
Figura 22. Índices anuales del vector y de las estaciones - análisis preliminar.....	80
Figura 23. Mapa climático de la zona de estudio	80



Figura 24. Vector regional de índices - Grupo 01	82
Figura 25. Vector regional de índices - zona 02	83
Figura 26. Vector regional de índices - Grupo 03	84
Figura 27. Gráfico de acumuladas de las estaciones - zona 01.....	85
Figura 28. Gráfico de acumuladas de las estaciones - zona 02.....	86
Figura 29. Gráfico de acumuladas de las estaciones - zona 03.....	86
Figura 30. Temperatura a nivel diario - estación Huancané.....	90
Figura 31. AED: diagrama de cajas de la temperatura media multimensual.....	92
Figura 32. Caudal diario registrado en el puente Huancané	94
Figura 33. Caudal mensual registrado en el puente Huancané.....	94
Figura 34. Diagrama de cajas de caudales mensuales periodo 1991-2015.....	95
Figura 35. Resultado de la simulación modelo HBV	97
Figura 36. Resultado de la simulación modelo SAC-SMA.....	97
Figura 37. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados para el periodo 1991-2010 Modelo HBV	100
Figura 38. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados para el periodo 1991-2010 Modelo SAC-SMA	100
Figura 39. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados - Resultados finales de la validación del modelo HBV	103
Figura 40. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados – Resultados finales de la validación del modelo SAC-SMA.....	104
Figura 41. Dpi mensual entre caudales observados y caudales simulados periodo 1991 - 2015.....	107
Figura 42. Curva de duración de caudales y curva de variación estacional con una probabilidad de ocurrencia del 75%.	107



Figura 43. Diagrama de dispersión entre las series observadas y simuladas periodo 1991

– 2015..... 108



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AED	Análisis Exploratorio de Datos
ANA	Autoridad Nacional del Agua
BS	Bias Score
CLHR	Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock
CREALP	Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin
CUSUM	Suma Acumulada
DED	Desviación Estándar de Desvíos
DEM	Modelo Digital de Elevación
ETO	Evapotranspiración
FAO	Food and Agriculture Organization
GR4J	Génie Rural à 4 Paramètres Journalier
HBV	Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System
KGE	Eficiencia Kling-Gupta
NPE	Error Pico Normalizado
OF	Función Objetivo
PAR	Modelo Autorregresivo Periódico de Primer Orden
RNA	Redes Neuronales Artificiales
RRMSE	Relative Root Mean Square Error
RS MINERVE	Routing System Minerve
RVB	Volumen Relativo Bias
SAC-SMA	Sacramento Soil Moisture Accounting
SCE-UA	Shuffled Complex Evolution - University of Arizona
SCS	Soil Conservation Service
SOCONT	Soil Contribution
TOPMODEL	Modelo hidrológico basado en TOPografía
UAMC	Uniform Adaptive Monte Carlo
USACE	United States Army Corps of Engineers



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados obtenidos de la implementación de los modelos hidrológicos semidistribuidos HBV y SAC-SMA en la cuenca del río Huancané. En primera instancia se realizó el análisis cartográfico de la cuenca del río Huancané siendo está delimitada en 09 sub cuencas o áreas de contribución, para luego determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca; también se realizó el análisis estadístico de datos hidrometeorológicos como son precipitación, temperatura e hidrometría para detectar y corregir las inconsistencias de la serie de tiempo. Posterior a eso se realizó la simulación hidrológica con los modelos precipitación-escorrentía HBV y SAC-SMA, respecto a la calibración de los modelos hidrológicos, esta se realizó para el periodo de enero de 1991 a diciembre de 2010 y la etapa de validación en el periodo de enero de 2011 a diciembre de 2015; para ambas etapas se usaron los datos de aforos de la estación hidrométrica Puente Huancané con una frecuencia de salida diaria. Para evaluar el ajuste de los datos reales con los datos simulados por los modelos, se usó los indicadores de eficiencia, como son el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el coeficiente Nash para valores logarítmicos (Nash-ln), el coeficiente de correlación de Pearson y Error relativo de la raíz cuadrática media (RRMSE), obteniéndose resultados satisfactorios para los modelos hidrológicos propuestos HBV y SAC-SMA, los índices estadísticos de ajuste obtenidos en la simulación presentan valores mayores a 0.7 lo que indica una adecuada representación hidrológica de la cuenca del río Huancané.

Palabras clave: Cuenca Huancané, modelización hidrológica, modelización semidistribuida, RS MINERVE.



ABSTRACT

This research work presents the results obtained from the implementation of the HBV and SAC-SMA semi-distributed hydrological models in the Huancané river basin. In the first instance, the cartographic analysis of the Huancané river basin was carried out, being delimited in 09 sub-basins or contribution areas, to then determine the geomorphological parameters of the basin; Statistical analysis of hydrometeorological data such as precipitation, temperature and hydrometry was also performed to detect and correct inconsistencies in the time series. After that, the hydrological simulation was carried out with the rainfall-runoff models HBV and SAC-SMA, with respect to the calibration of the hydrological models, this was carried out for the period from January 1991 to December 2010 and the validation stage in the period from January 2011 to December 2015; For both stages, the gauging data from the Puente Huancané hydrometric station with a daily output frequency were used. Efficiency indicators were used to evaluate the fit of the real data with the data simulated by the models, such as the Nash-Sutcliffe coefficient, the Nash coefficient for logarithmic values (Nash-ln), the Pearson correlation coefficient y Relative root mean square error (RRMSE), obtaining satisfactory results for the proposed hydrological models HBV and SAC-SMA, the statistical adjustment indices obtained in the simulation show values greater than 0.7, which indicates an adequate hydrological representation of the basin of the Huancané river.

Key Words: Huancane basin, hydrological modeling, semi-distributed modeling, RS Minerve.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La disponibilidad de los recursos hídricos superficiales en cantidad, calidad y oportunidad es uno de los problemas que se viene enfrentando en la actualidad en todas las unidades hidrográficas del Perú, no tanto por la escasez sino por la distribución y deficiente gestión de los recursos hídricos. considerando las cifras mundiales, el Perú es el octavo país con mayor disponibilidad hídrica del mundo con 1'768,172MMC/año, que se encuentran distribuidos en sus tres vertientes hidrológicas, el 97.40 % en la vertiente del atlántico, el 2.04% en la vertiente del pacifico, y el 0.56 % en la vertiente del Titicaca; notándose claramente un desequilibrio en la distribución del agua| (Echevarria, 2016).

Esta desproporción provoca una gran competencia por el uso del agua entre los distintos sectores de usuarios (fundamentalmente, la agricultura) y que está asociado a factores como el aumento de población, industrias, irrigaciones, desertificación, minería ilegal, calentamiento global, cambio climático, etc.(Belizario, 2015). La combinación de estos factores ecológicos y humanos en muchos casos hacen que la disminución de los recursos hídricos disponibles vaya acompañada de un deterioro de su calidad debido a la contaminación y la degradación del medio ambiente, con lo que el agua en sí es un recurso que se ve gravemente afectado por todas estas circunstancias

Una mejor comprensión de cómo cada uno de estos factores influyen en el suministro, demanda y calidad de agua, requieren mejores habilidades para entender los procesos latentes y su impacto en la disponibilidad y uso de la misma, lo que repercute en la utilización de enfoques o aproximaciones que integren los procesos hidrológicos a escala de cuenca, para ello la modelación hidrológica viene siendo utilizada como una



herramienta para entender mejor el movimiento del agua superficial y subterránea y las interacciones entre ellas.

Sin embargo a la actualidad, se ha utilizado varios tipos de modelos hidrológicos a fin de reproducir el comportamiento hidrológico de una cuenca, que a su vez no han tenido una aplicación continua dada su complejidad y/o su eficiencia a la hora de predecir tales comportamientos; por lo que el objetivo de este trabajo de investigación es evaluar el desempeño de los modelos de lluvia-escorrentía en un enfoque espacial semidistribuido aplicados a la modelización hidrológica de la cuenca del río Huancané, y conocer qué modelo representa mejor la respuesta de la cuenca.

1.2. ANTECEDENTES

En los últimos años ha habido un gran interés en la comunidad científica para representar lo más realista posible una cuenca hidrológica mediante modelos matemáticos hidrológicos, con la única finalidad de comprender mejor el comportamiento hidrológico de una cuenca y ayudar a tomar medidas preventivas frente a eventos hidrológicos extremos, tal es así que.

Laqui (2010), aplica el método de redes neuronales artificiales (RNA) a la modelización y previsión de caudales medios mensuales del río Huancané para el periodo de 1964 – 2002, utilizando datos de precipitación, evaporación y caudales a nivel mensual; Así mismo realiza una comparación de los modelos RNA frente al modelo estocástico autorregresivo periódico de primer orden PAR, con la finalidad de evaluar la capacidad de desempeño de ambos modelos; los resultados muestran que los modelos RNA presenta un mayor ajuste para el periodo de entrenamiento y el periodo de validación frente al desempeño del modelo estocástico PAR. Por lo que, recomienda la



utilización de los modelos RNA para la modelización de lluvia – caudal y previsión de caudales a escala mensual.

Ese mismo año la Autoridad Nacional del Agua (ANA), mediante la Administración Local del Agua Huancané, realiza el estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, en donde modeliza la cuenca empleando el modelo matemático de tipo determinístico-estocástico Lutz Schols, con la finalidad de calibrar y validar el modelo y poder generar series sintéticas en puntos de interés para el análisis de zonas de almacenamiento. El modelo hidrológico empleado tiene un ajuste estadísticamente bueno a los meses de avenida, sin embargo, no tiene un ajuste adecuado en épocas de estiaje.

Pocos años después Astorayme et al. (2015), realiza un análisis comparativo de 04 diferentes modelos hidrológicos en la cuenca del río Chillón, donde concluye que las series simuladas por los modelos HBV y SAC-SMA presentan mejores resultados tanto en épocas de avenida (Nash entre 0.91 a 0.80) como en estiaje (Nash entre 0.88 a 0.73). También muestra que los modelos GR4J y SOCONT tienden a representar con mayor detalle los periodos de avenida respecto a los de estiaje.

Así mismo, Lujano et al. (2016), realiza la modelación hidrológica semidistribuida en la cuenca del río Ramis, utilizando el modelo hidrológico Sacramento (SAC-SMA), en donde concluye que el modelo semidistribuido muestra resultados satisfactorios según el indicador de eficiencia Nash es igual a 0.87 y se afirma que las salidas del modelo SAC-SMA representa adecuadamente los caudales de avenida y estiaje a escala diaria.

Recientemente Iparraguirre y Arias (2018), emplean los modelos semidistribuidos de la plataforma RS Minerve, para la generación de hidrogramas de la subcuenca Chosica, para un periodo de analisis de 20 años a escala diaria, los resultados obtenidos son satisfactorios en términos estadísticos.



Asi mismo, Páez (2018), realiza la simulación de una operación integrada hidro/solar en la cuenca de Alto San Francisco – Brasil, con la finalidad de proponer un sistema integrado de generacion de energia, una hidroeléctrica y otra fotovoltaica, esta operación integrada tiene la finalidad de aumentar el volumen del reservorio; para ello emplea el sistema integrado RS Minerve para la construcción del modelo hidrológico y el modelo hidráulico. Los resultados de la simulación hidrológica e hidráulica han permitido conocer la cantidad de agua que puede ser acumulada principalmente en la época de estiaje mediante la operación combinada del sistema hidro/solar.

Garcia et al. (2018), realiza el análisis de la cuenca Grande EAU en Suiza, en el cual utiliza diferentes datos de entrada para la calibración del modelo hidrológico en el Sistema RS Minerve y estudia como cambia la calidad del modelo respecto a los inputs; concluye que la lluvia espacializada aporta una mejora sustancial en los resultados durante los periodos de lluvias fuertes, respecto a los datos de lluvia registrados en una estación pluviométrica.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño de los modelos semidistribuidos en la modelización hidrológica de la cuenca del río Huancané.

1.3.2. Objetivos específicos

Calibrar y validar los modelos hidrológicos semidistribuidos HBV y SAC-SMA

Determinar el modelo de mejor respuesta hidrológica en la cuenca del río Huancané.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. HIDROLOGÍA

2.1.1. Definición

En 1959, el Federal Council for Science and Technology for Scientific Hydrology recomendó la siguiente definición: “Hidrología es la ciencia que trata del agua en la tierra, su ocurrencia, su circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluyendo los seres vivientes”.

Según Mejía (2012), la hidrología es: “La ciencia que estudia las aguas que pueden ser aprovechables en forma superficial, así como en forma subterránea, siempre que sea una profundidad económicamente aprovechable”.

2.1.2. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el ciclo de transferencia de agua, que ocurre continuamente en la naturaleza; las tres fases importantes del ciclo hidrológico son: (a) evaporación y evapotranspiración (b) precipitación y (c) escorrentía y se muestra en la Figura 1. El mundo tiene un tercio de tierra y dos tercios de océano, dando lugar a la evaporación de todas las superficies de agua, y la transpiración de la vegetación superficial. Estos vapores se elevan hacia el cielo y se condensan a altitudes más altas formando grandes masas de nubes. Esta agua condensada en forma de nubes se derrite y precipitan de diferentes formas como lluvia, nieve, granizo, niebla, rocío y escarcha (Raghunath, 2006).

Una parte de esta precipitación fluye sobre la tierra llamada escorrentía y parte de ella se infiltra en el suelo constituyéndose como el manto freático. La escorrentía superficial se une a las corrientes de agua y se almacena en depósitos. Una parte de la

escorrentía superficial y el agua subterránea fluye de regreso al océano. Y se repite de nuevo el ciclo hidrológico con la evaporación desde las superficies de lagos, embalses y océanos (Raghunath, 2006).

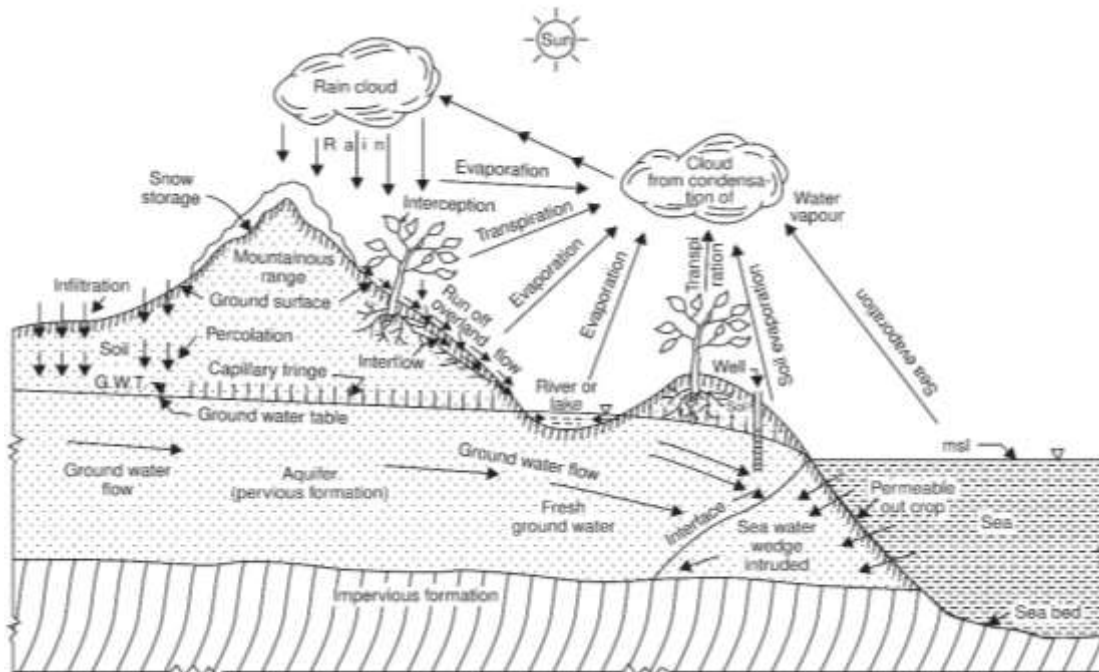


Figura 1. Ciclo hidrológico.

Fuente: Raghunath (2006)

2.1.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de aguas. En las cuencas están construidas los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre (FAO, 2007). La cuenca hidrográfica es la unidad básica de estudio del ciclo hidrológico.

Para el estudio de la cuenca hidrográfica, es importante determinar las características físicas de la cuenca, sistemas de drenaje, entre otros aspectos. Estas características dependen de la morfología, los tipos de suelos, la cobertura vegetal, la



geología, etc. Estos elementos, proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio del régimen hidrológico (Monsalve, 1999).

2.2. MODELOS MATEMÁTICOS HIDROLÓGICOS

En el campo de la hidrología, al igual que en otras ramas de ciencia, el desarrollo de los modelos matemáticos en los últimos años ha sido muy importante. Con la modelación de los sistemas hidrológicos se busca analizar el funcionamiento de los sistemas y mejorar la visión de los mismos al poder simular distintas situaciones hipotéticas con cierto grado de aproximación.

El objetivo de los modelos hidrológicos en un sistema es determinar en los puntos de interés, la cantidad de recurso hídrico y su distribución en el tiempo y para ello las herramientas que fundamentalmente se utilizan están basadas en modelización.

Los modelos matemáticos pueden dividirse en dos grandes grupos, los determinísticos y los estocásticos. En los primeros las variables vienen determinadas por las leyes físicas (empíricas, conceptuales o teóricas) consideradas como exactas y que explican toda su variabilidad, mientras que en los segundos las variables son regidas en todo o en parte por las leyes del azar y por lo tanto caracterizadas en términos de probabilidad (Estrela, 1992).

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS HIDROLÓGICOS

Existe una gran variedad de clasificación de los modelos hidrológicos, sin embargo, se pueden resumir en cuatro principales categorías (Daniel, et al., 2011) las cuales son:

- ✓ Según la naturaleza del algoritmo planteado.



- ✓ Según las técnicas involucradas en el proceso de modelación.
- ✓ Según su representación espacial.
- ✓ Según la escala temporal.

2.3.1. Según la naturaleza del algoritmo planteado

a) Modelos empíricos

Los modelos empíricos o también llamados de caja negra, son la representación de un sistema real con explicaciones matemáticas utilizando datos experimentales sin realmente tratar de explicarlo mediante leyes físicas generales. Se basan en relaciones de entrada-salida y no se preocupan por describir los procesos y comportamientos internos del sistema. Este tipo de modelo es desarrollado mediante investigación y experimentación, contiene parámetros que pueden tener poco sentido físico. El método racional, el número de curva del Soil Conservation Service (SCS, 1972), GR4J (Perrin, Claude, & Vazken, 2003) y modelos estocásticos de series de tiempo son ejemplos de esta clase.

b) Modelos de base física

En los modelos de base física o también llamados de caja blanca o teóricos, se conocen todos los procesos y comportamientos internos del sistema. Las leyes que rigen el sistema son totalmente conocidas, utilizan las ecuaciones físicas básicas tales como conservación de la masa, momento y energía para describir estos procesos hidrológicos. Pueden permitir diferentes predicciones de un sistema bajo cualquier condición, se asume que la recolección de datos requeridos es posible. Sin embargo, estos modelos son difíciles de desarrollar ya que sólo pueden ser utilizados en sistemas físicos limitados o para investigaciones específicas (Jajarmizadeh, Harum, & Salarpour, 2012). Un ejemplo de este tipo de modelo es TOPMODEL (Beven & Kirkby, 1979).



c) Modelos conceptuales

Los modelos conceptuales o también llamados de caja gris, se encuentran en un intermedio entre los empíricos y los de base física. Generalmente consideran leyes físicas, pero con una gran simplificación, utilizan técnicas matemáticas y utilizan almacenamientos o tanques para representar los balances de agua. Ejemplos de estos modelos son el HBV, SAC-SMA (Burnash, Ferral, & McGuire, 1973) y SOCONT (Schaefli, Hingray, Niggli, & Musy, 2005).

2.3.2. Según las técnicas involucradas en la modelación

a) Modelos determinísticos

Los modelos matemáticos de tipo determinístico son aquellos que tienden a establecer relaciones cuantitativas de causa-efecto, utilizando una relación directa para obtener una respuesta debida a un requerimiento, sea por medio de una ecuación empírica o por medio de un operador desarrollado a partir de criterios e hipótesis experimentales.

En un modelo determinístico no se considera la probabilidad de ocurrencia de valores y de variables implicadas en el proceso, pero si se considera que tal proceso esté representado (implícita o explícitamente) por una hipótesis, según la cual, el conocimiento de las leyes de la evolución de los fenómenos físicos y de su estado actual, permiten prevenir rigurosamente sus estados futuros en la física clásica.

Un modelo determinístico se utiliza en el caso que se disponga de poca información, caso frecuente de las obras de ingeniería hidráulica, en los cuales uno tiende a reconstruir indirectamente la evolución de los escurrimientos y flujos superficiales a partir del conocimiento de los eventos de lluvia diaria, de la cual se dispone generalmente de series temporales de datos.

Un modelo determinístico consiste en una serie de submodelos, los cuales cada uno representa un proceso hidrológico particular (infiltración, flujo superficial, etc.) y usualmente es estructurado de acuerdo a ello.

b) Modelos estocásticos

Los modelos estocásticos tienen su fundamento en el máximo aprovechamiento de la información contenida en las muestras analizadas. Su utilización como modelos predictores input – output en la evaluación de aportaciones es prácticamente nula, pues dada su sencillez (son generalmente lineales) están muy limitados en cuanto a la representación de los procesos hidrológicos. Presentan como ventaja frente a los determinísticos que su formulación estocástica facilita la obtención de las incertidumbres en las estimas de parámetros y variables (Estrela, 1992).

Cuando una variable aleatoria puede ser observada de una manera secuencial, X_1 , X_2 , ..., X_n donde el subíndice representa intervalos de tiempo, a tal secuencia se le denomina serie temporal estocástica. Un modelo matemático que representa un proceso estocástico se le denomina “modelo estocástico” o “modelo de series de tiempo”. Este modelo tiene una cierta forma o estructura matemática y un conjunto de parámetros (Estrela, 1992).

Una expresión general sería la siguiente:

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-n}, X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-m}, \theta) + \varepsilon_t$$

Donde:

Y_{t-i} : Vector formado por las variables de salida del sistema en el instante $t - i$, $i = 0, n$.

X_{t-j} : Vector formado por las variables de entrada al sistema en el instante $t - j$, $j = 0, n$.

θ : Vector de parámetro del modelo.



ϵ_t : Vector de residuos o errores del modelo en el instante t.

En general los modelos estocásticos asumen que la serie de residuos, ϵ_t , es independiente en el tiempo y se distribuye normalmente. Estas hipótesis deben satisfacerse con los valores estimados de los parámetros Θ .

Las aplicaciones fundamentales de los modelos estocásticos en la evaluación y análisis de los recursos hídricos son las siguientes:

- Completado de series de precipitación y de aportaciones en la red fluvial.
- Generación de series sintéticas de aportaciones, cuya finalidad no es en sí misma la evaluación del recurso, ya que esta se tiene con la serie histórica, sino su análisis probabilístico.

2.3.3. Según su representación espacial

a) Modelos agregados

Una de las principales limitaciones en la modelación de cuencas es el desconocimiento de las propiedades del suelo y de los procesos involucrados en los flujos subsuperficiales y subterráneos. Esta limitación es superada si se asume que la cuenca es homogénea, tanto en sus procesos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, afirmación que es válida para cuencas pequeñas (Cabrera, 2012).

Los modelos agregados consideran la cuenca como un todo, donde los parámetros y variables son constantes en el espacio. La ventaja de estos modelos es que no necesitan de la calibración de muchos parámetros y tienen unas expresiones matemáticas sencillas, sin embargo, no muestran la variabilidad interna del sistema, sino que sus resultados son la representación de su situación media. El modelo de precipitación-escorrentía de Témez



es un claro ejemplo de modelo agregado, así como también el modelo HEC-HMS (USACE, 2000).

b) Modelos distribuidos

Con el fin de tener una mayor representatividad de la cuenca, los modelos distribuidos la discretizan en un gran número de elementos pequeños regulares e irregulares, grillas o mallas donde el flujo de agua va pasando de un punto o nodo hacia el siguiente y así el agua drena por toda la cuenca, teniendo variabilidad espacial de parámetros, variables y resultados, permitiendo así interacción entre los diferentes procesos en cada una de las celdas generadas. Este tipo de modelos representa de muy buena manera la heterogeneidad de la cuenca capaz de obtener resultados en cada celda, sin embargo, requiere de una gran cantidad de datos que puede que no existan o se encuentren incompletos, mayor cantidad de parámetros para calibrar, mucho tiempo para ajustarlos y recursos computacionales considerables (Tellez, 2016). Ejemplos de este tipo de modelos son TETIS, y TOPMODEL.

c) Modelos semidistribuidos

Cuando las cuencas ya no son pequeñas, muchas características de ella no se pueden asumir como homogéneas en toda su superficie con lo que se pueden discriminar zonas de similar comportamiento hidrológico y analizar cada una de forma independiente para posteriormente combinar sus efectos. Para evitar las dificultades de los modelos distribuidos, se desarrollaron los modelos semidistribuidos los cuales son un término medio entre los agregados y los distribuidos, en la que la cuenca es dividida en diferentes subcuencas o unidades de mayor tamaño que las grillas de los modelos distribuidos, que a su vez son tratadas como una sola unidad al juntarse. Su estructura tiene una mejor base física que los modelos agregados y requiere menor cantidad de datos de entrada que los

distribuidos (Tellez, 2016). Un claro ejemplo del modelo semidistribuido es el HBV y el SAC-SMA.

En la Figura 2 se pueden apreciar los 3 tipos de modelos según su representación espacial:

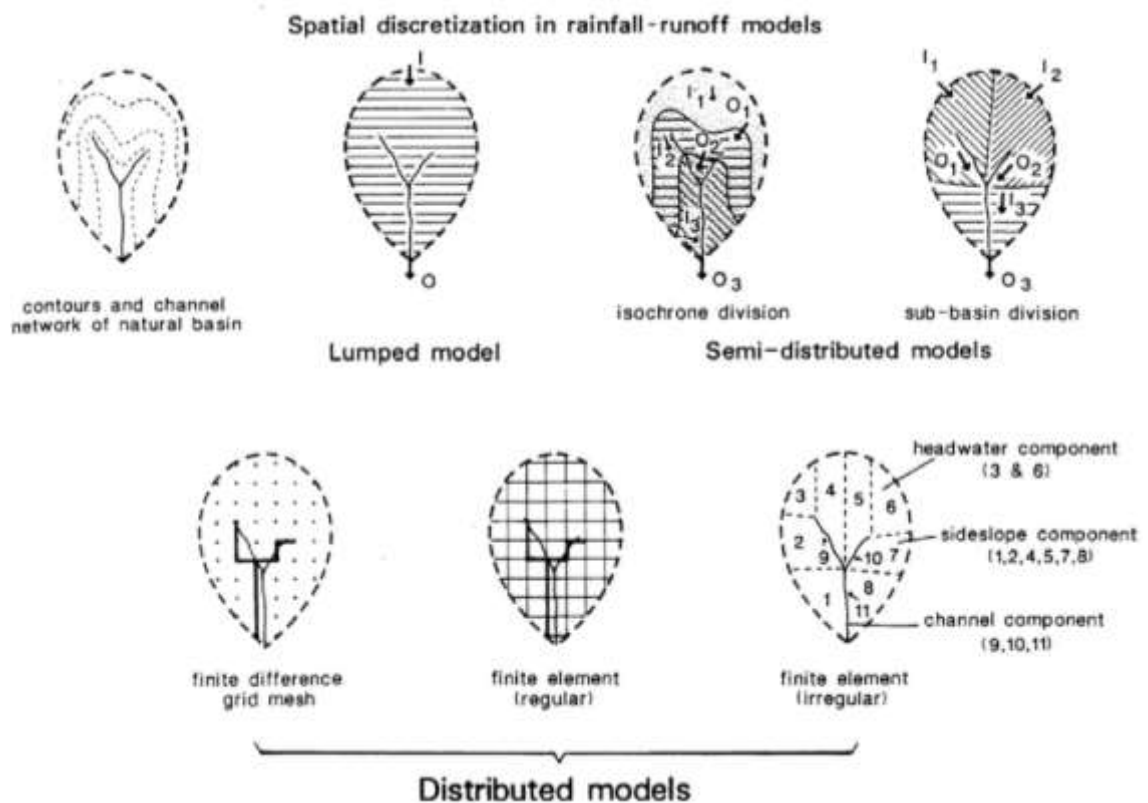


Figura 2. Modelos hidrológicos según su distribución espacial.

Fuente: Xu (2002).

2.3.4. Según la escala temporal

a) Basado en eventos

Los modelos basados en eventos simulan el sistema para un sólo evento específico en un pequeño intervalo de tiempo que puede ser desde una hora o menos hasta muchos días (Jajarmizadeh, Harum, & Salarpour, 2012).



b) Proceso continuo

Los modelos de proceso continuo realizan simulaciones para uno o varios eventos en grandes intervalos de tiempo que pueden ser bastantes años. Una de las grandes ventajas de este tipo de modelos es que pueden tener más éxito para cuencas no aforadas y para el estudio de las características a largo plazo de un sistema.

2.4. PROCESO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA

El proceso de modelación consiste en la realización de operaciones dentro de un sistema para la obtención de las salidas del mismo. En este caso el sistema con que se trabaja es un sistema hidrológico o cuenca, en donde se tiene los siguientes elementos: (Singh, 1955).

- Variables de entrada (Inputs): Series de datos a partir de las cuales las ecuaciones del modelo realizan los cálculos pertinentes. Precipitación, temperatura, evapotranspiración, etc.
- Parámetros: Son las características del sistema que en general permanecen constantes en el tiempo. Velocidad de infiltración, coeficientes de descarga, capacidad de campo, etc.
- Variables de estado: Definen el estado del sistema en cada momento. Humedad del suelo, almacenamiento en los tanques, etc.
- Ecuaciones: Expresiones matemáticas que reflejan la simplificación del sistema.
- Salidas (outputs): Flujos de salida y/o variables de interés de la cuenca. Flujos intermedios, flujo final, infiltración, etc.

2.4.1. Calentamiento

El periodo de calentamiento es la etapa en la cual se realiza la simulación en un pequeño intervalo de tiempo previo a la calibración, en donde se busca inicializar el modelo para neutralizar el efecto y/o reducir la influencia de las condiciones iniciales que son desconocidas, para así al final del calentamiento obtener unos valores que serán



utilizados como condiciones iniciales para la calibración, pueden ser tales como humedad inicial, altura de nieve, altura de lámina de agua, etc.

2.4.2. Calibración

La calibración es el proceso mediante el cual buscamos ajustar los valores de los parámetros de un modelo para que pueda reproducir mejor las condiciones específicas del sistema. En esta etapa se intenta lograr la mejor concordancia entre las predicciones del modelo y las observaciones de respuesta actual de la cuenca, al identificar los parámetros efectivos con los cuales la diferencia entre estas predicciones y observaciones sea menor posible (Cabrera, 2012).

Para poder hallar estos parámetros se puede realizar de dos maneras, la primera mediante calibración manual o también llamada prueba y error, en donde se realiza un ajuste manual a criterio propio, suele ser un proceso lento y en algunos casos no muy efectivo; la segunda es mediante la calibración automática en la que se optimiza utilizando técnicas numéricas de optimización, es un método más eficaz y conciso, aunque el tiempo que se tarda en arrojar los resultados depende del modelo, de la cantidad de parámetros y la escala temporal. Para evaluar las diferencias entre los resultados de la simulación se hace uso de índices de eficiencia y función objetivo los cuales son explicados más adelante (Tellez, 2016).

2.4.3. Validación

Una vez que el modelo esté calibrado éste debe ser verificado para identificar su precisión, se realiza la simulación utilizando un periodo diferente al del paso anterior para evaluar que tan correctos son los parámetros arrojados en el proceso de calibración y comprobar si el modelo es estable. Si el modelo se encuentra bien calibrado, éste debe arrojar buenos resultados en cuanto a índices de eficiencia y función objetivo, ya que



estos representan la bondad del ajuste del modelo en cuanto a los datos simulados y los observados. Existen tres tipos de validación siendo en el tiempo, en el espacio y en el espacio-tiempo, en donde las dos últimas son exclusivas de los modelos distribuidos (Tellez, 2016).

2.5. REPRESENTACIÓN CONCEPTUAL DE LOS MODELOS PROPUESTOS

Software RS MINERVE

El software a utilizar es el RS-Minerve (Routing System Minerve) desarrollado en conjunto por el Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin (CREALP) y la oficina de ingeniería Hydro Cosmos SA junto con la colaboración de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL), creado y distribuido gratuitamente desde 2011 (Garcia, et al., 2016).

RS Minerve es un programa para la simulación de la formación y propagación de la escorrentía superficial. Modela redes hidráulicas e hidrológicas complejas de acuerdo a un esquema conceptual semidistribuido. Tiene en cuenta procesos hidrológicos comunes tales como fusión de nieve, fusión glaciaria, escorrentía superficial y subterránea, así como elementos de control hidráulicos como lo son compuertas, reservorios, aliviaderos, desviaciones, uniones, turbinas, bombas e hidroeléctricas (Garcia, et al., 2016).

Contiene diferentes modelos hidrológicos de simulación precipitación-escorrentía tales como GSM (Glacier and Snowmelt), SOCONT (Soil Contribution), SAC-SMA (Sacramento-Soil Moisture Account), GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) y HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning). Así como otras herramientas útiles donde se destacan el elemento de estación meteorológica en donde se ingresan datos como precipitación, temperatura, evapotranspiración, y el elemento fuente en donde se ingresan



los datos de valores considerados reales y medidos para tomar como referencia que en este estudio serán los caudales de las estaciones de aforo (García, et al., 2016).

Este software posee una sección avanzada llamada RS Expert creada especialmente para investigación o estudios complejos, permitiendo una evaluación en profundidad de los resultados hidrológicos e hidráulicos. Esta sección se compone de 4 módulos:

El primer módulo el cual es el utilizado en este trabajo, es el de calibración automática en el que se puede elegir entre tres tipos de algoritmos los cuales calculan el mejor grupo de parámetros hidrológicos dependiendo de la función objetivo definido.

El segundo módulo es el de simulación de escenarios en el que se presenta la posibilidad de simular múltiples escenarios climáticos o varios grupos de parámetros y condiciones iniciales para estudiar la variabilidad y sensibilidad de los resultados del modelo.

El tercer módulo es el de simulación en intervalos de tiempo el cual facilita el análisis de grandes grupos de datos sin sobrecargar la memoria del computador, en donde en vez de utilizar toda la serie histórica de datos solo se utiliza una parte de ella la cual se considere más importante.

El cuarto módulo es la simulación estocástica que es capaz de generar un grupo de simulaciones basadas en diferentes parámetros o condiciones iniciales con valores ubicados en intervalos aleatorios que deben ser definidos.

Además, presenta un elemento denominado comparador el cual contrasta los resultados de la simulación realizada con los datos reales ingresados en el elemento fuente, mediante 7 tipos de índices de eficiencia los cuales son el coeficiente de Nash, coeficiente de Nash para valores logarítmicos, coeficiente de correlación de Pearson, bias

score, raíz relativa del error cuadrático medio (RRMSE), volumen relativo bias y el error pico normalizado (NPE).

En la Figura 3 se presenta la interfaz principal del software RS-Minerve, en donde se ha colocado el esquema simplificado a utilizar en este estudio para la cuenca del río Huancané, en el cual se aprecian los cuatro elementos básicos y fundamentales que se requieren, siendo la estación meteorológica, el modelo de subcuenca (SAC-SMA), la demanda (el comparador), y la estación de aforo a usar como fuente de datos de referencia.

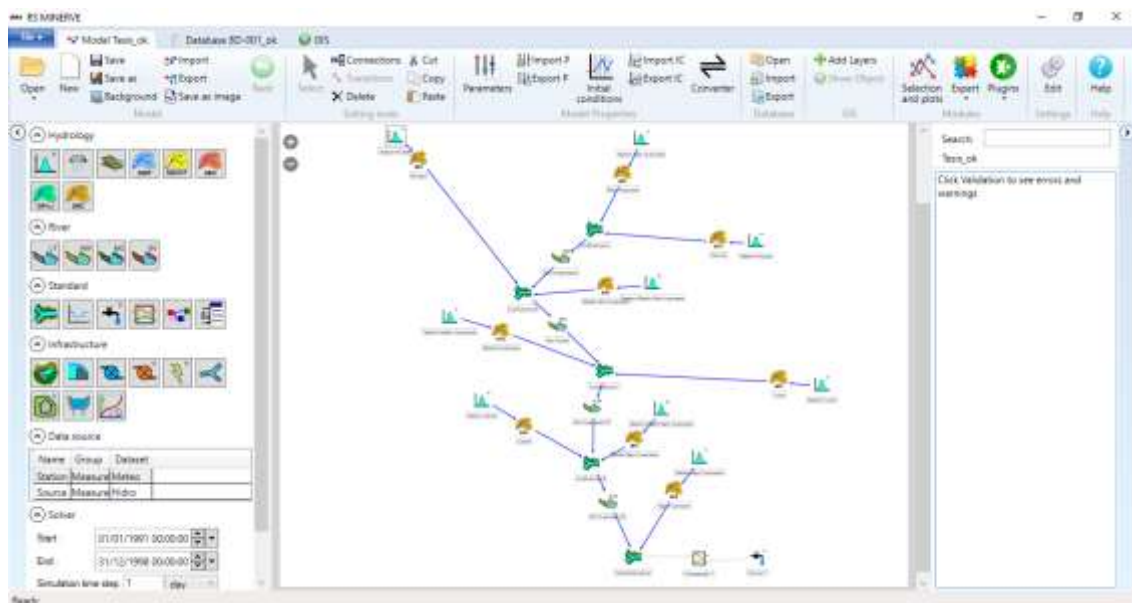


Figura 3. Interfaz del Software RS MINERVE.

2.5.1. Modelo lluvia escorrentía HBV

El modelo HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) es un modelo determinístico y conceptual, fue desarrollado por (Bergström, 1992) en el instituto meteorológico e hidráulico de Suecia.

Este modelo estima la escorrentía en una cuenca a partir de los datos de precipitación (P), temperatura (T) y evapotranspiración (ETO). El modelo HBV describe

el balance de agua usando tres depósitos de almacenamiento: una zona de humedad del suelo, una zona de almacenamiento superior (flujo de tormenta sub superficial) y una zona de almacenamiento inferior. Incluye un algoritmo para la acumulación de nieve y el deshielo (Basado en el método de grado - día), Figura 4.

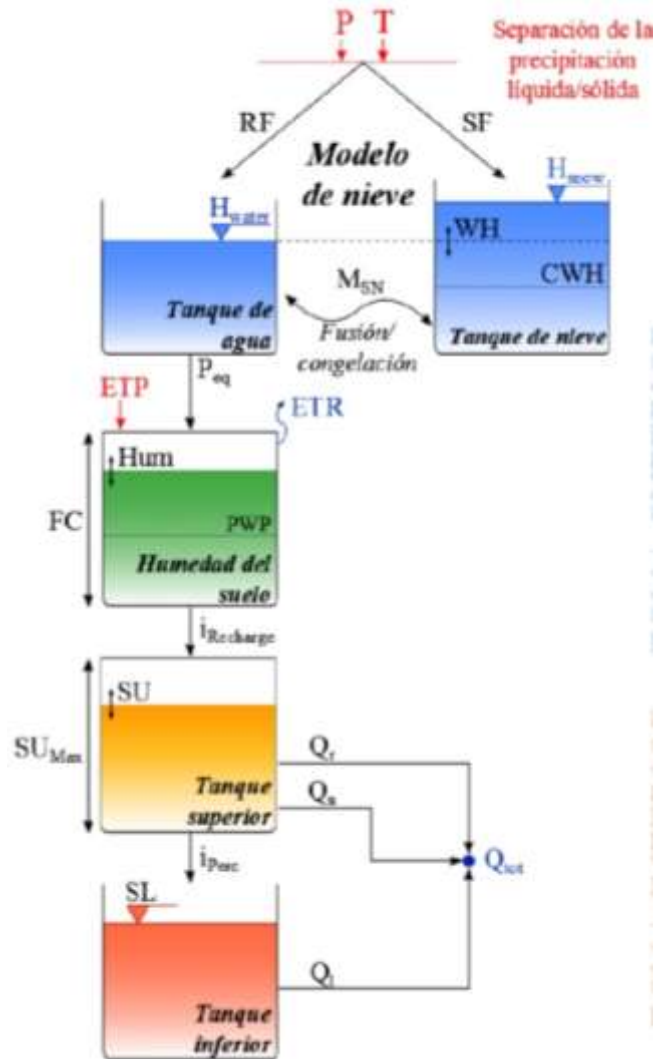


Figura 4. Modelo HBV.

Fuente: Garcia, Arquiola, Foehn, & Roquier, (2016)

El modelo utiliza un total de 14 parámetros para la calibración que se muestran en la Tabla 1, variables en condiciones iniciales.

Tabla 1. Parámetros y condiciones iniciales del modelo HBV.

Parámetro	Unidad	Descripción	Rango regular
A	m ²	Área de la cuenca	>0
CFMax	mm/°C/día	Coefficiente de deshielo	0.5 a 20
CFR	-	Factor de Congelación	0.05
CWH	-	Contenido crítico del agua en la nieve acumulada	0.1
TT	°C	Temperatura umbral de lluvia/mezcla de nieve	0 a 3
TTInt	°C	Intervalo de temperatura para lluvia nieve	0 a 3
TTSM	°C	Temperatura umbral para el derretimiento de nieve	0
Beta	-	Coefficiente forma	1 a 5
FC	m	Máxima capacidad de almacenamiento del suelo	0.050 a 0.65
PWP	-	Punto de marchitez permanente del suelo	0.03 a 1
SUMax	m	Nivel umbral del agua del Reservorio superior (Upperreservoir)	0 a 0.10
Kr	1/d	Coefficiente de liberación del flujo superficial	0.05 a 0.5
Ku	1/d	Coefficiente de liberación del Inter flujo	0.01 a 0.4
Kl	1/d	Coefficiente de liberación del flujo base	0 a 0.15
Kperc	1/d	Coefficiente de liberación de percolación	0 a 0.8
HsnowIni	m	Altura inicial de nieve	-
WHIni	-	Contenido relativo inicial de agua en la nieve	-
HIni	m	Humedad inicial	-
SUIni	m	Nivel inicial del agua del depósito superior	-
SLIni	m	Nivel inicial del agua del depósito inferior	-

Fuente: García Hernández et al. (2016)

2.5.2. Modelo lluvia escorrentía SAC-SMA

El modelo SAC-SMA (Sacramento Soil Moisture Accounting) o modelo hidrológico Sacramento fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos División Norte conjuntamente con el personal del Centro de Predicción Fluvial del Servicio de Meteorológico Nacional de Estados Unidos y el Departamento de Recursos Hídricos, en Sacramento, California en la década de los 70 (Burnash et al., 1973). El SAC o Sacramento Soil Moisture Accounting es un modelo determinístico conceptual que requiere información de precipitación y evapotranspiración media diaria para generar descargas del mismo paso de tiempo (García, et al., 2016).



Este modelo representa las características de la humedad del suelo que se distribuye en una manera físicamente realista en las distintas zonas y estados de la energía del suelo, modelo ideal para la simulación de cuencas grandes mayores a 1000 km². El modelo, con una gran capacidad para simular descargas medias diarias requiere de 16 parámetros (Tabla 2) para su calibración aun sin disponer de un submodelo de nieve. Este gran número de parámetros implica un conocimiento profundo de la cuenca a simular, con información sobre la cobertura vegetal o áreas permeables e impermeables (García, et al., 2016).

El modelo SAC (Figura 5) se estructura en tres reservorios complejos, todos ellos influidos por la evapotranspiración (ETO). El primero, de color plomo, está dividido en sectores permeables e impermeables que producen escorrentía superficial cuando la lluvia supera la tasa de infiltración. El reservorio de color celeste representa la capa superior del suelo (denominada zona superior o Upper zone), donde se origina el inter flujo, que puede entenderse como la transferencia de agua lateral al caudal base y que solo se produce cuando se satura la zona superior. El tercer reservorio representa la zona inferior del suelo (zona inferior o Lower zone) y está vinculado a los procesos de descarga con respuesta lenta. Finalmente, los tres reservorios originan el caudal total simulado por el modelo (García, et al., 2016).

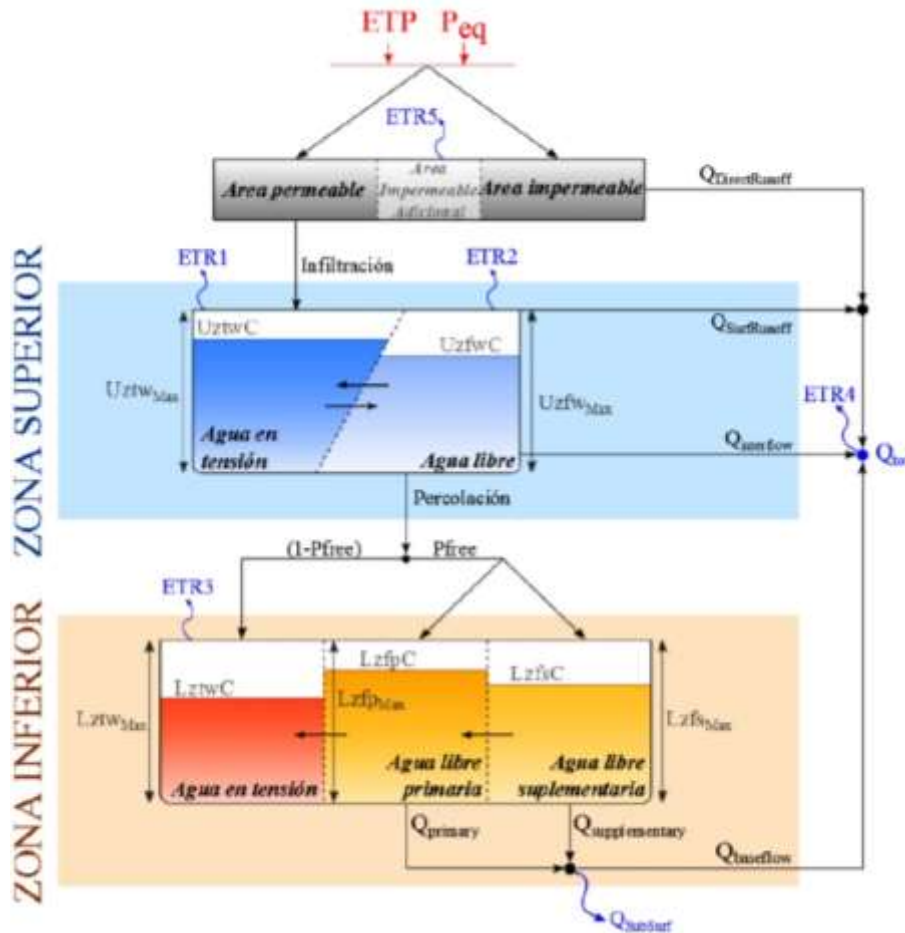


Figura 5. Modelo SAC-SMA.

Fuente: Garcia Hernandez et al., (2016)

Tabla 2. Parámetros y condiciones iniciales del modelo SAC-SMA.

Parámetro	Und	Descripción	Rango regular
A	m ²	Área de la cuenca	>0
Adimp	-	Área impermeable adicional (fracción)	0 a 0.2
Pctim	-	Fracción permanente de área impermeable	0 a 0.05
Riva	-	Fracción de cobertura vegetal	0 a 0.2
Uz _{tw} Max	m	Capacidad de la tensión de agua en la capa superior	0.01 a 0.15
Uz _{fw} Max	m	Capacidad del agua libre en la capa superior	0.005 a 0.1
Uzk	1/día	Tasa de retiro de la capa superior	0.1 a 0.75
Zperc	-	Coefficiente de la relación de percolación	10 a 350
Rexp	-	Exponente de la relación de percolación	1 a 4
Pfree	-	Fracción de la percolación que va a LZFW	0 a 0.6
Lz _{tw} Max	m	Capacidad de la tensión de agua en la capa inferior	0.05 a 0.4
Lz _{fp} Max	m	Capacidad del agua libre primario en la capa inferior	0.03 a 0.8
Lz _{fs} Max	m	Capacidad del agua libre suplementario en la capa inferior	0.01 a 0.4

Parámetro	Und	Descripción	Rango regular
Rserv	-	Fracción del agua almacenada en la zona más baja no transferible	0 a 1
Lzpk	1/día	Tasa de retiro diario de LZFP	0.001 a 0.03
Lzsk	1/día	Tasa de retiro diario de LZFS	0.02 a 0.3
Side	-	Fracción del flujo base para la recarga profunda	0 a 0.5
AdimIni	m	Tensión inicial del contenido de agua del área Adimp	-
UztwIni	m	Tensión inicial de la zona superior	-
UzfwIni	m	Zona superior inicial contenido de agua libre	-
LztwIni	m	Tensión inicial de la zona inferior contenido de agua	-

Fuente: Garcia Hernandez et al., (2016)

2.6. INDICADORES DE DESEMPEÑO DE LOS MODELOS PROPUESTOS

Los indicadores de desempeño o de bondad de ajuste describen lo bien que se ajusta un conjunto de observaciones. Las medidas de bondad en general resumen la discrepancia entre los valores observados y los valores esperados en el modelo de estudio. En el RS Minerve, se cuenta con el objeto Comparador (Comparator object en el RS-Minerve) que ofrece ocho valores de indicadores de bondad:

2.6.1. Coeficiente de Nash-Sutcliffe

El coeficiente de Nash- Sutcliffe es una estadística normalizada que determina cuánto de la variabilidad de las observaciones (datos medidos) es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, Nash=1; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces Nash=0. El rango de valores es de $-\infty < \text{Nash} \leq 1.0$, los valores observados entre 0.0 y 1.0 son considerados niveles aceptables de desempeño, cuando los valores de Nash son menores a 0.0, esto indica que el promedio de descargas observadas (\bar{Q}_{ref}) es un mejor predictor que la descarga simulada, lo cual es inaceptable. La ecuación es:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})^2}{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})^2}$$



Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

2.6.2. Coeficiente logarítmico de Nash-Sutcliffe

Se suele utilizar este coeficiente (Nash-ln) para conseguir disminuir el problema de las cuencas con alto dinamismo de caudales, lo que se traduce en dejar los caudales altos a un nivel comparable con los caudales bajos y así mejora el valor del indicador de eficiencia. Es decir, que reduce el problema de las diferencias cuadráticas y la sensibilidad resultante en valores extremos por el Nash

Se calculó el coeficiente de Nash-ln empleando valores logarítmicos del caudal observado y del caudal simulado, como resultado la influencia de caudales bajos incrementa los errores y hace más sensible a la medida del criterio estadístico. La ecuación es:

$$Nash - ln = 1 - \frac{\sum_{t=ti}^{tf} (\ln(Q_{sim,t}) - \ln(Q_{ref,t}))^2}{\sum_{t=ti}^{tf} (\ln(Q_{ref,t}) - \ln(\bar{Q}_{ref}))^2}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s).

2.6.3. Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (Pearson) describe el grado de relación lineal entre los datos simulados y los datos observados. El coeficiente de correlación oscila entre -1 a 1 . Si $r = 0$, no existe relación lineal, si $r = 1$ o -1 , existe una perfecta relación lineal positiva o negativa. Aunque coeficiente de correlación de Pearson ha sido ampliamente utilizado para la evaluación del modelo, estas estadísticas son demasiado sensible a valores extremos. La ecuación es:

$$Pearson = \frac{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{sim,t} - \bar{Q}_{sim}) * (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})}{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{sim,t} - \bar{Q}_{sim})^2 * (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})^2}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{sim} : promedio de descargas simuladas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s).

2.6.4. Eficiencia Kling-Gupta

La eficiencia Kling-Gupta proporciona un indicador para los problemas de modelamiento hidrológico, que facilita un análisis global basado en diferentes componentes como: correlación, Bias Score y variabilidad (Gupta, Kling, Yilmaz, & Martinez, 2009). El valor de KGE' varía de 0.0 a 1.0 , siendo 1.0 la mejor representación del modelo. La ecuación es:

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

Donde:



r : coeficiente de correlación entre las descargas simuladas y observadas.

β : proporción entre la media de las descargas simuladas y la media de las descargas observadas.

γ : proporción de la variabilidad, proporción entre el coeficiente de variación de las descargas simuladas y el coeficiente de variación de las descargas observadas.

2.6.5. Bias Score

El Bias Score es una estimación simétrica entre la inversa de la descarga promedio simulado y la descarga promedio observada. El BS se encuentra entre el rango de 0.0 a 1.0, siendo 1.0 la mejor representación del modelo. La ecuación es:

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

Donde:

\bar{Q}_{sim} : promedio de descargas simuladas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

2.6.6. Error relativo de la raíz cuadrática media

Error relativo de la raíz cuadrática media (RRMSE) permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores de las descargas simuladas respecto a los valores de las descargas observadas y estos son normalizados por el promedio de las descargas observadas. El rango de valores es de $0 < RRMSE < +\infty$, siendo clasificados como excelente a los valores menores a 0.1, buenos a valores entre 0.1 a 0.2, validos a los valores entre 0.2 a 0.3 y pobre a los valores mayores a 0.3. La ecuación es:



$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})^2}{n}}}{\bar{Q}_{ref}}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

n : número de descargas observadas

2.6.7. Volumen relativo Bias

El volumen relativo Bias (RVB) corresponde al error relativo entre las descargas simuladas y las descargas observadas, durante el periodo de estudio. El rango de valores es de $-\infty < RVB < +\infty$, para los valores cercanos a cero indica una buena simulación. Los valores negativos indican que las descargas promedio simuladas son menores que las descargas promedio observadas, del mismo modo ocurre lo opuesto cuando el valor es positivo. La ecuación es:

$$RVB = \frac{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})}{\sum_{t=ti}^{tf} Q_{ref,t}}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s).

2.6.8. Error pico normalizado

El error pico normalizado (NPE) indica el error relativo entre las descargas simuladas pico y las descargas observadas pico. El rango de valores es de $-\infty < NPE < +\infty$, los valores negativos significan que la descarga máxima simulada es menor que la descarga máxima observada, mientras que los valores positivos significan lo opuesto. Los valores cercanos a cero indican la buena simulación de las descargas máximas simuladas respecto a las descargas máximas observadas. La ecuación es:

$$NPE = \frac{S_{max} - R_{max}}{R_{max}}$$

Donde:

$$S_{max} = \bigvee_{t=ti}^{tf} Q_{sim,t} \quad R_{max} = \bigvee_{t=ti}^{tf} Q_{ref,t}$$

S_{max}: descarga máxima simulada en el periodo de estudio (m³/s)

R_{max}: descarga máxima observada en el periodo de estudio (m³/s)

El NPE varía de $-\infty$ a $+\infty$. Los valores negativos se devuelven cuando la descarga máxima simulada está por debajo de la observada, mientras que los valores positivos significan lo contrario. Los valores cercanos a cero indican un buen rendimiento de los picos simulados con respecto a los observados.

2.7. ALGORITMOS DE CALIBRACIÓN EN RS MINERVE

El Software RS MINERVE presenta un módulo llamado “Calibrator” que tiene la finalidad de calibrar los parámetros del modelo hidrológico. Este módulo utiliza una función objetivo definida por el usuario y lo resuelve mediante tres algoritmos diferentes.

- Shuffled Complex Evolution – University of Arizona

- Uniform Adaptive Monte Carlo
- Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock

2.7.1. Función Objetivo

La función objetivo (OF) es utilizada para evaluar los resultados de las simulaciones hidrológicas por medio de índices de eficiencia.

Este módulo de calibración puede adaptarse a los requisitos de cada usuario, es decir que se puede combinar los índices de eficiencia utilizando una optimización multiobjetivo para calibrar el modelo hidrológico. En la Tabla 3 se muestran los indicadores de desempeño que utiliza la función objetivo OF, cada uno ponderado con un valor definido por el usuario.

Tabla 3. Indicadores de bondad con sus valores referenciales

Indicador	Peso	Min	Max	Valor Ideal
Nash	W1	$-\infty$	1	1
Nash-In	W2	$-\infty$	1	1
Pearson Correlation Coeff	W3	-1	1	1
Kling-Gupta Efficiency (KGE)	W4	$-\infty$	1	1
Bias Score (BS)	W5	0	1	1
RRMSE	W6	0	∞	0
Relative Volume Bias (RVB)	W7	$-\infty$	∞	0
Normalized Peak Error (NPE)	W8	$-\infty$	∞	0

Fuente: Garcia Hernandez et al., (2016)

La función objetivo OF se presenta en la siguiente ecuación y tiene en cuenta los valores ideales de cada indicador. Por lo tanto, la OF busca maximizar los primeros cinco indicadores (Nash, Nash-In, Pearson, Kling-Gupta y BS) ya que su valor ideal es igual al valor máximo posible y, al mismo tiempo, minimizar el valor o el absoluto valor para los últimos tres indicadores (RRMSE, RVB, NPE) ya que su valor ideal corresponde a cero.



$$OF = \max (Nash * w_1 + Nashln * w_2 + Pearson * w_3 + KGE * w_4 + BS * w_5 \\ - RRMSE * w_6 - |RVB * w_7| - |NPE * w_8|)$$

2.7.2. Shuffled Complex Evolution - University of Arizona (SCE-UA)

El algoritmo Shuffled Complex Evolution, desarrollado en la Universidad de Arizona, es un método de optimización global diseñado para resolver problemas en la calibración de modelos hidrológicos.

2.7.3. Uniform Adaptive Monte Carlo

El algoritmo Uniform Adaptive Monte Carlo (UAMC) está basado en los experimentos Montecarlo que realizan muestreos aleatorios para obtener resultados de simulación, El algoritmo lanza aleatoriamente una colección de simulaciones (bloque) y encuentra los mejores resultados en el espacio de solución. Después, el espacio de solución se ajusta y comienza un nuevo grupo de simulaciones. El proceso se repite hasta que la optimización converge con el mejor conjunto de parámetros.

2.7.4. Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock

El algoritmo Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock (CLHR) genera una poderosa herramienta de optimización de problemas complejos. Este algoritmo combinado puede discretizar un amplio dominio de datos y luego especificar la búsqueda en un sector más pequeño.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Ubicación política

La cuenca Huancané, políticamente se encuentran ubicadas en la región Puno y abarca las provincias de Huancané, Moho, San Antonio de Putina y Azángaro

Ubicación geográfica

La cuenca del río Huancané se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM (WGS84) Este: 376030 – 468557, Norte: 8301965 – 8397410 a una altitud de 3,806 - 5,100 msnm.

Ubicación hidrográfica

Hidrográficamente se encuentra ubicada en la región hidrográfica del Titicaca.

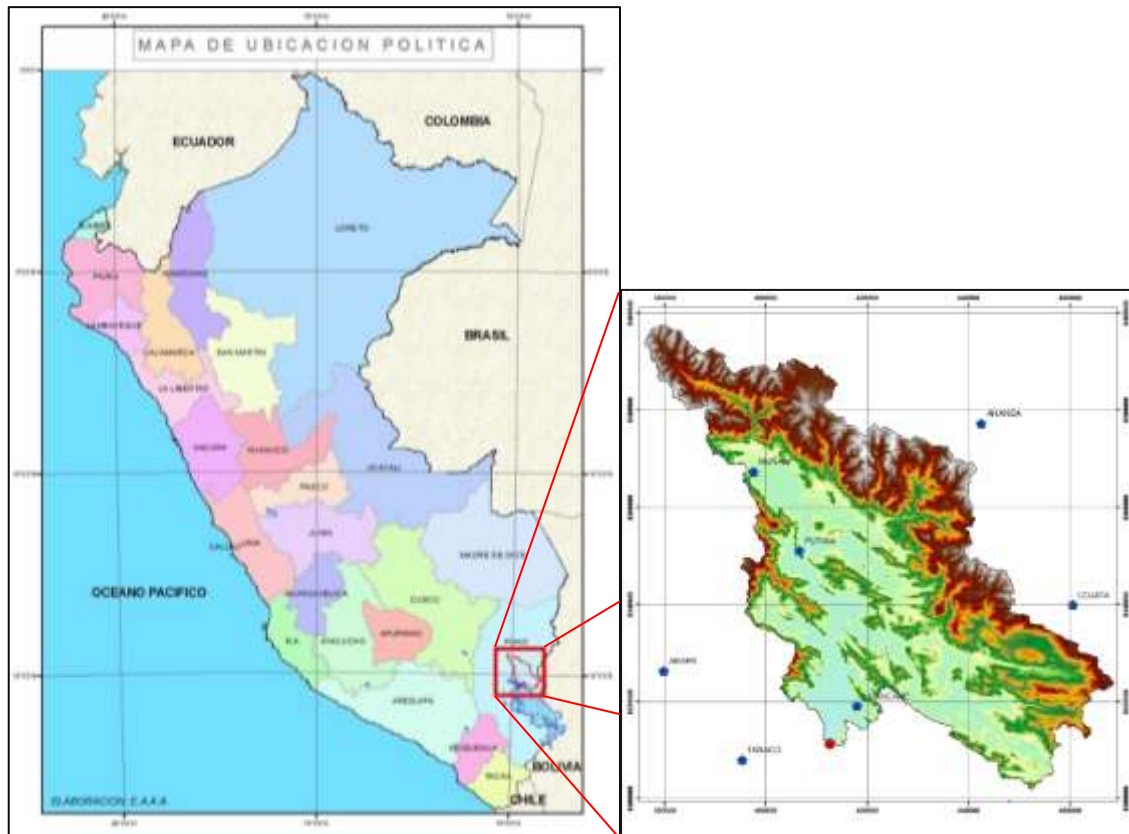


Figura 6. Ubicación del área de estudio.

3.2. MATERIALES

Para el desarrollo del presente trabajo se ha recurrido básicamente a la información cartográfica e hidrometeorológica. A continuación, se detalla cada una de estas informaciones en forma breve.

3.2.1. Información cartográfica

Para el análisis cartográfico, se ha utilizado Modelo Digital de Elevación (DEM) ALAOS - PALSAR, información proveniente del Satélite ALASKA SATELLITE FACILITY – NASA EARTHDATA (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>) que proporciona un DEM con una resolución espacial de 12.5 metros del cual se pueden obtener curvas de nivel con esta diferencia en elevación entre ellas y cuyos códigos de DEM utilizados se incluyen también en la Tabla 4.

Tabla 4. Modelo Digital de Terreno DEM del Satélite ALASKA

Código	Fuente	Nombre
AP_24944_FBD_F6890_RT1. dem	ALASKA SATELITE ALOS PALSAR	Hi-Res Terrain Corrected

Con esta información del Satélite ALASKA se ha construido un modelo de elevación digital de la zona de estudio y consecuentemente se determinó los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Huancané.

3.2.2. Información hidrometeorológica

Se utilizaron 11 estaciones pluviométricas y una estación hidrométrica; la longitud de la información es de 25 años (1991 – 2015). En la Tabla 5 se presentan las estaciones utilizadas, así como la ubicación geográfica de cada estación meteorológica y en la Tabla 6 se presenta la longitud de la información de las estaciones meteorológicas; así mismo en la Tabla 7 se muestra la ubicación de la estación hidrológica.

Tabla 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané.

Estación	Periodo de registro	Cuenca	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m.)
Ananea	1991 - 2015	Azángaro	69°32'00.0"	14°40'42.4"	4600
Arapa	1991 - 2015	Interc. Ramis	70°07'05.6"	15°08'10.5"	3830
Azángaro	1991 - 2015	Azángaro	70°11'28.0"	14°54'53.0"	3863
Cojata	1991 - 2015	Suches	69°22'00.0"	15°01'00.0"	4380
Crucero	1991 - 2015	Azángaro	70°01'25.0"	14°21'46.0"	4183
Huancané	1991 - 2015	Huancané	69°45'45.0"	15°12'12.0"	3890
Huaraya Moho	1991 - 2015	Interc. Titicaca	69°29'03.4"	15°23'17.8"	3890
Muñani	1991 - 2015	Huancané	69°57'06.5"	14°46'01.0"	3948
Progreso	1991 - 2015	Azángaro	70°21'24.7"	14°41'24.4"	3980
Putina	1991 - 2015	Huancané	69°52'03.9"	14°54'52.6"	3878
Taraco	1991 - 2015	Interc. Ramis	69°58'30.0"	15°18'10.0"	3820

Tabla 6. Periodo de información recopilada

Estaciones	PERIODO DE REGISTRO																								
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ananea																									
Arapa																									
Azangaro																									
Cojata																									
Crucero																									
Huancane																									
Huaraya Moho																									
Muñani																									
Progreso																									
Putina																									
Taraco																									

Precipitacion
 Temperatura

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Tabla 7. Ubicación de estación hidrológica

Estación	Periodo de registro	Cuenca	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m.)
Puente Huancané	1991 - 2015	Huancané	69°47'33.3"	15°12'59.3"	4860

3.2.3. Equipos y herramientas

Para la elaboración de la presente investigación se ha utilizado una computadora portátil Core i7 y las siguientes herramientas: Office 2016 ® de Microsoft, Hydraccess, Trend, MINITAB, Sigma plot, Anaconda – Jupyter, ARCGIS versión 10.4.2 ® de ESRI y RS-MINERVE

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Modelo conceptual para la modelización hidrológica

El modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané se realizó con el empleo del software RS Minerve (Routing System Minerve) el cual permite realizar un



análisis semidistribuido de la formación y propagación de la escorrentía superficial de un área determinada.

El procedimiento ha sido delimitar la cuenca del río Huancané en subcuencas o unidades hidrográficas para realizar en cada una de ellas una modelación hidrológica individual a nivel diaria teniendo en cuenta los datos de temperatura, precipitación y evapotranspiración representativos para el centroide de cada unidad, además se ha utilizado la estación de aforo del puente Huancané para poder hacer una comparación entre los caudales simulados por el software RS-Minerve y los datos observados registrados a través de los años por dicha estación y con esto realizar la calibración respectiva de manera manual y/o automática a los parámetros del modelo.

finalmente se precede a realizar la validación de estos parámetros ya calibrados en otro periodo de tiempo. Los índices de eficiencia a utilizar para estimar la efectividad de la calibración y la validación serán Nash, Nash-In, coeficiente de correlación de Pearson y Bias Score, con las cuales se realizará una media ponderada denominada función objetivo para su análisis. Es así que se logra la caracterización y parametrización de las subcuencas y de toda la cuenca Huancané.

3.3.2. Análisis cartográfico de la cuenca

a) Delimitación de cuenca

La delimitación de la cuenca se realizó en el Software ArcGIS 10.4.2, utilizando la herramienta Model Builder, lo cual nos permitió automatizar el proceso de la delimitación de la cuenca Huancané y las sub cuencas, su clasificación, el trazado de la red hídrica, y la determinación de los demás parámetros de la cuenca en base a la información del modelo digital de elevación del satélite ALAOS PALSAR de 12.5 m de pixel. El algoritmo del proceso se puede ver en la Figura 07.

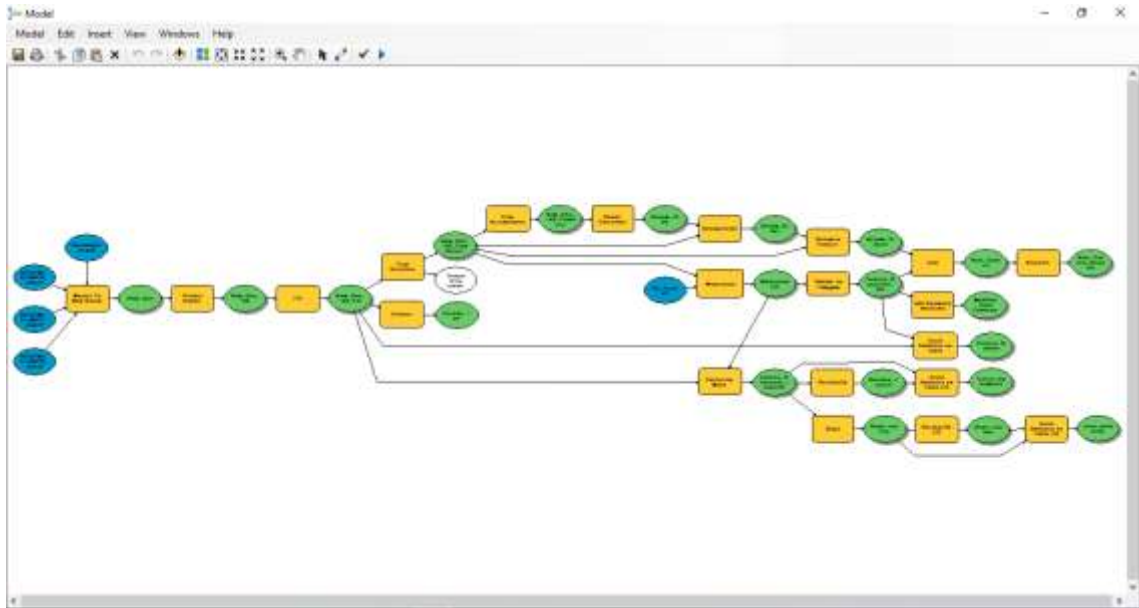


Figura 7. Modelo conceptual del proceso de delimitación de la cuenca Huancané

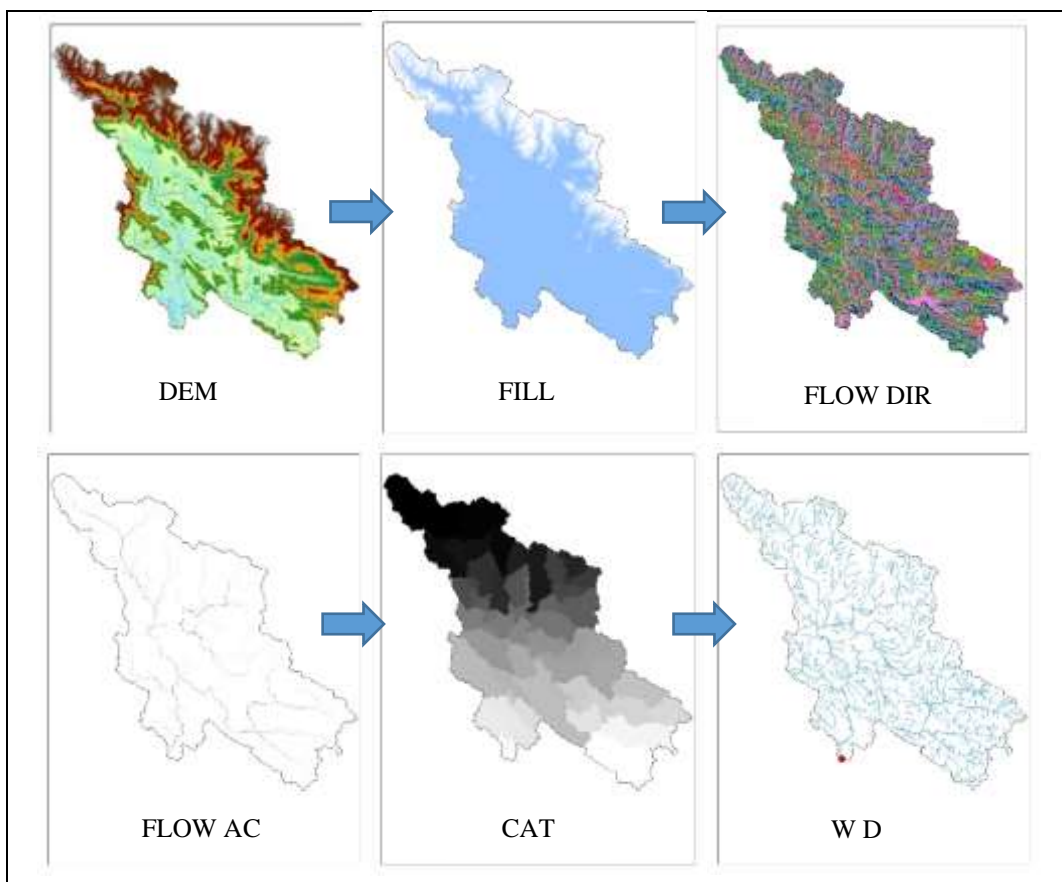


Figura 8. Proceso de delimitación de la cuenca del río Huancané



b) Características geomorfológicas

Se ha determinado los parámetros generales para la caracterización geomorfológica de una cuenca hidrográfica, estos se subdividen en: parámetros de forma, relieve y drenaje.

Parámetros de forma de la cuenca

▪ Área de la cuenca (A)

Es el tamaño de la superficie de cada cuenca expresada en km^2 . El área de una cuenca en general, se encuentra relacionada con los procesos que en ella ocurren.

El área de la cuenca Huancané, delimitada a partir de la estación de aforo Puente Huancané, es de 3525.69 km^2 .

▪ Perímetro de la cuenca (P)

Es la longitud de la divisoria de agua, la cual es una línea imaginaria que divide la precipitación que cae en cuencas vecinas y que encamina la escorrentía superficial resultante para uno u otro sistema fluvial. Expresada en km.

El perímetro de la cuenca Huancané, delimitada a partir de la estación de aforo Puente Huancané es de 429.50 km .

▪ Longitud de río principal (L)

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud.

La longitud del río principal de la cuenca del río Huancané es de 115.54 km ., y la longitud total de los rios es de 1783.40 km .



- **Ancho promedio de la cuenca (W)**

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra (w).

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

W = Ancho promedio de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

L = Longitud del cauce principal (km).

El ancho promedio de la cuenca del río Huancané es de 30.51 km.

- **Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)**

El coeficiente de compacidad Kc relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área; estima, por tanto, la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca (Gonzales & Alfaro, 2007).

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

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca, en km

A: Área de la cuenca, en km²

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indica la

tendencia a concentrar agua de escurrimiento, siendo más acentuado cuando más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c mayor será la concentración de agua. En la Tabla 8 se muestra la clasificación de la forma.

Tabla 8. Índice de Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.

Clase de forma	Índice de compacidad (Kc)	Forma de la cuenca
Clase I	1 a 1.25	Casi redonda a oval – redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval – redonda a oval – alargada
Clase III	1.51 a 1.75	Oval – alargada a rectangular alargada

Fuente: Ortiz (2004)

El coeficiente de compacidad de la cuenca Huancané es de 2.03 lo que indica que la cuenca es de forma alargada por tal motivo esta menos expuesta a las crecientes.

▪ **Factor de forma (F)**

Expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (w) y la longitud (L). Si $F > 1$, la forma de la cuenca es redondeada; si $F < 1$, la forma de la cuenca es alargada.

$$F = \frac{W}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

F: Factor de forma

w: Ancho promedio de la cuenca, en km ($w = A/L$)

A: Área de la cuenca, en km^2

L: Longitud del cauce principal, en km

Tabla 9. Forma de la cuenca en función al factor de forma.

FACTOR DE FORMA	FORMA DE LA CUENCA
$F > 1$	Redondeada
$F < 1$	Alargada

Fuente: Villon (2002)

El Factor de Forma determinado es de 0.26 lo cual confirma que la cuenca es de forma alargada, y estaría menos sujeta a crecientes continuas.

- **Rectángulo equivalente**

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que representa a la cuenca en un rectángulo de igual área, igual coeficiente de compacidad y misma repartición hipsométrica.

El lado mayor es representado por la letra “L” y el lado menor por la letra “l”, ambas dimensiones del rectángulo equivalente, son calculados mediante las siguientes expresiones.

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} * \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \quad l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right)$$

Donde:

K_c: Coeficiente de compacidad

A: Área de la cuenca (km²)

La longitud mayor y menor de la cuenca del río Huancané son de 195.16 km y 18.07 km

- **Radio de circularidad (R_c)**

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es uno (1) para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada.

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde:



P = Perímetro de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

Los valores del radio de circularidad de la cuenca del río Huancané es de 0.24 y denota que la forma de la cuenca es alargada, ya que el valor calculado está por debajo de 0.785.

En la Tabla 10 se resume los parámetros de forma de la cuenca Huancané, determinados a partir de la estación de aforo puente Huancané.

Tabla 10. Parámetros de forma de la cuenca Huancané

Parámetros		Valor	Und
Área de la cuenca		3525.69	km ²
Perímetro de la cuenca		429.50	km
Longitud del río principal		115.54	km
Longitud total de los ríos		1783.40	km
Ancho promedio de la cuenca		30.51	km
coeficiente de compacidad		2.03	
Factor de forma		0.26	
Rectángulo equivalente	Lado mayor	195.16	km
	Lado menor	18.07	km
Radio de circularidad		0.24	km

Parámetros de relieve de la cuenca

El relieve de una cuenca posee una mayor incidencia en la escorrentía de la misma; es así que para el presente trabajo se han desarrollado varios parámetros de relieve como son:

- **Curva hipsométrica**

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en Km² que existe por encima de una cota determinada.

En la Figura 9 se muestra la curva hipsométrica de la cuenca del río Huancané, que representa las elevaciones de terreno en función del área correspondiente. A partir de esta curva elevación – área de la cuenca, se puede calcular la altitud media de la cuenca que corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica.

Por tanto, la altitud media de la cuenca del río Huancané es de 4193.61 msnm.

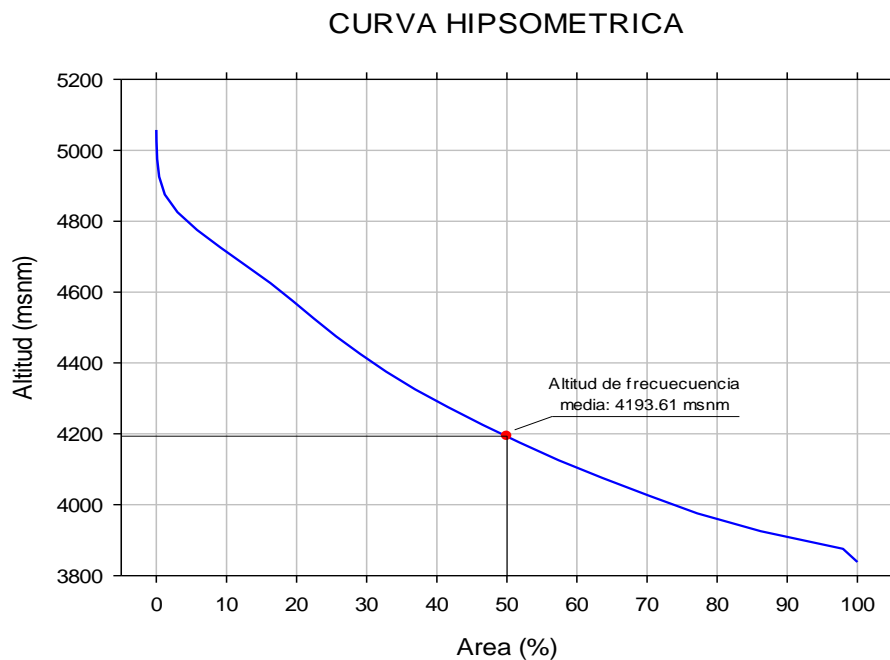


Figura 9. Curva hipsométrica de la cuenca del río Huancané

- **Polígono de frecuencias medias**

Así también se ha elaborado el polígono de frecuencia media que representa el porcentaje de áreas parciales (%) respecto a un intervalo de altitudes (msnm), de la cual se puede obtener la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia de áreas parciales.

POLIGONO DE FRECUENCIAS MEDIAS

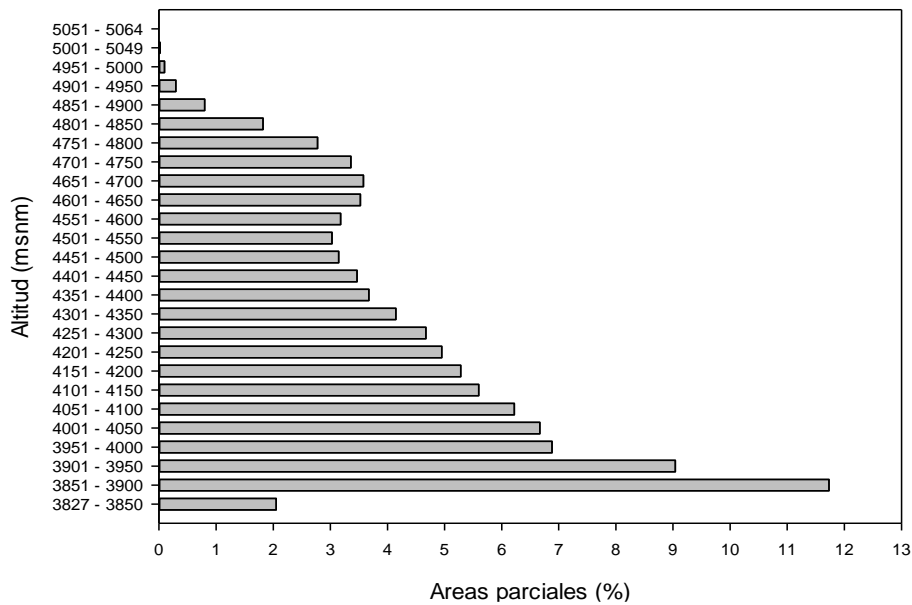


Figura 10. Polígono de frecuencias medias de la cuenca del río Huancané

- **Altitud media de la cuenca**

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca.

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i * a_i)}{A}$$

Donde:

Hm = Elevación media de la cuenca (msnm).

C_i = Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm).

a_i = Área i entre curvas de nivel (km²).

A = Área total de la cuenca (km²).

- **Altitud de frecuencia media**

Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% por debajo de ella.



- **Altitud más frecuente**

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca, en este caso la altitud con mayor frecuencia se da entre los 3850 msnm a 3950 msnm.

- **Pendiente media de la cuenca (Sm)**

Parámetro importante en el estudio de toda la cuenca, tiene una relación y compleja con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene importancia directa en la relación a las crecidas.

$$S_m = \frac{H}{L_m}$$

Donde:

Sm = Pendiente media de la cuenca.

H = Desnivel total (cota en la parte más alta - cota en la parte más baja), en km.

Lm = Lado mayor del rectángulo equivalente (km).

- **Coefficiente de masividad (Cm)**

El coeficiente de masividad se define como el cociente entre la pendiente media de la cuenca y su área y se calcula mediante la expresión:

$$C_m = \frac{E}{A}$$

Donde:

Cm: Coeficiente de masividad

E: Extensión media del escurrimiento superficial (km)

A: Área de la cuenca (km²)



- **Coefficiente orográfico (Co)**

Es el producto del coeficiente de masividad y la extensión media del escurrimiento superficial, este valor permite determinar el relieve en distintos puntos de la cuenca.

$$Co = Cm * E$$

- **Coefficiente de torrencialidad (Ct)**

Este parámetro indica la relación entre el número de cursos de primer orden con el área de la cuenca.

$$Ct = \frac{N^{\circ} R_1}{A}$$

Donde:

N° R1 = Número de ríos de primer orden.

A = Área de la cuenca (km²).

Los demás parámetros de relieve de la cuenca del río Huancané se calcularon en función a los parámetros ya obtenidos líneas arriba, reportando todos estos resultados en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de relieve de la cuenca Huancané

Parámetros		Valor	Und
Curva hipsométrica			
Polígono de frecuencia de altitudes			
Altitud media de la cuenca		4229.21	msnm
Altitud de frecuencia media		4193.61	msnm
Altitud más frecuente		3850-3950	msnm
Altitud máxima		5064	msnm
Pendiente media de la cuenca		3827	msnm
Pendiente media		0.0634	m/m
Coeficiente de masividad		0.0006	
Coeficiente orográfico		0.0011	
Coeficiente de torrencialidad		0.1217	



Parámetros de la red de drenaje

Es otra característica importante en el estudio de una cuenca, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe.

- **Numero de orden de ríos**

El orden de corrientes se determina de la siguiente manera: Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, así dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos de orden 2 forman una de 3 y así sucesivamente. Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, mayor el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, por consiguientes más rápida será su respuesta a la precipitación.

- **Frecuencia de densidad de ríos**

Este dado por el número total de ríos dividido con el área de la cuenca. Se mide en ríos/km².

$$Dr = \frac{N^{\circ} \text{ ríos}}{A}$$

Donde:

N° ríos = Número de ríos de la cuenca.

A = Área de la cuenca (km²).

- **Densidad de drenaje (Dd)**

La densidad de drenaje indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (L_T) y el área total de la misma (A).

$$Dd = \frac{L_T}{A}$$



Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²).

LT = Longitud total de ríos de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

▪ **Extensión media del escurrimiento superficial (E)**

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca.

$$E = \frac{A}{L_T}$$

Donde:

A = área de la cuenca (km²).

LT = longitud total de ríos de la cuenca (km).

▪ **Pendiente media del río principal**

La pendiente es el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del cauce y la proyección horizontal de su longitud. La pendiente del curso de agua influye en los valores de descarga del río de forma significativa.

$$S_m = \frac{H_M + H_m}{1000 * L}$$

Donde:

S_m = Pendiente media del cauce principal (m/m).

L = Longitud del cauce principal (km).

H_M, H_m = Altura máxima y mínima del lecho del río principal, referidos al nivel medio de las aguas del mar (msnm).

Tabla 12. Clasificación de la pendiente según D.S. N° 017-2009-AG

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

▪ **Altura media del río principal (H)**

Es el valor medio entre las alturas de los extremos del río principal.

$$H = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$$

Donde:

H_{máx.} = Altura máxima del lecho del río principal (msnm).

H_{mín.} = Altura mínima del lecho del río principal (msnm).

▪ **Tiempo de concentración**

Este parámetro se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: en extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el flujo. Para el cálculo del tiempo de concentración existen numerosas fórmulas empíricas, para el presente se ha utilizado la fórmula de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente:

$$T_c = 0.0195 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

C T = Tiempo de concentración (min).

L = Longitud del curso principal (m).

S = Pendiente media del curso principal (m/m).

Para efectos del siguiente trabajo de investigación estos parámetros han sido calculados según la metodología descrita y los resultados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros de la red de drenaje de la cuenca del río Huancané

Parámetros		Valor	Und.
Número de ríos	Orden 1	429	
	Orden 2	89	
	Orden 3	23	
	Orden 4	5	
	Orden 5	3	
	Orden 6	1	
	N° total de ramificación	550	
Frecuencia de densidad de los ríos		0.156	ríos/km ²
Densidad de drenaje		0.506	km/km ²
Extensión media del escurrimiento superficial		1.977	km ² /km
Cotas del río principal	Altitud máxima	4664	msnm
	Altitud mínima	3827	msnm
Pendiente media del río principal		0.007	m/m
Altura media del río principal		4245.50	msnm
Tiempo de concentración		17.14	horas

3.3.3. Análisis estadístico de la información hidrometeorológica

3.3.3.1. Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio de datos (AED) surge de los trabajos realizados por (Tukey, 1977), desde entonces su uso se ha venido incrementando, ya que se ha comprobado que el examen previo de los datos es un paso necesario. El uso directo de la data sin evaluar su estructura, consistencia, presencia de valores atípicos y relaciones entre variables, entre otros, constituye un enfoque de caja negra que incrementa el grado de incertidumbre sobre la validez de los resultados obtenidos.

El AED consiste en el análisis de los datos empleando una variedad de técnicas (en su mayoría graficas) para incrementar nuestro entendimiento sobre ellos y visualizar



las relaciones existentes entre las variables analizadas. El AED es examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística (Lobo, et al.).

- **Análisis gráfico de histogramas**

El propósito del histograma es el de resumir gráficamente la distribución del conjunto univariado de datos. Este tipo de gráficos muestran en relación a los datos: a) el centro, b) la dispersión, c) la asimetría, d) la presencia de valores atípicos y e) la ocurrencia de múltiples modas, que son utilizados como indicadores de modelos de distribución apropiado para los datos.

- **Diagrama de caja o box plot**

Es utilizado para obtener información relativa a la concentración y variación de los datos. Cuando se obtienen varias de ellas permiten ilustrar los cambios en las medidas de concentración y la variación entre conjuntos de datos.

3.3.3.2. Análisis de consistencia

- **Análisis de la homogeneidad de series de datos**

Los datos climáticos recogidos en una determinada estación hidrometeorológica durante un periodo de varios años puede que no sean homogéneos, es decir, el registro de una variable climática en particular puede presentar un cambio repentino en su media y por lo tanto una variación en lo referente a los valores previos.

Este fenómeno puede ocurrir debido a varias causas, algunas de las cuales se relacionan con los cambios en el manejo y observación de los instrumentos, y otras que se relacionan con la modificación de las condiciones ambientales del sitio de recolección de datos.



Estos cambios provocan que las observaciones hechas antes del cambio pertenezcan a una población estadísticamente diferente a la de los datos recogidos después del cambio.

Para determinar la homogeneidad de una serie de datos es necesario recurrir a técnicas estadísticas, así como la de doble masa y/o el método de los residuales acumulados, previo a eso se sugiere agrupar las estaciones buscando que representen una misma zona climática.

Vector regional

El MVR es un método de cálculo orientado a tres tareas definidas: La crítica de datos, la homogenización y la extensión-completación de datos de precipitación.

La hipótesis fundamental en la que se basa, consiste en asumir que, para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones, los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debida a la repartición de las lluvias dentro de la zona.

La idea básica del MVR, es la siguiente: en lugar de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones.

3.3.3.3. Análisis de estacionariedad e independencia serial

- **Análisis de independencia serial**

Se utilizó la prueba estadística no paramétrica de puntos cambiantes (Turning Points en sus siglas en ingles) para analizar la independencia serial de los datos observados de precipitación. El método consiste en asignar el valor de 1 si $X_{i-1} < X_i >$



X_{i+1} o $X_{i-1} > X_i < X_{i+1}$, de lo contrario se le asigna el valor de 0. El número de veces que aparece el número 1 (m^*) sigue aproximadamente una distribución normal con:

$$\mu = \frac{2(n-2)}{3}$$

$$\sigma = \frac{(16n-29)}{90}$$

El valor del estadístico z es:

$$z = \frac{|m^* - \mu|}{\sigma^{0.5}}$$

μ =media muestral, σ =variancia

Para determinar los valores z críticos a distintos niveles de significancia se utilizó las tablas estadísticas de T de Student.

▪ **Análisis de estacionariedad**

El criterio de estacionariedad implica que los datos deben estar libres de tendencia durante el periodo de observación. Una serie de tiempo de datos hidrológicos, se dice estrictamente estacionaria, solo si sus propiedades estadísticas (media, varianza y momentos de orden superior) no son afectados por la elección del momento de origen de la serie de datos (Dahmen & Hall, 1990).

Para la elección de la prueba estadística fue necesario considerar ciertos supuestos: a) la serie de tiempo sigue una distribución específica; y su b) independencia o aleatoriedad. Estos supuestos fueron identificados mediante el AED y la prueba de independencia serial. Para ello, se utilizó el test no paramétrico Estacional de Mann-Kendall (EMK) propuesto y descrito por Hirsch, et al., (1991), el cual es una modificación en la prueba de Mann y Kendall, que detecta cambios en la media de los datos y no asume

independencia entre ellos, lo cual resulta útil para su utilización con datos que presenten una componente estacional, como son generalmente los datos climatológicos.

Los n valores de una serie de tiempo ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) son reemplazados por su número de orden o ranking ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) empezando desde 1 para el más bajo hasta n . El estadístico S se calcula de la siguiente manera:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \right]$$

Donde

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ para } x > 0$$

$$\text{sgn}(x) = 0 \text{ para } x = 0$$

$$\text{sgn}(x) = -1 \text{ para } x < 0$$

La hipótesis nula (H_0) y alterna (H_a) son las siguientes:

H_0 : los datos observados no presentan tendencia significativa

H_a : los datos observados presentan tendencia significativa

Si H_0 es verdadera, entonces S se distribuye aproximadamente normal con:

$$\mu=0$$

$$\sigma = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

El valor del estadístico z es:

$$z = \frac{|S|}{\sigma^{0.5}}$$

Para determinar los valores z críticos a distintos niveles de significancia se utilizó las tablas estadísticas de T de Student.

▪ **Análisis de cambio en la media/mediana**

Se utilizó el test no paramétrico de libre distribución CUSUM. Es una prueba basada en el ranking de los datos observados, los que se comparan con la mediana de la serie de tiempo. Este método prueba si las medias de dos periodos distintos de una misma serie de tiempo son diferentes. La prueba no paramétrica de libre distribución CUSUM se presenta a continuación:

Dada una serie de tiempo $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$:

$$V_k = \sum_{i=1}^k \text{sgn}(X_i - X_{\text{mediana}}), k = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ para } x > 0$$

$$\text{sgn}(x) = 0 \text{ para } x = 0$$

$$\text{sgn}(x) = -1 \text{ para } x < 0$$

La distribución de V_k sigue la de Kolmogorov-Smirnov (KS) con un valor crítico de $\text{Max}[V_k]$ en el cual:

$$\alpha = 0.10 \quad 1.22\sqrt{n}$$

$$\alpha = 0.10 \quad 1.36\sqrt{n}$$

$$\alpha = 0.10 \quad 1.63\sqrt{n}$$

3.3.3.4. Completación de datos

La completación de datos faltantes de precipitación se realizó en la plataforma de Jupyter y Python mediante el método de red neuronal, este modelo explora las variables



de espacio y el tiempo para predecir patrones en los datos y estimar datos faltantes sobre precipitaciones.

El proceso de estimación se realiza en dos fases. Primero, se modela la red y se pretende estimar los pesos o parámetros de la red. Luego, se procede a validar el modelo mediante la inserción de datos no empleados en la etapa de modelamiento.

3.3.4. Adecuación de los modelos hidrológicos

Los dos modelos lluvia – escorrentía han sido estructurados dentro de la plataforma RS MINERVE, siguiendo los siguientes pasos:

- **Construcción de la base de datos DATABASE**

La construcción de la base de datos se realizó para un total de 11 estaciones meteorológicas, con parámetros de Precipitación y Temperatura a escala diaria.

Así mismo se realizó la construcción de una estación hidrológica para la comparación de los datos de salida; los datos de caudales utilizados son provenientes de la estación hidrológica de Puente Huancané, y son a escala diaria.

En las Figuras 11, 12 y 13 se puede visualizar los tres parámetros ingresados a la DATABASE del modelo.

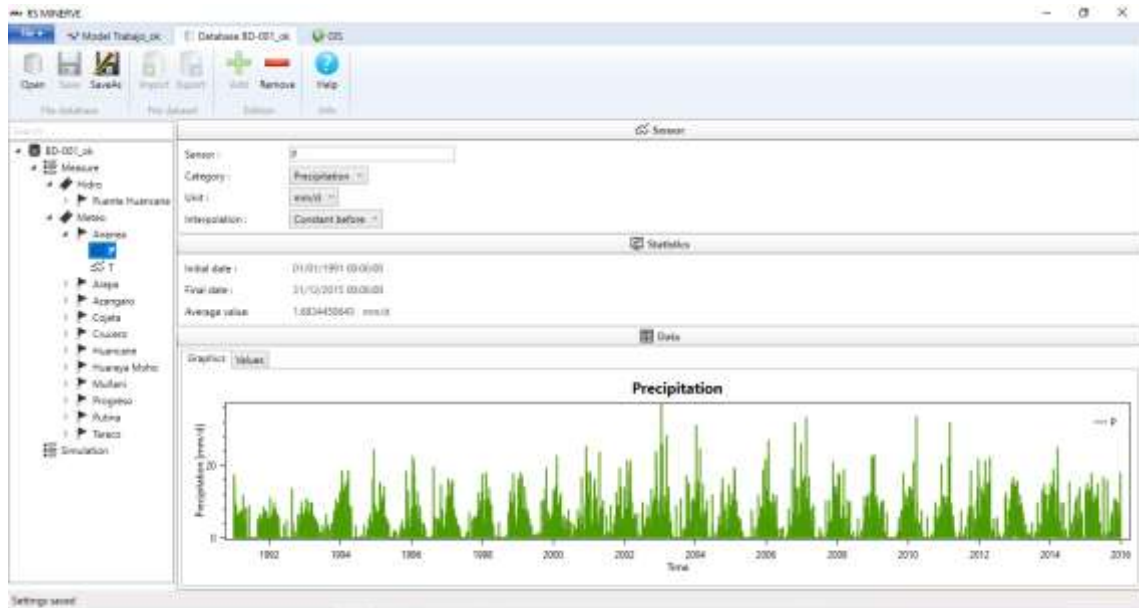


Figura 11. Construcción de base de datos precipitación – Estación Ananea

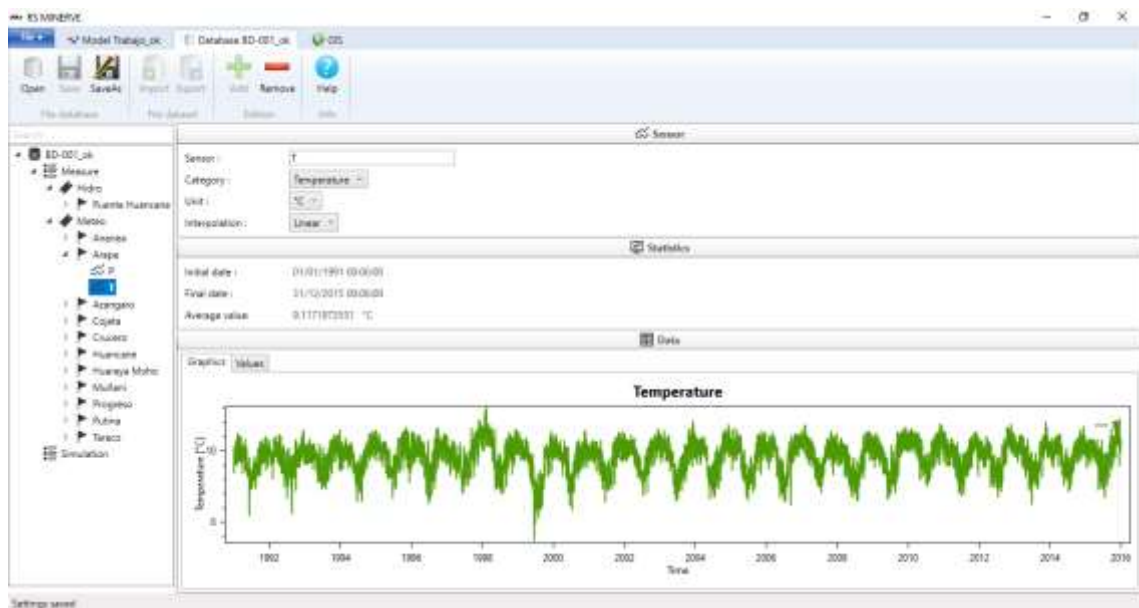


Figura 12. Construcción de base de datos temperatura – Estación Arapa



Figura 13. Construcción de base de datos caudales - Pte. Huancané

- **Construcción del modelo hidrológico RS GIS**

La construcción del modelo de cuenca se realiza en el entorno RS GIS, en donde en primera instancia se ha considerado dividir la zona en 09 subcuencas, con 05 puntos de confluencia, tramos de río y el punto de salida de la cuenca. Así mismo de acuerdo a las características físicas de cada subcuenca se asigna el modelo lluvia - escorrentía para cada unidad hidrográfica, considerándose para cada caso los modelos de HBV y SAC-SMA

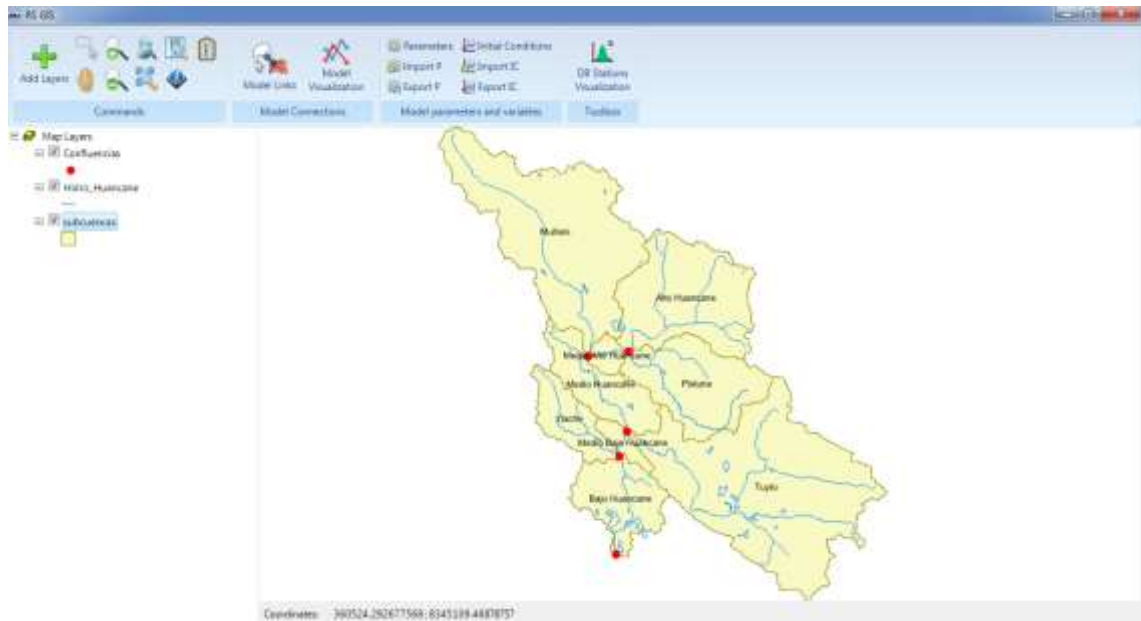


Figura 14. Modelo hidrológico RS GIS



Figura 15. Modelo hidrológico de la cuenca Huancané - RS MINERVE

Del mismo modo se realiza la creación de los ríos con el modelo REACH KINEMATIC para los cuatro tramos del cauce principal. Los valores exportados esta capa son: Longitud de cauce y pendiente.

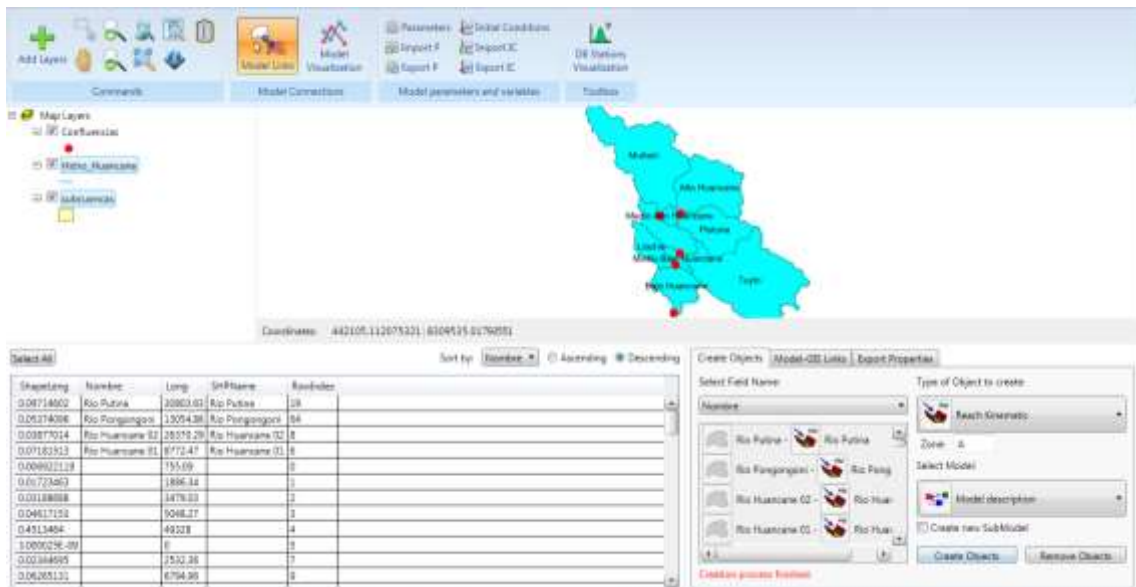


Figura 16. Creación del modelo REACH KINEMATIC

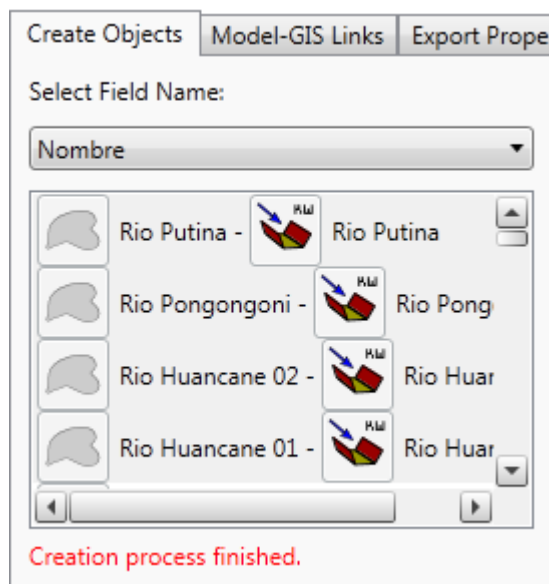


Figura 17. Asignación del modelo REACH KINEMATIC a cada subcuena

Una vez terminado la creación de los diferentes modelos en cada unidad hidrográfica, la topología de la cuenca queda representada de la siguiente manera.

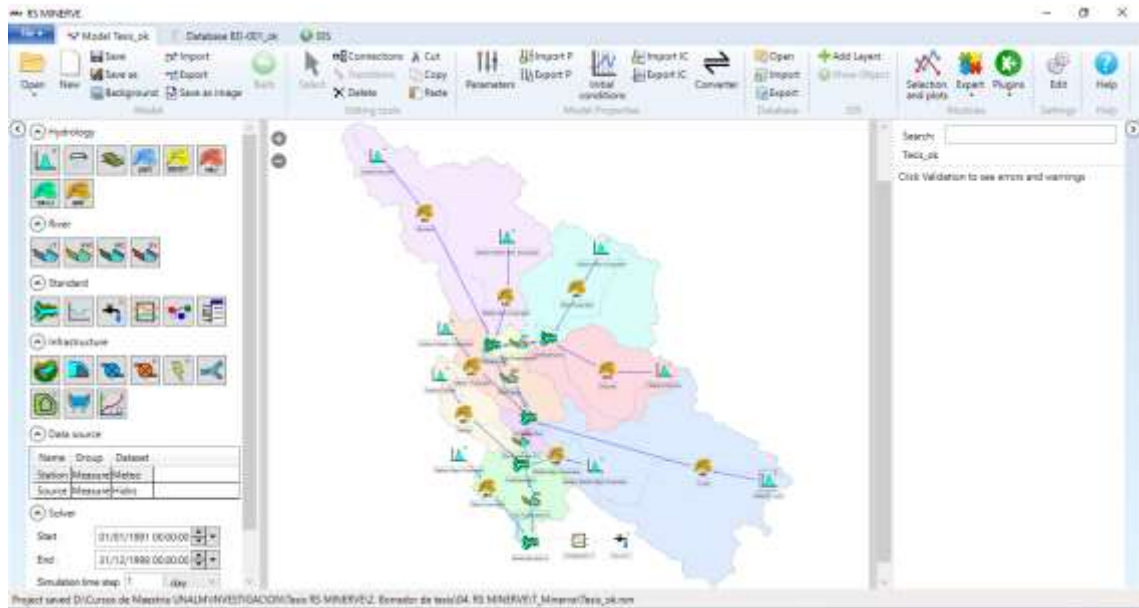


Figura 18. Topología de la cuenca en RS MINERVE

- **Calentamiento y Simulación**

La simulación se realiza fijando el periodo de simulación y la frecuencia de salida, sin realizar los ajustes de los parámetros del modelo.

- **Calibración y validación de los modelos**

Para la etapa de la calibración se ha empleado la Función Objetivo (OF) descrita en el capítulo anterior. En esta etapa de calibración los datos de entrada en la estación hidrológica deben guardar concordancia con el periodo de en el que se requiera calibrar el modelo.

Para ello en este trabajo se optado por utilizar la combinación de 4 índices de eficiencia para así garantizar un mejor ajuste a los periodos que presentan flujos altos, bajos, y sobre todo que tengan una relación lineal en las series.

Una vez concluido el proceso de calibración se realizó la etapa de validación, donde se comparan los datos generados del modelo calibrado con los datos observados, en un periodo diferente al de la calibración.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA HUANCANÉ

4.1.1. Análisis pluviométrico

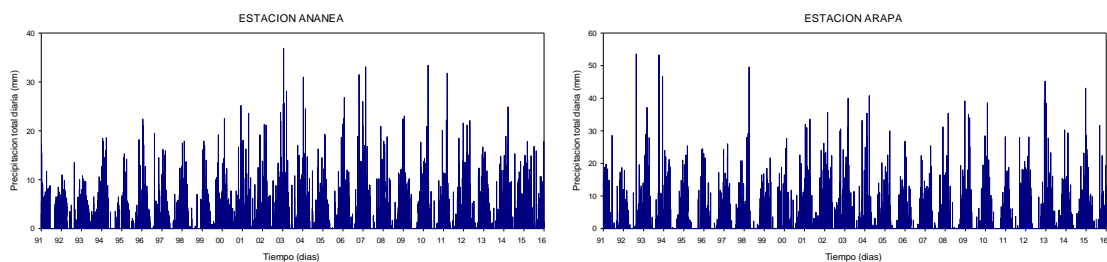
a) Análisis exploratorio de datos

Se realizó el análisis exploratorio de datos de las series de tiempo de los datos pluviométricos de las 11 estaciones, las técnicas empleadas fueron análisis gráfico, histogramas y diagrama de caja o box plot.

Análisis gráfico de histogramas

El análisis visual de histogramas se ha realizado para detectar y/o identificar en forma visual algunas inconsistencias en la información pluviométrica, así como también para ver la estacionalidad de la información y la ausencia de datos en algunos periodos de tiempo.

En la Figura 19 se muestra el histograma de los registros diarios de precipitación de las estaciones utilizadas en el presente estudio, en el cual se observa la secuencia cíclica y estacional de la precipitación, así como algunos valores extremos.



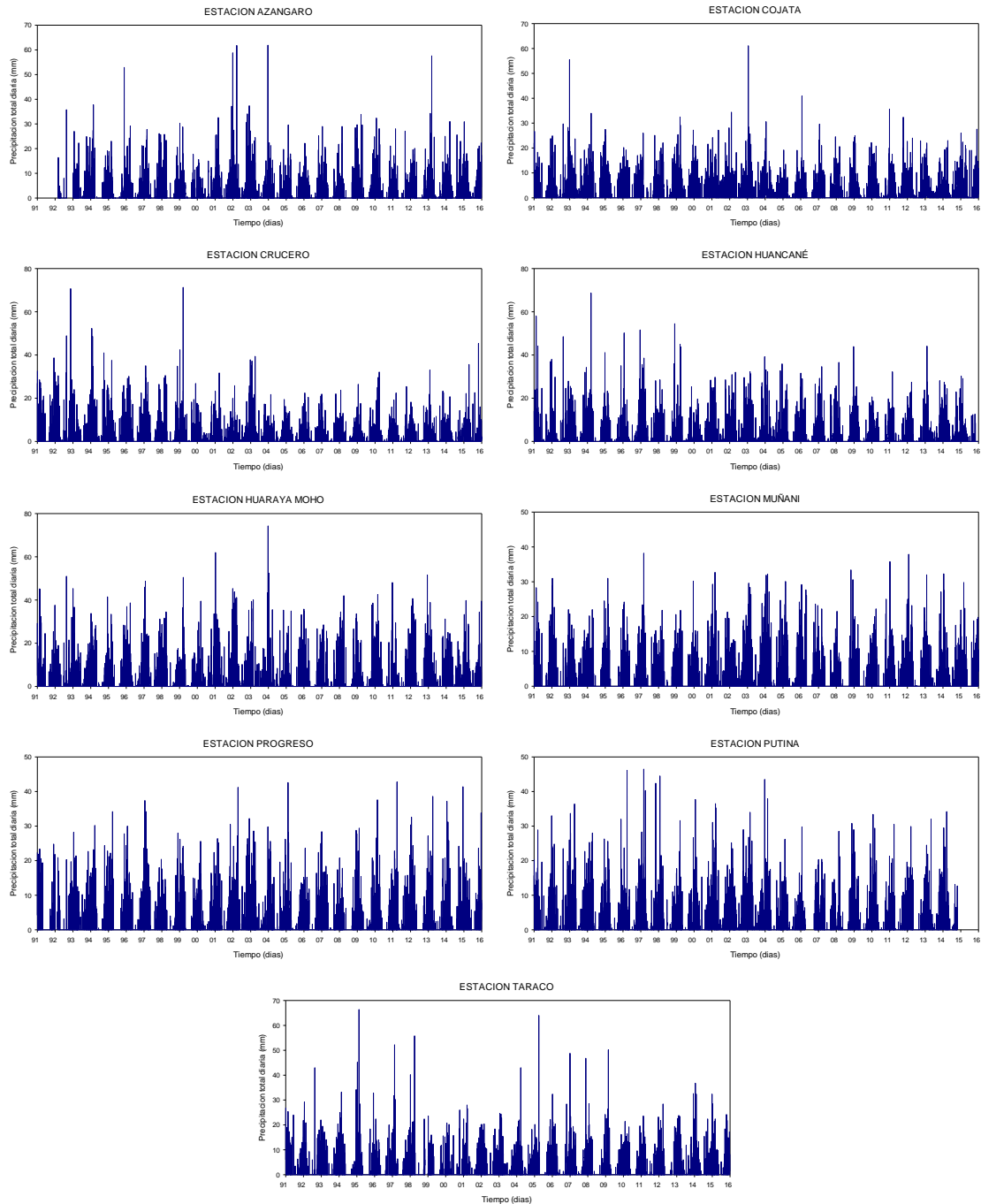


Figura 19. AED histogramas de precipitación diaria periodo 1991-2015.

De las estaciones consideradas en el presente estudio, resulta que para el periodo analizado no existe algún periodo dudoso significativo, sin embargo, se ha podido detectar algunos datos extremos tal es el caso de la estación de Crucero que registra en febrero de 1994 una precipitación diaria superior a los 400 mm, así mismo la estación de Huaraya Moho en enero del 2001.

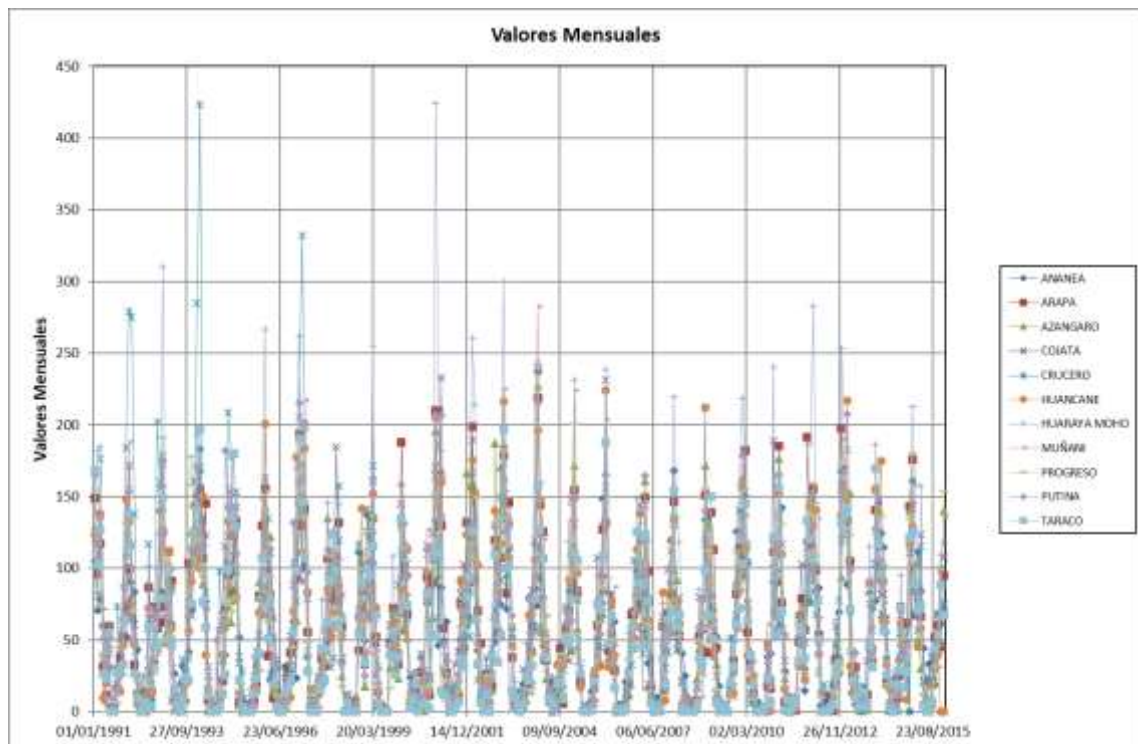


Figura 20. AED Histogramas de precipitación diaria multiestaciones

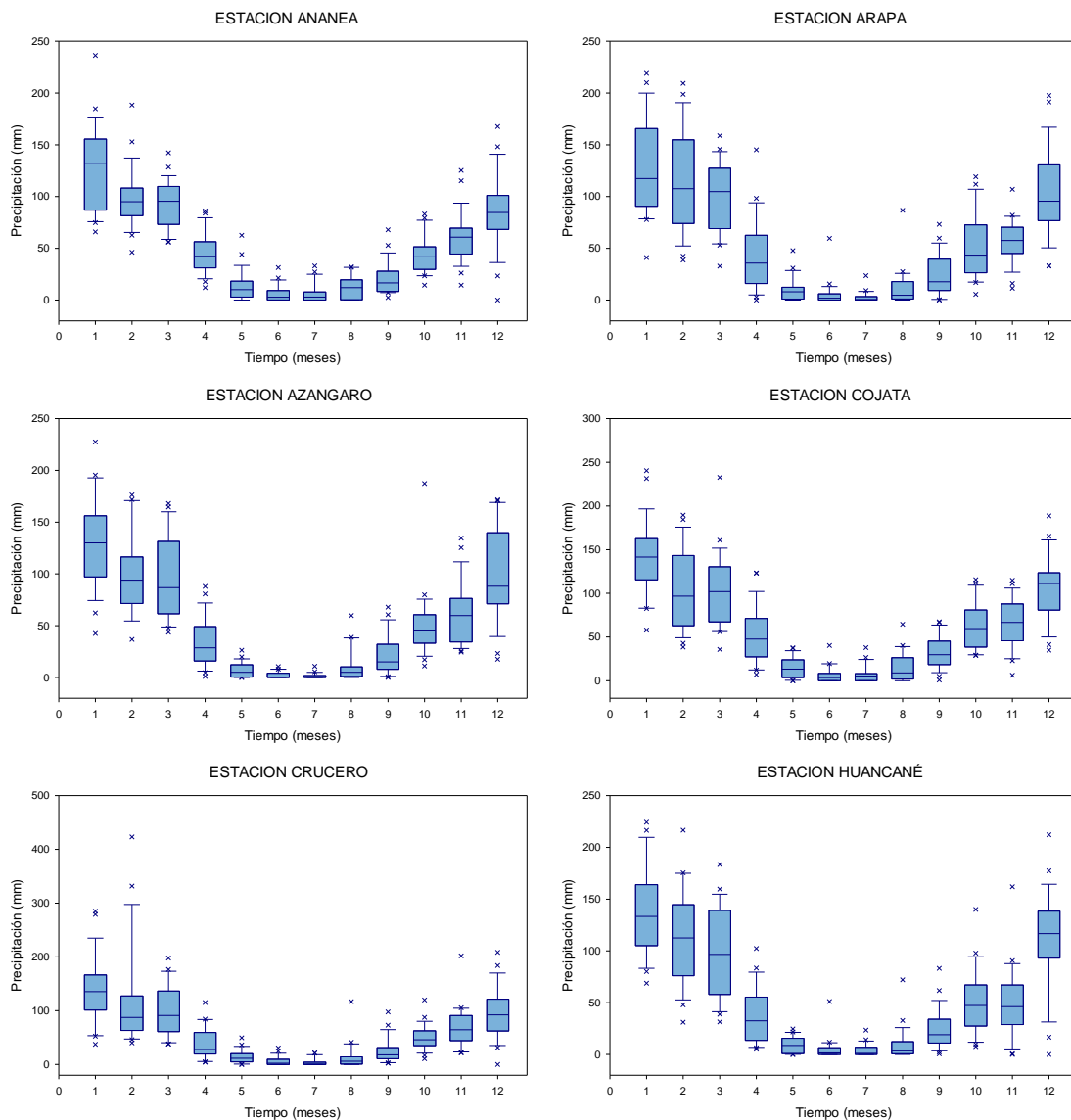
Diagramas de caja o box plot

En la Figura 21 se muestran los diagramas de cajas de la variable precipitación total mensual correspondiente al periodo de enero de 1991 a diciembre de 2015, de las estaciones analizadas en la presente investigación. En la misma Figura se distingue el comportamiento estacional de la lluvia, donde el periodo húmedo inicia entre los meses de noviembre y diciembre y se extiende hasta el mes de marzo y el periodo seco que inicia en el mes de mayo hasta el mes de setiembre; también se ha podido detectar meses de transición donde existe precipitación en menor proporción y son los meses de Octubre (inicio del periodo húmedo) y el mes de Abril (fin del periodo húmedo).

Las líneas intermedias de cada diagrama de caja representan las medianas de los datos observados, y las líneas que se extienden hacia los extremos son los valores máximos y mínimos, así mismo se puede visualizar algunos valores extremos que están representados por una “X”.

En la Figura 21 también se puede observar que los valores del periodo húmedo tienden a agruparse en una distribución con sesgo positivo, mientras los valores del periodo seco no muestran una distribución clara, dado que la precipitación es mínima y en algunas estaciones nula.

Análisis exploratorio de datos: diagrama de cajas de precipitación total multimensual.



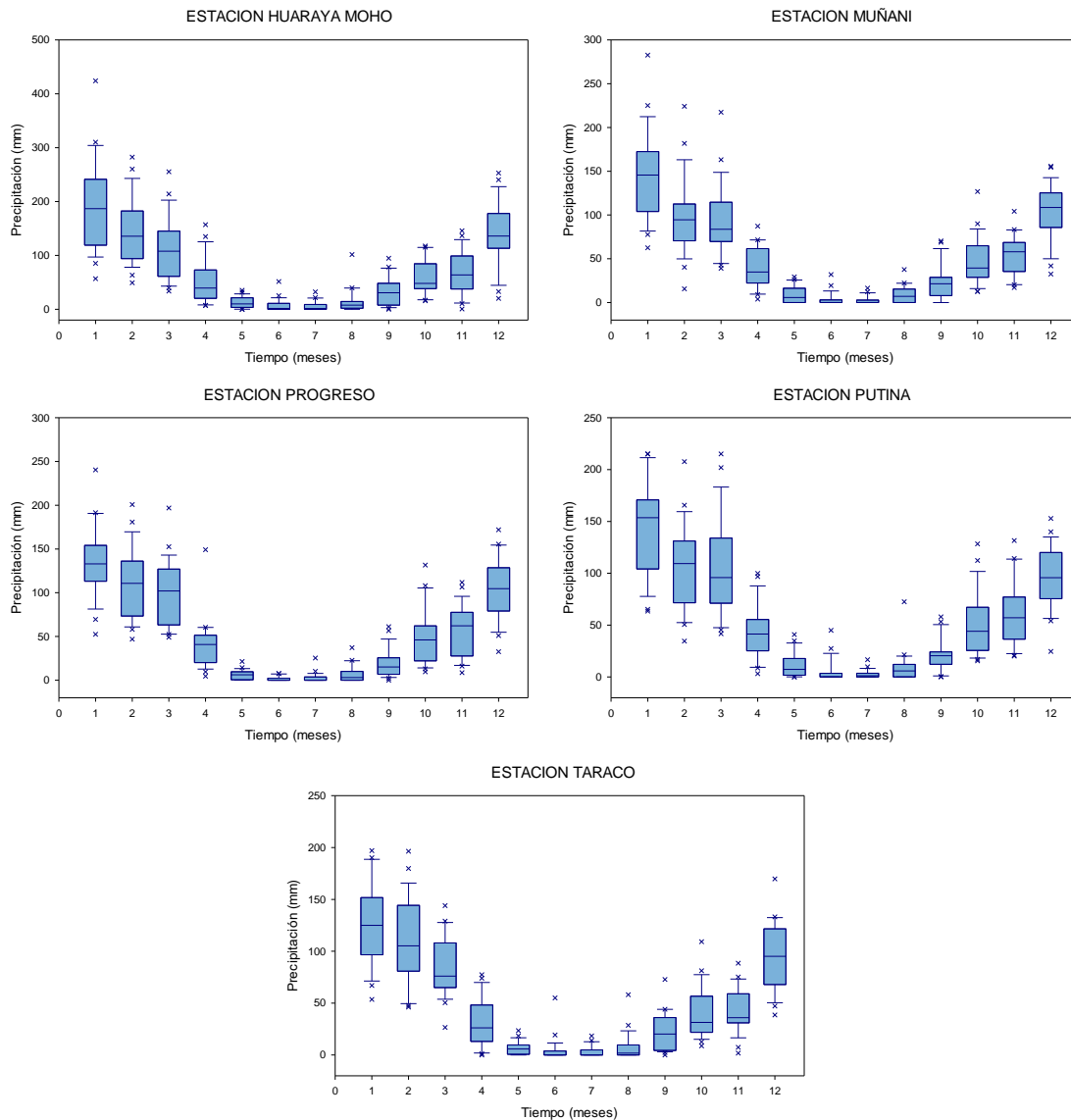


Figura 21. Diagrama de cajas (box plot) de las precipitaciones acumuladas mensuales. Periodo: 1991 - 2015

b) Análisis de consistencia de la información pluviométrica

Para el análisis de la consistencia de la información pluviométrica, se empleó el Método del Vector Regional, La Figura 22 muestra los índices anuales del Vector y de las 11 estaciones; esta primera salida nos da una primera idea del comportamiento de las estaciones respecto al Vector Calculado, y de algunos años con datos probablemente erróneos; así mismo se puede apreciar la existencia de estaciones con un comportamiento distinto a las demás del grupo, lo que significa que estas estaciones presentan distinto régimen de precipitaciones.

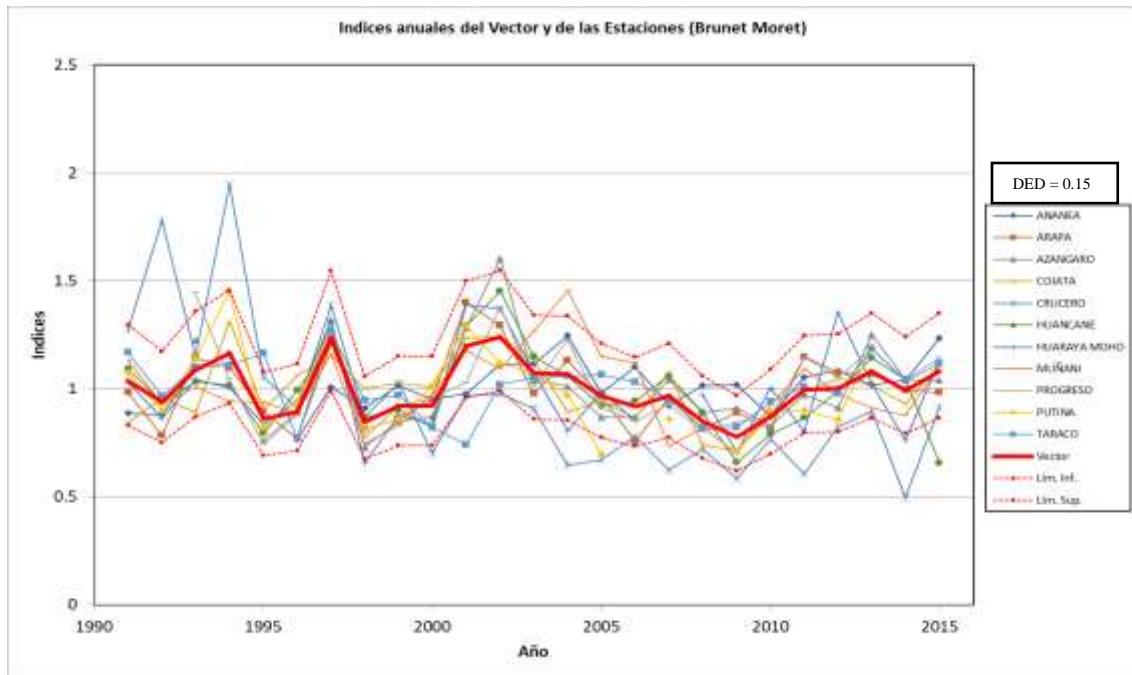


Figura 22. Índices anuales del vector y de las estaciones - análisis preliminar

Para mejorar la representación del Vector regional, se realizó la regionalización y/o agrupamiento de estaciones en grupos que puedan pertenecer a una misma zona climática o que presenten el mismo régimen de precipitaciones; en ese sentido, se empleó el mapa climático del Perú como un primer criterio de análisis y selección de estaciones (Figura 23). Un segundo criterio de agrupación fue de acuerdo a la relación que existe entre la precipitación media interanual y la altitud de cada estación pluviométrica.



Figura 23. Mapa climático de la zona de estudio

Ambos criterios de agrupación, permitieron agrupar las estaciones en tres grupos de estaciones pertenecientes a una misma zona climática.

Tabla 14. Agrupación de estaciones en función al mapa climático.

Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
Estación Arapa	Estación Azángaro	Estación Ananea
Estación Huancané	Estación Cojata	Estación Cojata
Estación Huaraya Moho	Estación Progreso	Estación Crucero
Estación Taraco	Estación Putina	Estación Muñani

Una vez realizado la agrupación de estaciones, se volvió a calcular el Vector Regional para cada grupo de estaciones; los resultados han mejorado respecto a la correlación anterior, dado que La Desviación Estándar de los Desvíos (D.E.D.), que compara las desviaciones estándar de las desviaciones entre los índices de las estaciones y las del Vector Regional son menores en los grupos de estaciones 01 y 02 respecto al primer Vector Regional.

La Figura 24 muestra el gráfico índices anuales del vector regional y de las estaciones que se encuentran en la Grupo 01 para el periodo comprendido entre 1991 y 2015. La línea roja continua es el Vector Regional, la roja punteada representan los límites aceptables según el método de Brunet Moret, y las de otros colores son los índices de cada estación. Se observa que los índices de las estaciones tienen un comportamiento similar que la del vector regional para el periodo de análisis, por lo que podemos afirmar la homogeneidad pluviométrica de las estaciones pertenecientes al grupo 01.

Los parámetros estadísticos que respaldan tal afirmación se presentan en la Tabla 15. La correlación entre los índices del vector regional y las estaciones (Correl/Vector) son mayores a 0.71, lo que evidencia alta proporcionalidad entre ambas variables, además la desviación estándar de los desvíos (DED) es igual a 0.12 y según (Vauchel, 2005).

valores de DED cercanos a la unidad indican probablemente una mala calidad de la estación.

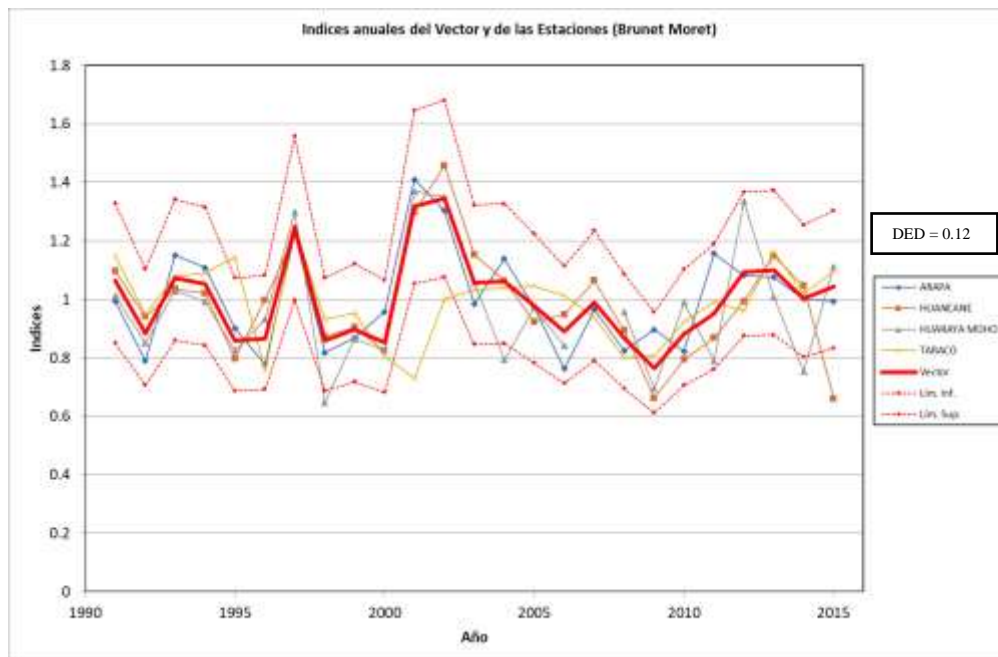


Figura 24. Vector regional de índices - Grupo 01

Tabla 15. Análisis de homogeneidad - Grupo 01

Id Estación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
Arapa	0.078	0.882
Huancané	0.1	0.837
Huaraya moho	0.116	0.83
Taraco	0.16	0.333

Para el segundo grupo de estaciones (grupo 02), se presentan también los índices anuales del vector y las estaciones.

Se observa en la Figura 25 que, en el año 1992, hay un vacío de valores, esto se debe porque dos estaciones de la zona 02 tienen ausencia de datos cada uno en uno o dos meses. También se observa, en la Tabla 16 que todas las estaciones consideradas en esta zona climática, presentan correlaciones mayores a 0.73 y valores de D.E.D. menores a 0.11 (0.096 en promedio).

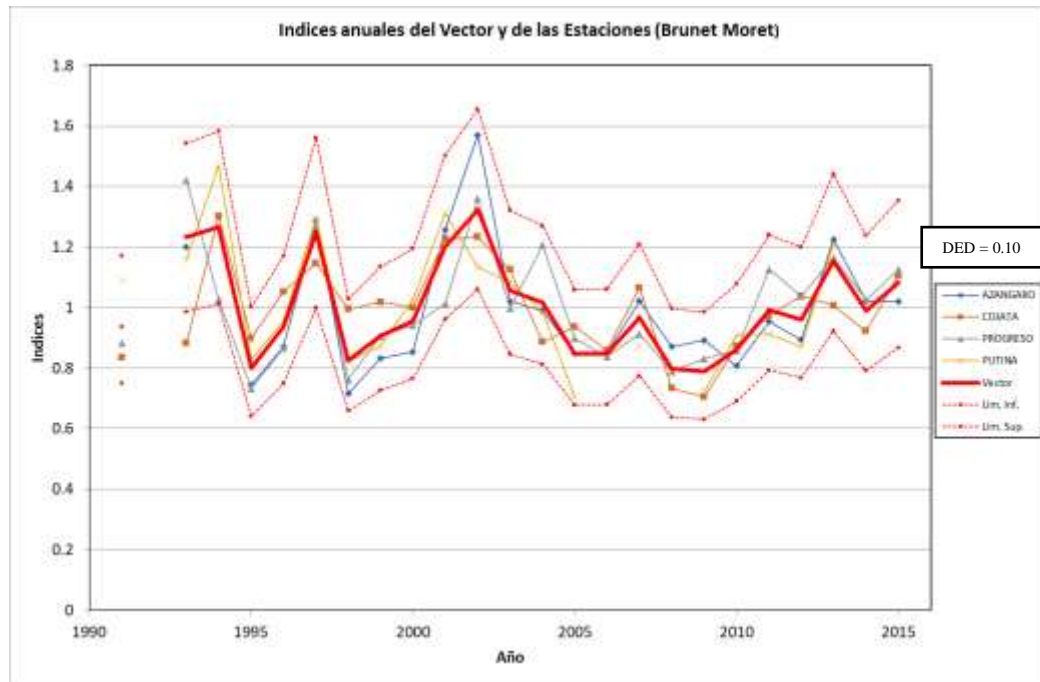


Figura 25. Vector regional de índices - zona 02

Tabla 16. Análisis de homogeneidad - zona 02

Id Estación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
Azángaro	0.08	0.932
Cojata	0.113	0.735
Progreso	0.096	0.85
Putina	0.096	0.878

Para el caso del Grupo 03, se presentan también los índices anuales del vector y las estaciones.

Se observa en la Figura 26 que los valores de índices anuales de la estación Crucero, sobre pasan el límite máximo en los años 1991, 1992 y 1994 y el límite mínimo a partir del año 2000 al 2015, lo que podría evidenciar un error en el registro de datos durante ambos periodos de tiempo.

También se observa, en la Tabla 17 que todas las estaciones consideradas en esta zona climática, presentan correlaciones relativamente bajas respecto a las zonas

anteriores y el D.E.D. de la estación de crucero es de 0.29 lo que confirmaría que en esta estación existe un salto y/o una tendencia en los datos históricos.

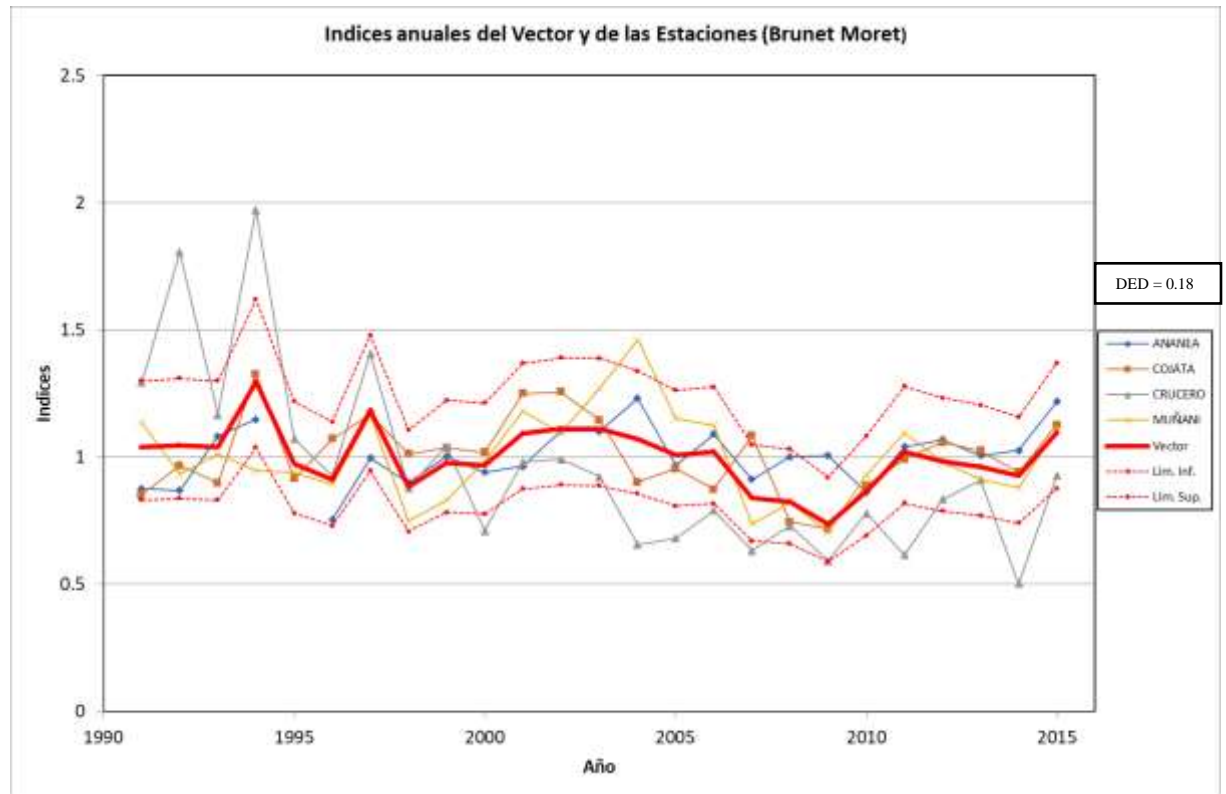


Figura 26. Vector regional de índices - Grupo 03

Tabla 17. Análisis de homogeneidad - Grupo 03

Id Estación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
Ananea	0.118	0.485
Cojata	0.108	0.692
Crucero	0.291	0.65
Muñani	0.131	0.661

Otra salida gráfica importante del vector regional, es el gráfico de acumuladas, que presenta la doble acumulación de los índices de las estaciones en el eje Y y del Vector en el eje X.

Las Figuras 27 y 28 muestra este gráfico de los grupos de estaciones 01 y 02, donde se pueden observar que no existe cambios en la pendiente de los datos, lo cual refleja la homogeneidad de la serie de datos en ambas zonas.

Caso distinto ocurre en la zona 3 Figura 29, donde sí se puede observar algunos cambios de pendiente en los datos de la estación de Crucero, lo cual refleja la probabilidad de datos erróneos en ese periodo de registro.

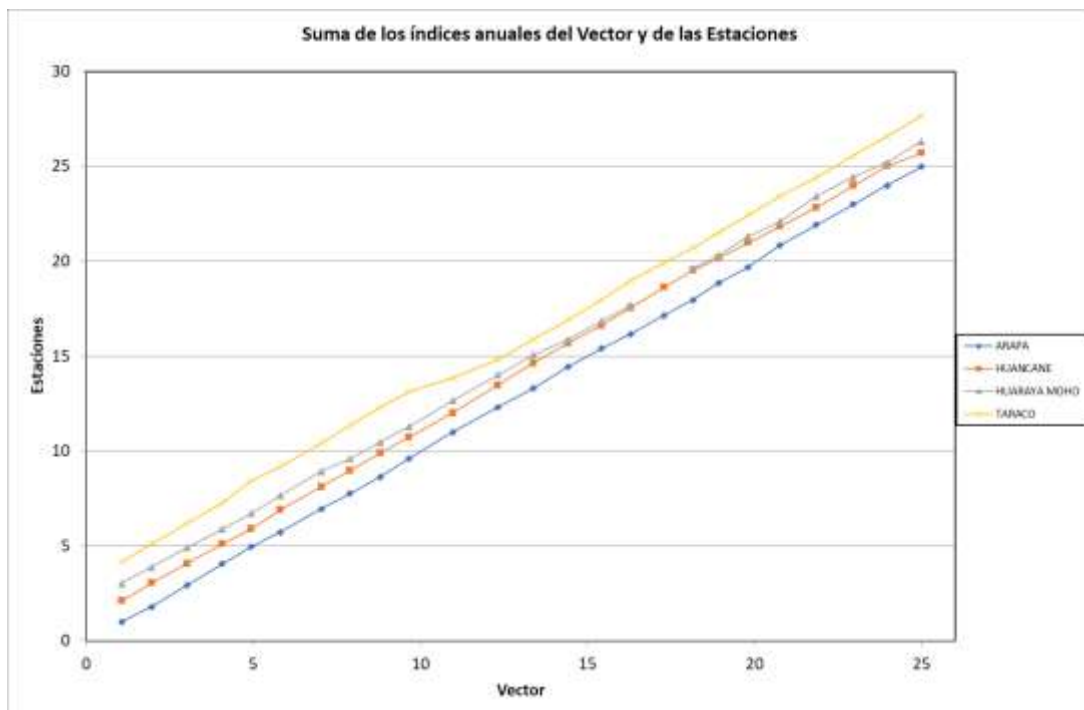


Figura 27. Gráfico de acumuladas de las estaciones - zona 01

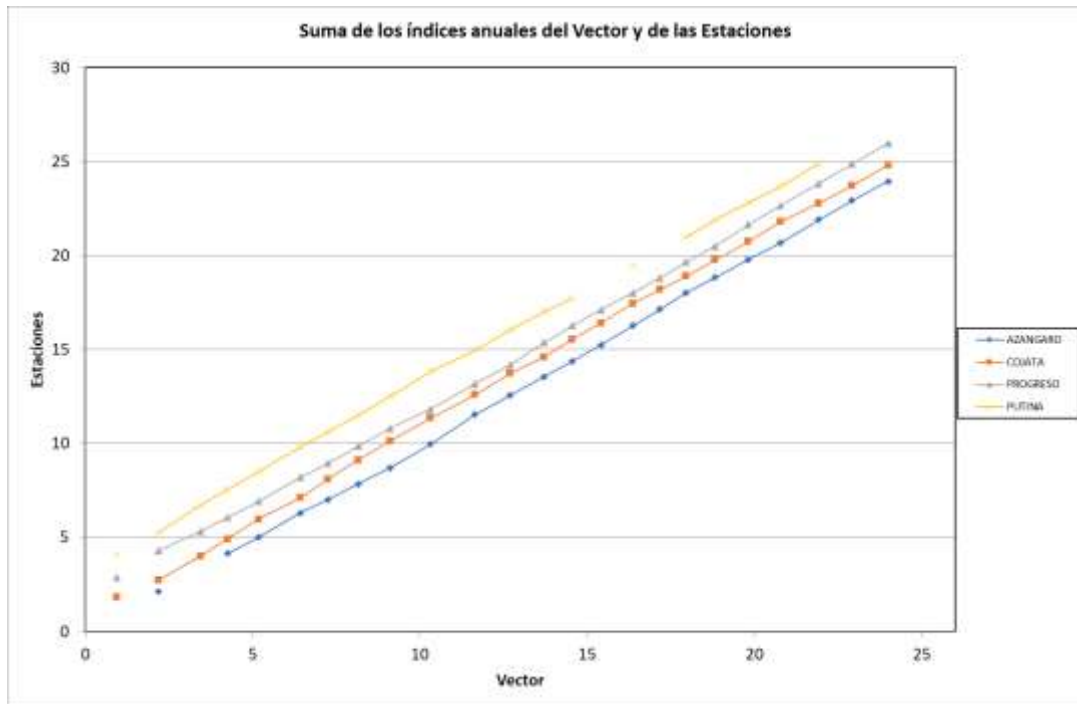


Figura 28. Gráfico de acumuladas de las estaciones - zona 02

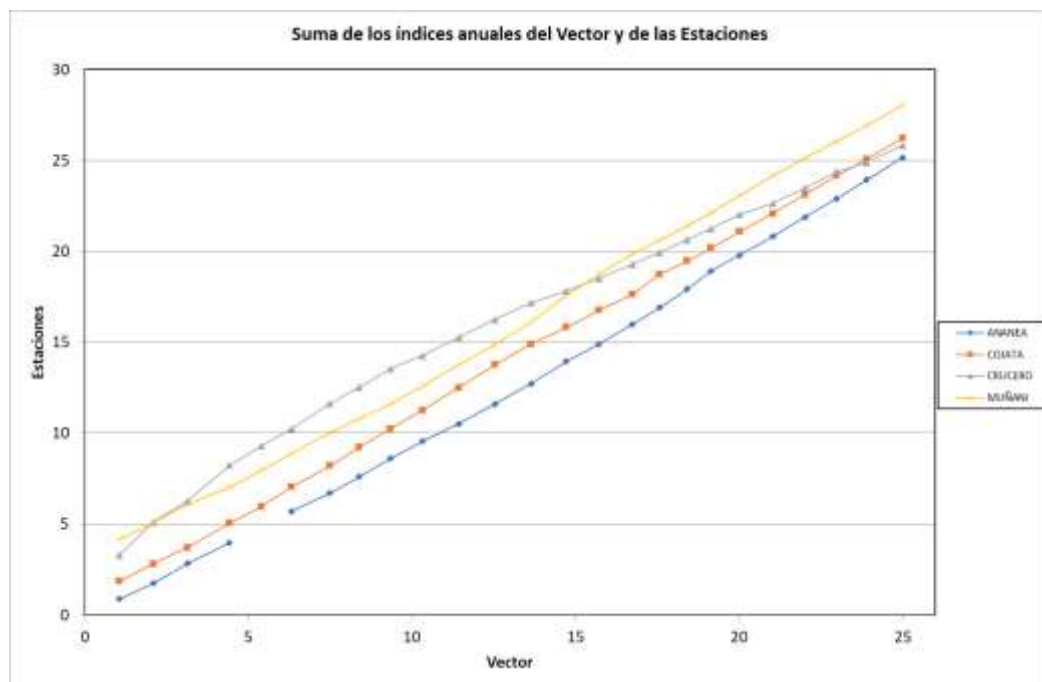


Figura 29. Gráfico de acumuladas de las estaciones - zona 03

Posterior al análisis exploratorio de datos y homogeneidad de las series de tiempo, como análisis confirmatorio para identificar y descartar los valores atípicos de precipitación, los casos extremos identificados en los procedimientos anteriores se

compararon con las estaciones pluviométricas vecinas y en caso que hubiera similitud eran eventos extremos; en caso contrario se consideraron estos como datos atípicos, siendo eliminados estos valores de la base de datos.

c. Análisis de estacionariedad e independencia serial de los datos pluviométricos

Análisis de independencia serial

Se empleó la prueba estadística de Puntos Cambiantes (Turning Points) para analizar la independencia serial de los registros observados de precipitación. Según la Tabla 18, los Z estadísticos calculados son menores al Z tabular a un nivel de significancia del 5%, excepto en la estación de Taraco en donde el Z estadístico calculado presenta una significancia mayor de 5% pero menor del 10%. De estos resultados podemos afirmar que la muestra proviene de una muestra aleatoria.

Tabla 18. Estadísticos de la prueba Turning Points a la serie de precipitación.

Estaciones	Z estadístico	Z tabular			Significancia
		$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
Ananea	0.328	1.645	1.96	2.576	NS
Arapa	-0.684	1.645	1.96	2.576	NS
Azángaro	1.096	1.645	1.96	2.576	NS
Cojata	-0.657	1.645	1.96	2.576	NS
Crucero	1.313	1.645	1.96	2.576	NS
Huancané	-1.642	1.645	1.96	2.576	NS
Huaraya Moho	0.821	1.645	1.96	2.576	NS
Muñani	-1.149	1.645	1.96	2.576	NS
Progreso	-0.657	1.645	1.96	2.576	NS
Putina	-1.149	1.645	1.96	2.576	NS
Taraco	-2.134	1.645	1.96	2.576	S (0.05)

Análisis de estacionariedad

Se empleó la prueba estadística no paramétrica de Mann Kendall para determinar si la serie de tiempo posee tendencia significativa al 95% de confianza. Se eligió esta

prueba estadística dado que según el vector regional y el gráfico de acumuladas para el grupo de estaciones grupo 03, los registros observados visualmente tienen un cambio y/o tendencia.

La Tabla 19 presenta los resultados obtenidos de acuerdo a la prueba estadística de Mann Kendall. Los valores de Z estadísticos calculados para 09 estaciones son menores al Z tabular para un nivel de significancia del 5%, por lo que podemos afirmar que los datos observados en estas estaciones no presentan tendencia significativa.

Asimismo, se puede observar que en la estación de Ananea el valor de Z estadístico calculado es mayor al Z tabular para un nivel de significancia del 5% por lo que presenta una tendencia significativa al 10%. Como también se presenta una tendencia significativa en la estación de Crucero.

Tabla 19. Estadísticos de la prueba Mann Kendall a las series de precipitación.

Estaciones	Z estadístico	Z tabular			Significancia
		$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
Ananea	1.892	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
Arapa	0.163	1.645	1.96	2.576	NS
Azángaro	-0.07	1.645	1.96	2.576	NS
Cojata	-0.537	1.645	1.96	2.576	NS
Crucero	-3.667	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
Huancané	-0.724	1.645	1.96	2.576	NS
Huaraya Moho	-0.257	1.645	1.96	2.576	NS
Muñani	-0.631	1.645	1.96	2.576	NS
Progreso	0.911	1.645	1.96	2.576	NS
Putina	-0.911	1.645	1.96	2.576	NS
Taraco	-0.07	1.645	1.96	2.576	NS

Análisis de cambio en la media/mediana

Se emplearon las pruebas estadísticas de Suma Acumulada (CUSUM por sus siglas en inglés) para detectar los cambios en la media, y la de Desviación Acumulada

para identificar los años de cambio en las series de tiempo de precipitación, empleando un nivel de significancia del 5%.

La Tabla 20 muestra los estadísticos calculados para ambas pruebas, en el cual los Z estadísticos son menores a los tabulares en 09 estaciones pluviométricas, es decir que en estas estaciones no existe cambio significativo en la media/mediana; sin embargo, en las estaciones de Ananea y Crucero se ha identificado cambios en la media/mediana. El año de cambio en la estación de Ananea según la prueba estadística es en el año 2001, y en la estación de crucero se presenta en el año 2003, eso nos indica que en estas dos estaciones existen dos periodos donde las medias es significativamente diferente.

Tabla 20. Estadísticos de la prueba CUSUM a la serie de precipitación.

Estaciones	Z estadístico	Z tabular			Significancia
		$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
Ananea	7	6.1	6.8	8.15	S (0.05)
Arapa	6	6.1	6.8	8.15	NS
Azángaro	4	6.1	6.8	8.15	NS
Cojata	3	6.1	6.8	8.15	NS
Crucero	7	6.1	6.8	8.15	S (0.05)
Huancané	4	6.1	6.8	8.15	NS
Huaraya Moho	3	6.1	6.8	8.15	NS
Muñani	4	6.1	6.8	8.15	NS
Progreso	6	6.1	6.8	8.15	NS
Putina	4	6.1	6.8	8.15	NS
Taraco	4	6.1	6.8	8.15	NS

d. Completación de datos faltantes de precipitación

La completación de datos faltantes de precipitación se realizó en la plataforma de Jupyter y Python mediante el método de red neuronal, este modelo explora las variables de espacio y el tiempo para predecir patrones en los datos y estimar datos faltantes sobre precipitaciones.

El proceso de estimación se realiza en dos fases. Primero, se modela la red y se pretende estimar los pesos o parámetros de la red. Luego, se procede a validar el modelo mediante la inserción de datos no empleados en la etapa de modelamiento.

4.1.2. Análisis de temperatura

Respecto a los datos de Temperatura, se utilizaron datos diarios de las 11 estaciones citadas en la Tabla 6, estos datos se manifiestan de tres niveles: temperatura media, temperatura media de las máximas diarias y temperatura media de las mínimas diarias.

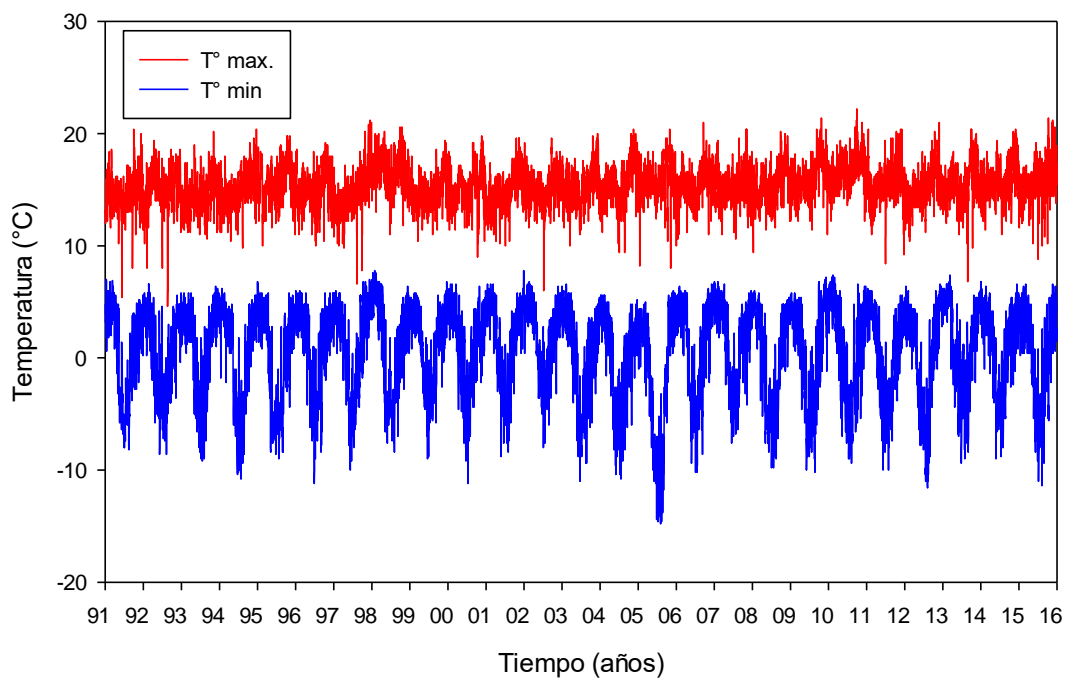
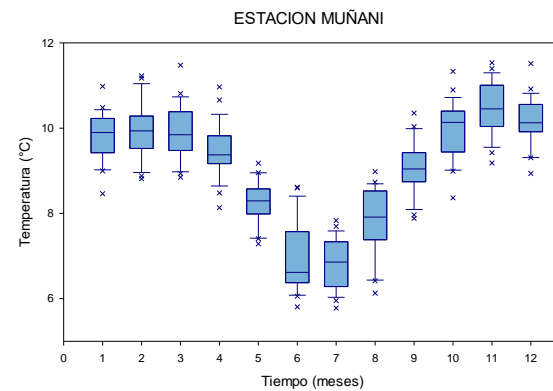
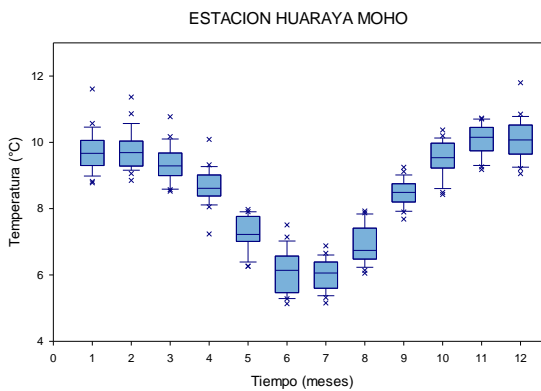
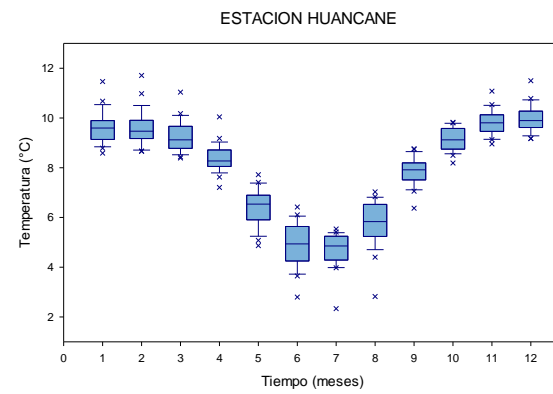
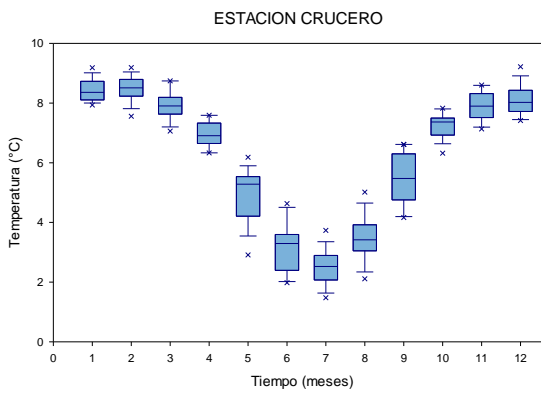
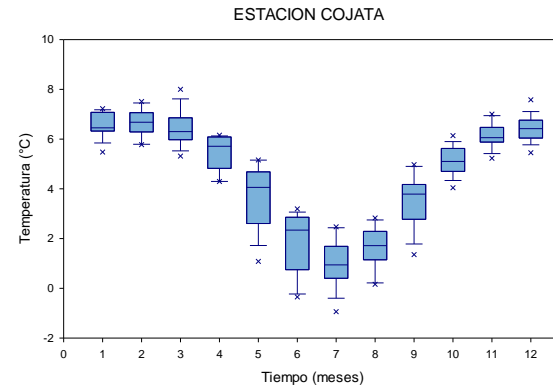
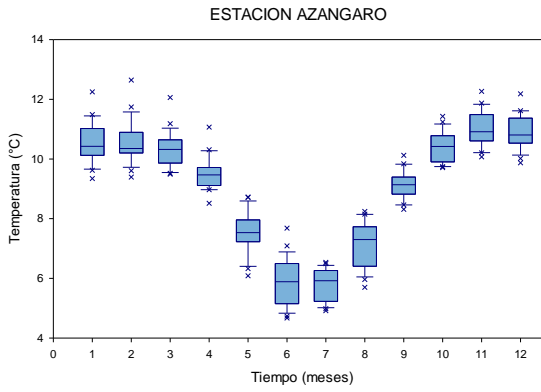
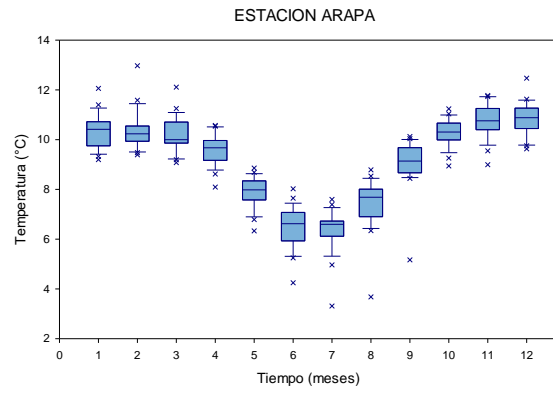
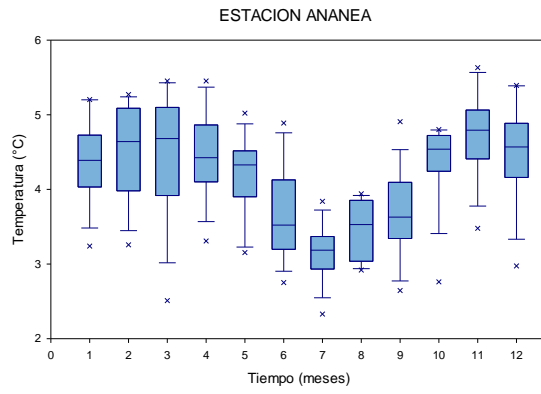


Figura 30. Temperatura a nivel diario - estación Huancané

Se realizó el análisis exploratorio de datos (AED) mediante el método de diagrama de cajas (Figura 30), con la finalidad de detectar inconsistencias y/o datos atípicos en el registro de datos de temperatura.



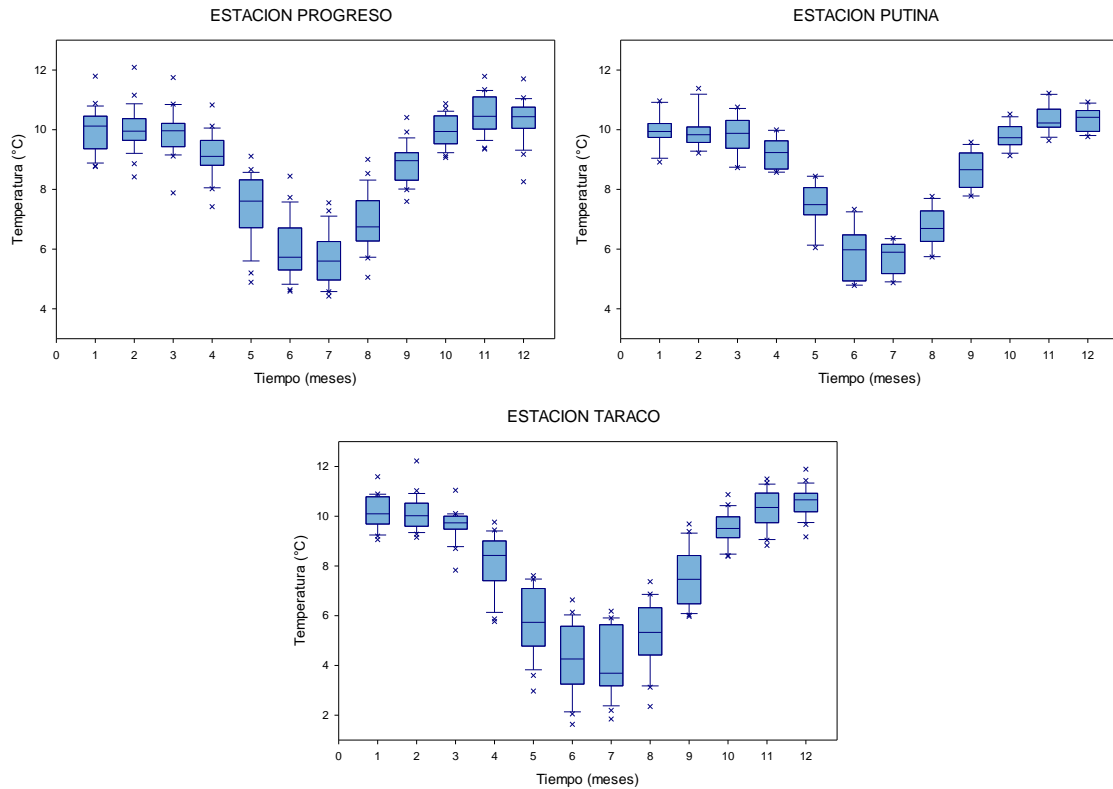


Figura 31. AED: diagrama de cajas de la temperatura media multimensual

Dentro del periodo de registro utilizado en el presente estudio, se ha detectado ausencia de datos de temperatura máxima y mínima en las estaciones de Ananea, Azángaro, Cojata, Crucero, Putina y Taraco (ver Tabla 7), los mismos que han sido completados mediante el método de regresión lineal entre estaciones que tengan similar comportamiento térmico; para ver el comportamiento similar se realizó el análisis de correlación entre todas las estaciones para un periodo de datos completos; en donde se obtuvieron índices de correlación aceptables, los mismos que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Índices de correlación entre estaciones (Temperatura media)

	Anan.	Arap.	Azan.	Coja.	Cruc.	Huan.	Huar	Muña	Prog.	Put.	Tar.
Ana.	1.000										
Ara.	0.785	1.000									
Azan.	0.767	0.872	1.000								
Coja.	0.786	0.838	0.879	1.000							
Cruc.	0.723	0.656	0.540	0.493	1.000						
Huan.	0.779	0.959	0.909	0.894	0.634	1.000					
Huar.	0.737	0.918	0.850	0.762	0.497	0.897	1.000				
Muñ.	0.632	0.880	0.663	0.675	0.408	0.781	0.911	1.000			
Prog.	0.876	0.949	0.845	0.858	0.718	0.943	0.836	0.754	1.000		



	Anan.	Arap.	Azan.	Coja.	Cruc.	Huan.	Huar	Muña	Prog.	Put.	Tar.
Put.	0.287	0.732	0.438	0.528	0.423	0.695	0.610	0.730	0.618	1.000	
Tar.	0.685	0.808	0.590	0.607	0.592	0.820	0.737	0.730	0.821	0.752	1.000

4.1.3. Evapotranspiración

la evapotranspiración fue calculada por el método Turc, que se encuentra incluido dentro de la plataforma RS- Minerve; la cual utiliza la siguiente ecuación:

$$ETP = CoEFFETP * K * \frac{T}{T+15} * (R_g + 50), \text{ Si } T > 0$$

$$ETP = 0, \text{ Si } T \leq 0$$

En donde T: Temperatura del aire en °C, R_g : Radiación global (cal/cm²/día), K:

Constante

Valor de la constante K es:

$$K = 0.4 \text{ Si mes } \neq \text{ Febrero}$$

$$K = 0.37 \text{ Si mes } = \text{ Febrero}$$

4.1.4. Análisis hidrométrico

Se realizó el análisis exploratorio de los datos hidrométricos de la estación Puente Huancané, mediante el análisis visual de histogramas y diagrama de cajas con la finalidad de detectar datos atípicos en la serie histórica; en las Figuras 32 y 33 se observa el histograma de los caudales observados a paso diario y mensual desde el periodo enero de 1991 a diciembre de 2015.

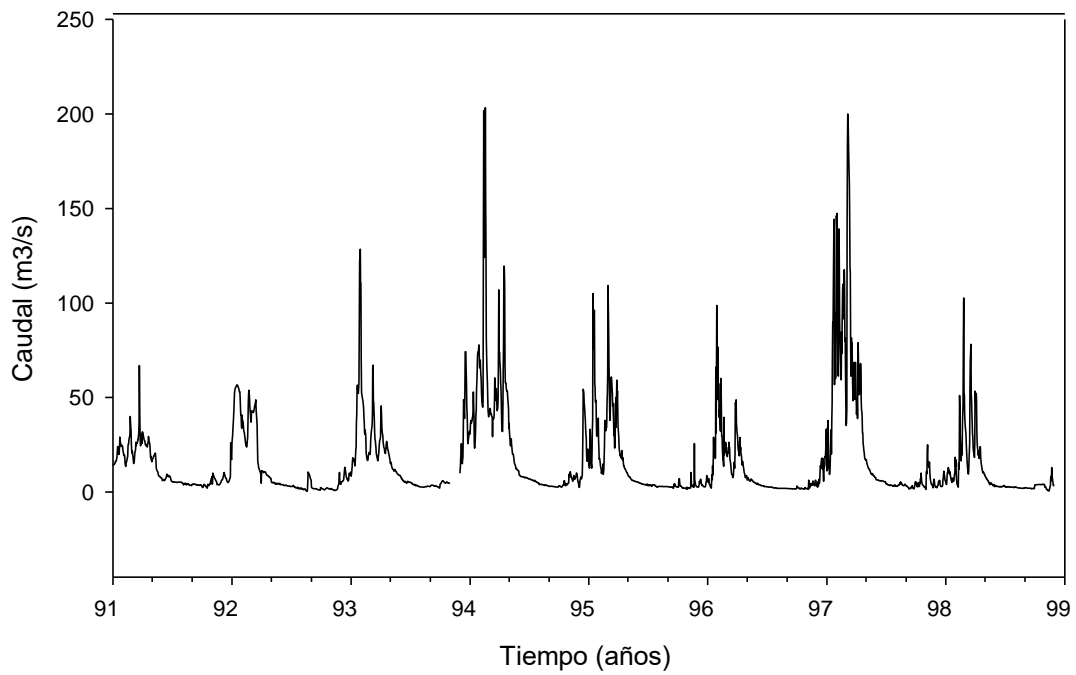


Figura 32. Caudal diario registrado en el puente Huancané

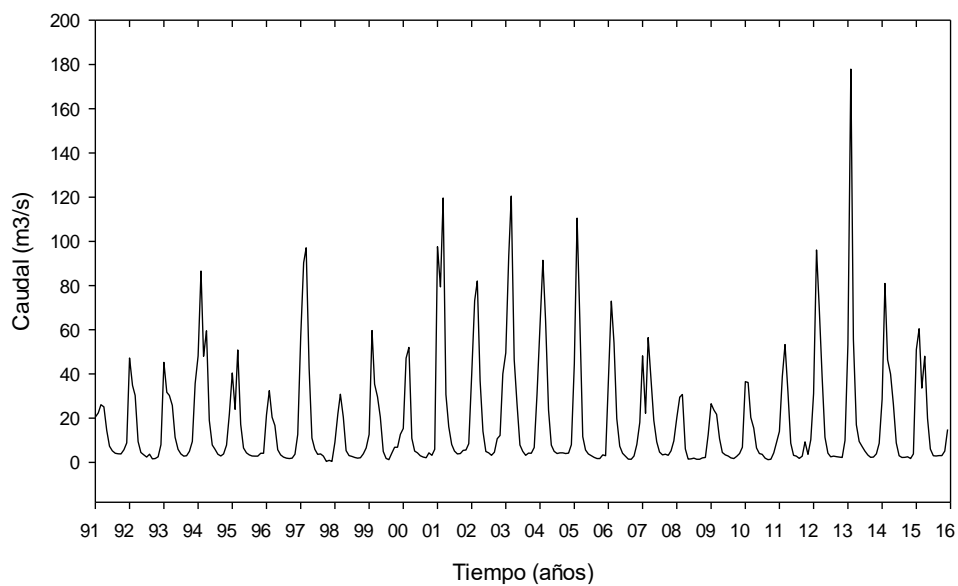


Figura 33. Caudal mensual registrado en el puente Huancané

Así mismo en la Figura 34 se observa el diagrama de cajas (box plot) de caudales medios mensuales de la estación hidrológica Puente Huancané. Según el grafico de

diagrama de cajas se observa mayor variabilidad en la estación húmeda que se da en los meses de diciembre a abril.

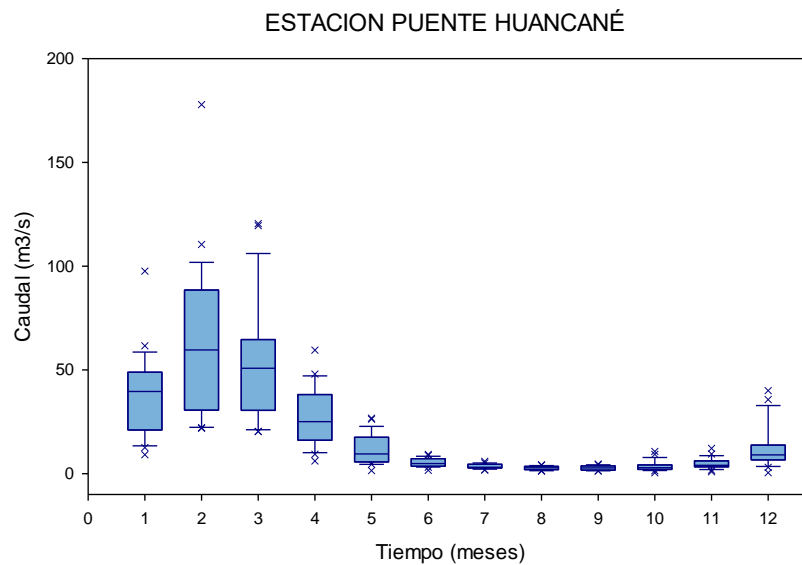


Figura 34. Diagrama de cajas de caudales mensuales periodo 1991-2015

La Figura 34 muestra que los primeros cuatro meses del año vienen a ser los que registran mayores caudales y los siguientes meses del año los que registran caudales mucho más bajos y casi constantes.

4.2. APLICACIÓN DE LOS MODELOS LLUVIA ESCORRENTÍA HBV Y SAC-SMA

Primeramente, se realizó la adecuación de los modelos lluvia escorrentía HBV y SAC-SMA a la cuenca del río Huancané considerando 09 sub cuencas o unidades hidrológicas que describieran la morfología del área de estudio.

En la Tabla 22 se presentan las condiciones iniciales para cada modelo, las cuales han sido obtenidas a partir de las simulaciones iniciales y han servido para realizar la calibración en los 02 modelos hidrológicos.

Tabla 22. valores iniciales de los modelos lluvia escorrentía

Modelo	Parámetro	Descripción	Valor	Und
HBV	HsnowIni	Altura inicial de nieve	0	m
	WHIni	Contenido relativo inicial de agua en la nieve	0	
	HIIni	Humedad inicial	0.119	m
	SUIni	Nivel inicial del agua del depósito superior	0.004	m
	SLIni	Nivel inicial del agua del depósito inferior	0.074	m
SAC-SMA	AdimIni	Contenido inicial de agua en tensión	0.079	m
	UztwIni	Nivel inicial de la tensión de agua en la capa superior	0	m
	UzfwIni	Nivel inicial de agua libre en la zona superior	0	m
	LztwIni	Nivel inicial de la tensión de agua en la capa inferior	0.056	m
	LzfpIni	Nivel inicial del agua libre primario en la capa inferior	0.013	m
	LzfsIni	Nivel inicial del agua libre suplementario en la capa inferior	0	m

En esta etapa inicial, se ha realizado simulaciones para el periodo enero de 1991 – diciembre de 2015, los valores obtenidos reflejan una representación regular de la cuenca hidrológica, el resumen de los indicadores estadísticos de bondad de ajuste de la simulación se muestra en la Tabla 23:

Tabla 23. Indicadores estadísticos de bondad de ajuste – sin calibración

Parámetros Estadísticos	Simulación (Ene 1991 – Dic 2015)	
	HBV	SAC_SMA
Nash	0.6284	0.55572
Nash-ln	0.78449	0.26434
Pearson correlation coeff.	0.79316	0.77357
Kling-gupta Efficiency	0.73444	0.75206
Bias Score	0.99918	0.9921
RRMSE	0.92377	1.01008
Relative Volume Bias	-0.02781	-0.08161
Normalizad Peak Error	-0.15776	0.06913

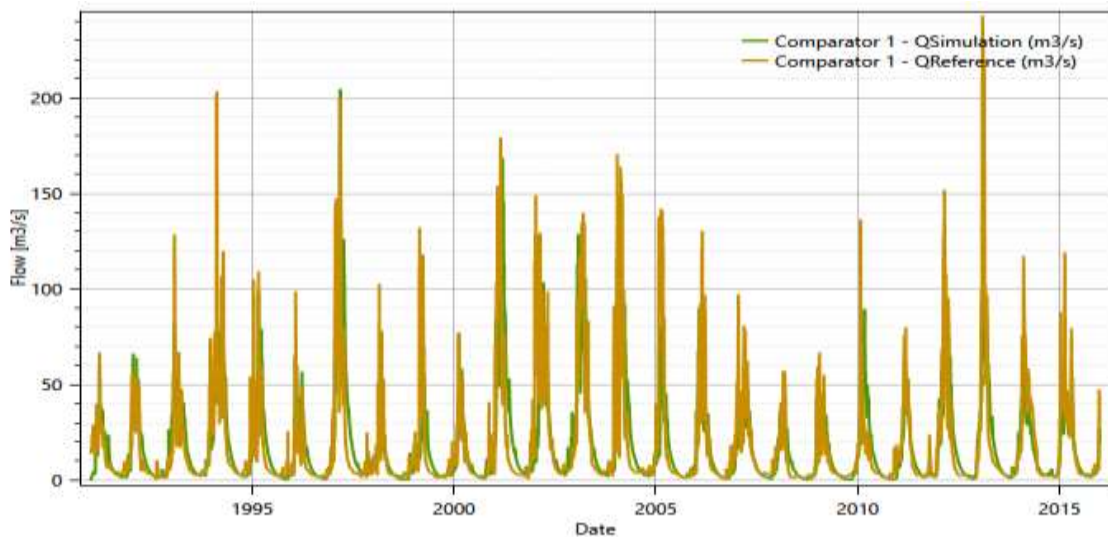


Figura 35. Resultado de la simulación modelo HBV

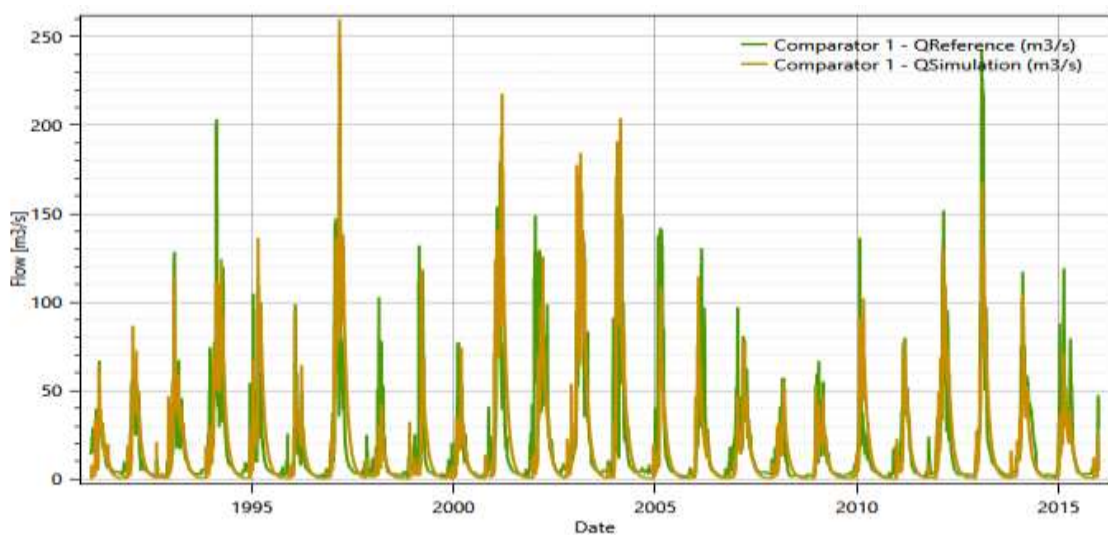


Figura 36. Resultado de la simulación modelo SAC-SMA

En un análisis visual de los resultados presentados en las Figuras 35 y 36, se puede observar que, al inicio del episodio, el caudal base simulado frente al observado presenta diferencias significativas, siendo el simulado prácticamente nulo, un razonamiento en este sentido podría ser, que el modelo en las condiciones impuestas, no es capaz de representar un almacenamiento. Así mismo se observa que el modelo HBV tiende a subestimar los eventos pico en épocas de avenida, por otro lado, el modelo SAC-SMA sobreestima los caudales de avenida no logrando representar adecuadamente los periodos húmedos.

4.2.1. Calibración

La calibración se realizó con el método Shued Complex Evolution, University of Arizona (SCE-UA) (Duan et al., 1992, 1993), algoritmo incorporado en RS MINERVE para la calibración automática multiobjetivo. La función objetivo se ha centrado en cuatro indicadores estadísticos de bondad de ajuste:

- El coeficiente de Nash
- El coeficiente Nash para valores logarítmicos (Nash-ln)
- Error relativo de la raíz cuadrática media (RRMSE)
- El coeficiente de Pearson (r)

Según Astorayme et al. (2015), se considera que estos cuatro indicadores son suficientes para evaluar la calidad de los modelos generados, priorizándolos con pesos de 40, 30, 20 y 10% respectivamente, para la calibración multiobjetivo. La siguiente ecuación muestra la función objetivo final con los pesos considerados para la calibración.

$$OF = 0.4 * Nash + 0.30 * Nashln + 0.10 * r - 0.2 * RRMSE$$

En esta etapa de calibración de los modelos hidrológicos se ha realizado varias simulaciones para diferentes periodos de tiempo con la finalidad de que los modelos obtengan un mayor ajuste en base a los indicadores de eficiencia y la función objetivo.

Una vez fijado el periodo de calibración que data desde enero de 1991 a diciembre de 2010, se consideró la siguiente metodología para calibrar todos los parámetros de los modelos. En primera instancia se ha considerado realizar la calibración en grupos de tres parámetros de cada modelo, posterior a ello se realizó la calibración parámetro por parámetro repitiendo este proceso hasta estabilizar el modelo y lograr la óptima solución de la función objetivo; este procedimiento se inició con los parámetros más sensibles, como son los reservorios de cada modelo. Las Tablas 24 y 25 muestra los parámetros de

los modelos hidrológicos obtenidos en esta etapa de calibración automática usando el método matemático SCE-UA. En ambos modelos los parámetros fueron evaluados conforme a los umbrales máximos y mínimos establecidos en el Manual Técnico de RS Minerve (García, et al., 2016).

Tabla 24. Parámetros obtenidos de la calibración del modelo hidrológico SAC

MODELO	PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
MODELO SAC-SMA	Adimp	8E - 07	-
	Pctim	0.0043272	-
	Riva	0.037092	-
	UztwMax	0.0533147	m
	UzfwMax	0.0066613	m
	Uzk	0.567467	1/día
	Zperc	349.6886215	-
	Rexp	3.3181282	-
	Pfree	0.2893169	-
	LztwMax	0.1471048	m
	LzfpMax	0.0640639	m
	LzfsMax	0.0781297	m
	Rserv	0.475585	-
	Lzpk	0.0043397	1/día
	Lzsk	0.1157452	1/día
	Side	0.1976088	-

Tabla 25. Parámetros obtenidos de la calibración del modelo hidrológico HBV

MODELO	PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
MODELO HBV	CFMax	19.6524921	mm/°C/día
	CFR	0.2600818	-
	CWH	0.0800061	-
	TT	2.3425814	°C
	TTInt	0.007052	°C
	TTSM	0.0011882	°C
	Beta	1.5315159	-
	FC	0.445658	m
	PWP	0.3791	m
	SUMax	0.0252488	m
	Kr	0.1027056	1/día
	Ku	0.1177031	1/día
	Kl	0.0073831	1/día
	Kperc	0.0296912	1/día

En las Figuras 37 y 38 se observan las salidas de los modelos precipitación escorrentía HBV y SAC-SMA, versus la serie observada para la estación de aforo del Puente Huancané correspondiente al periodo de calibración 1991 – 2010.

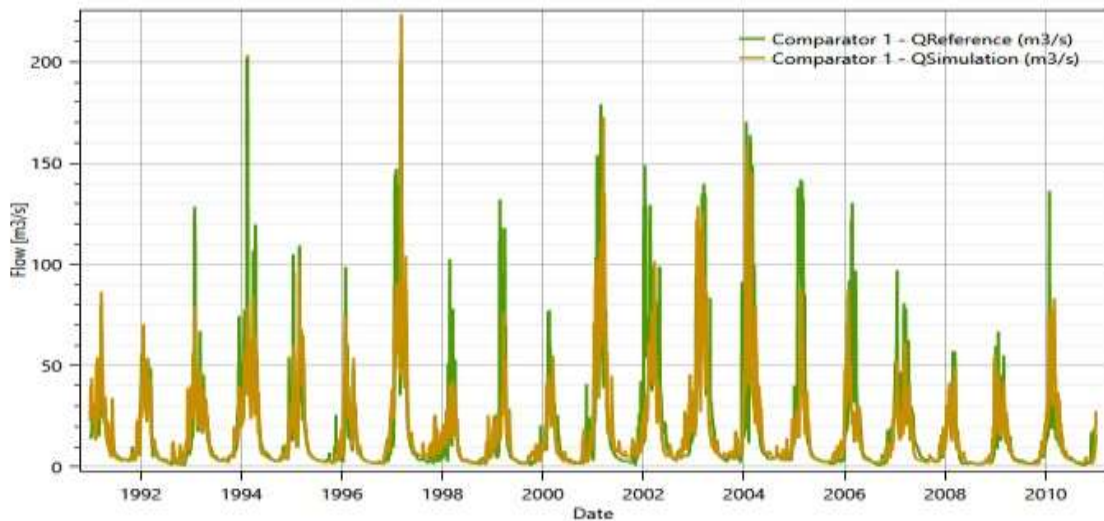


Figura 37. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados para el periodo 1991-2010 Modelo HBV

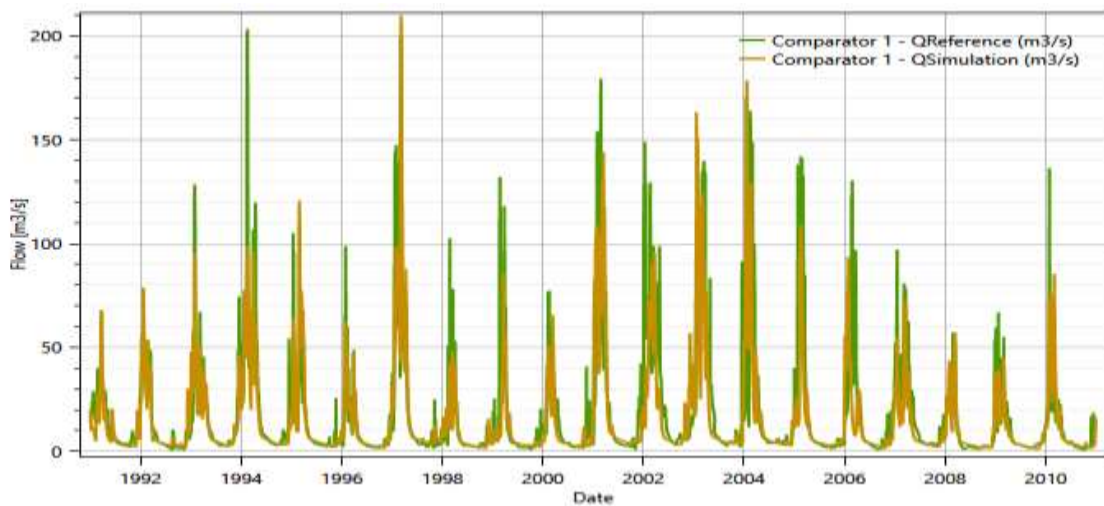


Figura 38. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados para el periodo 1991-2010 Modelo SAC-SMA

Del análisis gráfico, se puede observar que los resultados obtenidos han mejorado significativamente respecto a las primeras simulaciones sin calibrar. Sin embargo, se observa que los modelos no han podido reproducir de forma exacta los periodos de

avenida como los caudales picos observados específicamente en los años 1993, 1994 y 1998, 1999, 2006 y 2010 donde subestima los caudales.

De los resultados de evaluación estadística de los modelos lluvia escorrentía HBV y SAC-SMA muestran una buena respuesta hidrológica (Tabla 26) con coeficientes de Nash muy similares de 0.800 para el modelo HBV y 0.847 para el modelo SAC-SMA, así mismo ambos modelos muestran un mejor ajuste para la época de estiaje con coeficientes de Nash-In de 0.88 para HBV y Nash-In de 0.90 para SAC-SMA.

Tabla 26. Indicadores estadísticos de bondad de ajuste

Parámetros Estadísticos	Simulación (Ene 1991 – Dic 2010)	
	HBV	SAC-SMA
Nash	0.80028	0.84700
Nash-In	0.88978	0.90264
Pearson correlation coeff.	0.89481	0.92072
Kling-gupta Efficiency	0.82513	0.90835
Bias Score	0.99949	0.99885
RRMSE	0.65405	0.57246
Relative Volume Bias	0.02255	-0.03274
Normalizad Peak Error	0.10009	0.03190

Según el criterio propuesto por Molnar (2011), los modelos hidrológicos presentan resultados con bondades de ajuste que pueden ser considerados como excelentes (Tabla 27), cabe resaltar que este autor evalúa los resultados en base a la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

Tabla 27- Valores referenciales del criterio Nash Sutcliffe.

Eficiencia de Nash-Sutcliffe	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 -0.6	Bueno
– 0.8	Muy Bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: (Molnar, 2011)

Sin embargo, Moriasi et al. (2007), evalúa los modelos en función de tres estadísticos, la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), el sesgo porcentual (PBIAS) y la relación del error cuadrático medio a la desviación estándar de los datos medidos (RRMSE), y afirma que la simulación de un modelo puede considerarse satisfactoria si $NSE > 0.50$ y $RSMSE \leq 0.70$; por lo que los modelos desarrollados en términos de eficiencia son buenos ver Tabla 26.

Tabla 28. Rangos de evaluación para calibración y validación

Calibración	Validación	Resultado
0.00 – 0.29	0.00 – 0.19	Malo
0.30 – 0.49	0.20 – 0.39	Regular
0.50 – 0.69	0.40 – 0.59	Aceptable
0.70 – 0.90	0.60 – 0.80	Bueno
0.91 – 0.95	0.81 – 0.90	Muy Bueno
0.96 – 1.00	0.90 – 1.00	Excelente

Fuente: (Moriasi, et al., 2007)

4.2.2. Validación

Para el proceso de validación de los modelos hidrológicos HBV y SAC-SMA, usamos los parámetros determinados en la etapa de calibración con un periodo diferente, en este caso de 05 años que data desde enero de 2011 a diciembre de 2015. Los nuevos valores de eficiencia nos muestran una buena representación hidrológica de la cuenca Huancané.

Tabla 29. Parámetros estadísticos de los modelos hidrológicos etapa de validación

Parámetros Estadísticos	Simulación (Ene 2011 – Dic 2015)	
	HBV	SAC-SMA
Nash	0.73845	0.74425
Nash-ln	0.85885	0.86105
Pearson correlation coeff.	0.80606	0.81043
Kling-gupta Efficiency	0.71809	0.74268
Bias Score	0.98182	0.95924
RRMSE	0.91119	0.90386

Relative Volume Bias	-0.11882	-0.16798
Normalizad Peak Error	-0.07946	-0.13653

Se puede observar en los resultados de la evaluación estadística para la etapa de validación, existe una ligera variación respecto a los estadísticos de la etapa de calibración, sin embargo, se podría afirmar que los modelos hidrológicos representan adecuadamente a la cuenca Huancané ya que se obtuvieron resultados “buenos” según Moriasi et al. (2007), para ambos modelos hidrológicos.

Así mismo, se puede observar en las Figuras 39 y 40, que los caudales simulados se ajustan a los caudales observados en todo este periodo, excepto en los eventos extremos como en el año 2013 en donde el valor observado es mucho más mayor al valor simulado.

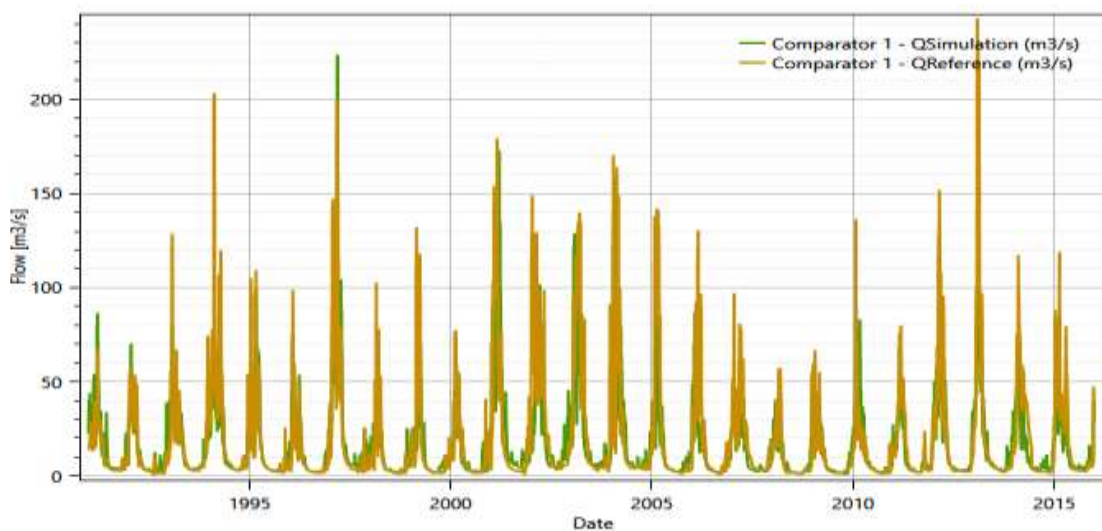


Figura 39. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados - Resultados finales de la validación del modelo HBV

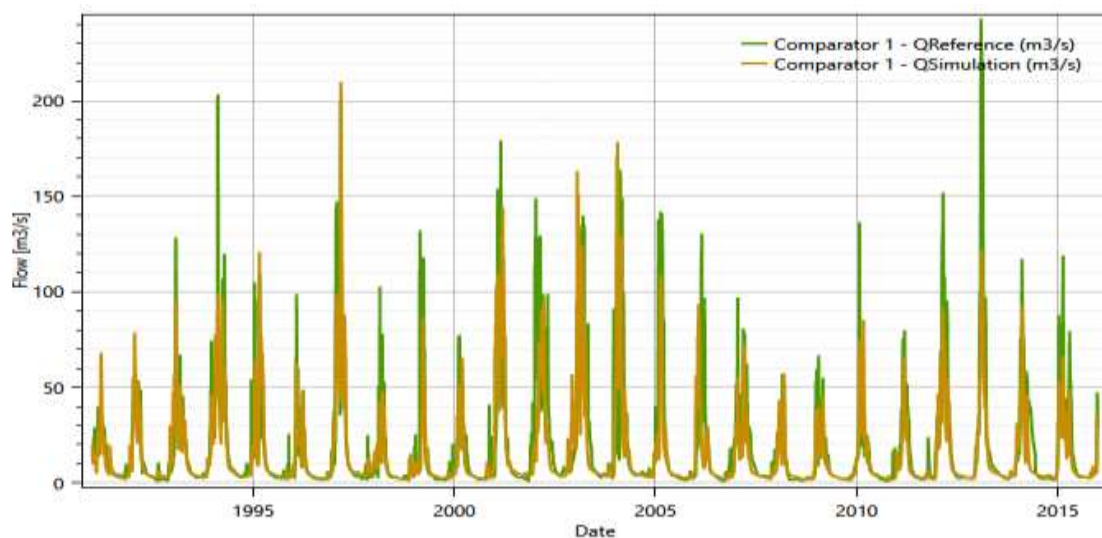


Figura 40. Gráfico comparativo de caudales observados y simulados – Resultados finales de la validación del modelo SAC-SMA

4.2.3. Comparación de modelos

El objetivo principal de esta investigación fue de evaluar el desempeño de los modelos semidistribuidos HBV y SAC-SMA en la modelización de la cuenca del Río Huancané, para ello se ha utilizado los registros de precipitación y temperatura de 11 estaciones meteorológicas a escala diaria tanto para la calibración y validación de los modelos hidrológicos, además ambos modelos han sido evaluados en base a cuatro indicadores estadísticos de bondad de ajuste, que según Astorayme et al. (2015), se considera suficientes para evaluar la calidad de los modelos.

Ambos modelos lluvia-escorrentía presentan desempeños similares en la etapa de calibración como en la validación respecto a la serie observada. Sin embargo, es necesario mencionar que durante el periodo de tiempo analizado se ha detectado valores extremos en la serie observada que se producen cada cierto tiempo y que no han podido ser reproducidos adecuadamente por los modelos hidrológicos, esto explica la ligera disminución de los coeficientes de Nash del periodo de validación respecto al de calibración.

También es necesario mencionar que el periodo considerado para la calibración y validación del modelo es de 25 años, lo que implica una mayor variabilidad en los datos utilizados y explica por qué se encontraron coeficientes de Nash menores a los valores encontrados por Astorayme et al. (2015) y Lujano et al (2016).

Respecto a los coeficientes de Nash-ln, en ambos modelos se obtuvieron valores cercanos a 0.9 lo que indica que estos modelos logran representar adecuadamente la época seca, además se puede apreciar una clara diferencia en los resultados de las simulaciones, notando ligeramente un mejor desempeño en la simulación de caudales mediante el modelo SAC-SMA, en la Tabla 30 se puede observar los valores comparativos de la etapa de calibración y validación en función de los cuatro estadísticos evaluados.

Tabla 30. Comparación de los índices estadístico de ajuste de bondad

Estación de Aforo	Parámetros Estadísticos	Modelos Hidrológicos		
		HBV	SAC-SMA	
Puente Huancané	Calibración	Nash	0.80028	0.84700
		Nash-ln	0.88978	0.90264
		Coef. Pearson	0.89481	0.92072
		RRMSE	0.65405	0.57246
	Validación	Nash	0.73845	0.74425
		Nash-ln	0.85885	0.86105
		Coef. Pearson	0.80606	0.81043
		RRMSE	0.91119	0.90386

Para el análisis de variación de los caudales a escala mensual de las series simuladas respecto a la serie observada, se ha optado por evaluar los caudales medios multianuales, utilizando la diferencia porcentual por cada mes según la siguiente ecuación:

$$DPi = \frac{QSi - QOi}{QOi} * 100$$

Dónde:

- Dpi: Diferencia porcentual entre el caudal simulado y observado,
- Qsi: Caudal simulado para el mes i ,
- Qoi: Caudal observado para el mes i .

Los resultados se muestran en la Tabla 31 y Figura 41, A nivel mensual los caudales simulados por el modelo HBV muestran subestimaciones en los meses de enero a junio con un mínimo de 6.63 % en el mes de enero y un máximo de 30.29 % en el mes de febrero; asimismo para los meses que muestran sobrestimación se presentó un mínimo de 4.82 % en el mes de julio y un máximo de 45.68 % en el mes de octubre.

Por otro lado, los caudales simulados por el modelo SAC-SMA muestran subestimaciones en los meses de enero a junio y de octubre a Diciembre (toda la época húmeda), con un mínimo de 3.25 % en el mes de octubre y un máximo de 28.41% en el mes de febrero; los meses que muestran sobrestimación son de Julio a setiembre con un mínimo de 10.25 % en el mes de setiembre y un máximo de 28.28 % en el mes de agosto.

Tabla 31. Caudales medios mensuales multianuales (1991 - 2015), Diferencia porcentual entre caudales observados y caudales simulados

Meses	Caudal observado (m ³ /s)	Caudales Simulados (m ³ /s)		Dpi (%)	
		HBV	SAC	HBV	SAC
Ene	38.50	35.94	36.28	-6.63	-5.76
Feb	62.77	43.76	44.94	-30.29	-28.41
Mar	49.97	42.96	42.98	-14.03	-13.97
Abr	28.16	24.70	21.85	-12.27	-22.40
May	11.19	9.35	7.42	-16.48	-33.69
Jun	5.45	4.87	4.95	-10.64	-9.26
Jul	3.53	3.71	4.07	4.82	15.07
Ago	2.71	3.21	3.48	18.12	28.28
Set	2.67	3.32	2.94	24.45	10.25
Oct	3.27	4.77	3.17	45.68	-3.25
Nov	5.04	6.84	4.22	35.76	-16.23
Dic	12.11	14.21	10.52	17.37	-13.15

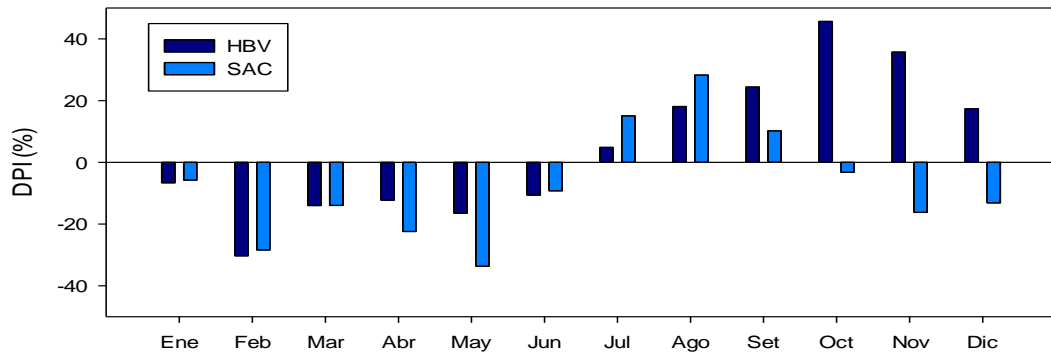


Figura 41. Dpi mensual entre caudales observados y caudales simulados periodo 1991 - 2015

En la Figura 42 se muestra las curvas de duración de caudales a nivel multianual para cada modelo, y la comparación de los caudales mensuales simulados para una persistencia de 75%, donde se verifica que ambos modelos no logran representar adecuadamente los eventos extremos.

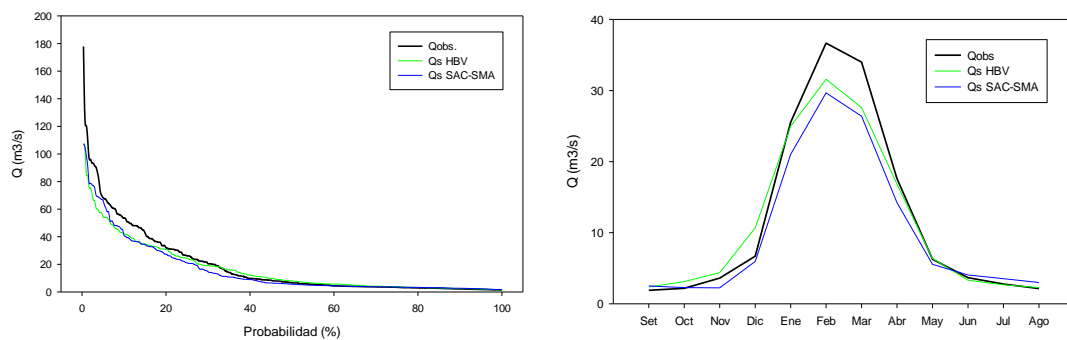


Figura 42. Curva de duración de caudales y curva de variación estacional con una probabilidad de ocurrencia del 75%.

La Figura 43 muestra la relación lineal entre los caudales observados y simulados para ambos modelos, Se puede observar que los coeficientes de determinación son de 0.73 y 0.74 entre las descargas observadas y simuladas lo que indica un buen ajuste lineal de los modelos.

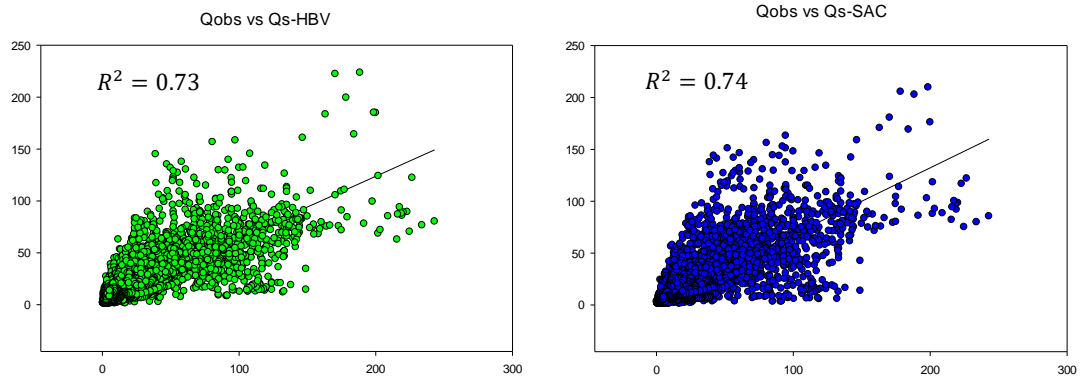


Figura 43. Diagrama de dispersión entre las series observadas y simuladas periodo 1991 – 2015



V. CONCLUSIONES

Se ha realizado la modelación hidrológica semidistribuida utilizando satisfactoriamente los modelos precipitación-escorrentía HBV y SAC-SMA en la cuenca del río Huancané para el periodo de 1991 – 2015, de los cuales el proceso de calibración tuvo lugar desde enero de 1991 hasta diciembre de 2010 y el proceso de validación desde enero de 2011 – a diciembre de 2015; para ambos procesos se han utilizado los datos observados de la estación hidrométrica Puente Huancané.

Los modelos HBV y SAC-SMA presentan un desempeño muy similar tanto en la etapa de calibración como en la etapa de validación, obteniendo valores del coeficiente de Nash mayores a 0.70; Según Moriasi et al. (2007), estos resultados son considerados “buenos”. Así mismo ambos modelos presentan un coeficiente de correlación de Pearson mayor a 0.80, indicando que existe una relación lineal aceptable entre los datos simulados y observados.

En la etapa de validación, se observa que los modelos HBV y SAC-SMA reproducen casi todos los eventos presentes en el periodo simulado, presentando una adecuada distribución temporal de caudales. Sin embargo, al comparar los caudales máximos observados frente a los caudales máximos simulados, ambos modelos presentan una tendencia a subestimar algunos valores extremos. Así mismo en esta etapa se puede notar una ligera disminución en los estadísticos de ajuste de bondad respecto al de calibración (Tabla 30), con valores de índice de Nash superior a 0.7 según la literatura se consideran buenos y demuestra un rendimiento satisfactorio de los modelos.

Los resultados de las simulaciones permiten concluir que los modelos HBV y SAC, describen con buena precisión a las series observadas, representando mejor las épocas de estiaje, respecto a las épocas de avenida ambos modelos presentan algunas



incompatibilidades no logrando representar adecuadamente los valores extremos, así mismo podemos resaltar que el modelo SAC.SMA con mayor cantidad de parámetros, presenta un mejor desempeño respecto al modelo HBV, (Tabla 30) tanto en la etapa de calibración y de validación.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la investigación en las demás cuencas del altiplano peruano con la finalidad de poder evaluar y cuantificar los recursos hídricos superficiales a tiempo real, así mismo dada la versatilidad del Software RS Minerve, se recomienda su empleo en todo tipo de estudios hidrológicos e hidráulicos, así como de sistemas complejos, con el único fin de poder optimizar el uso de los recursos hídricos.

Se recomienda realizar la evaluación de los modelos SOCONT y GR4J en la cuenca del río Huancané, con la finalidad de probar su capacidad de respuesta hidrológica y de esa manera tener un mayor panorama de que modelo representa mejor las características hidrológicas de la cuenca del río Huancané.

Es de suma importancia implementar estaciones de aforo en las subcuencas del altiplano peruano y de todo el país, de esta manera se puede cuantificar los recursos hídricos y poder representar de mejor manera las cuencas mediante un modelo hidrológico. También esto conllevaría a poder plantear sistemas de afianzamiento hídrico como represas, cochas, etc.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2010). Estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches. (*Informe Final*).
Autoridad Nacional del Agua, Lima.
- Astorayme, M., Garcia, J., Suarez, W., Felipe, O., Huggel, C., & Molina, W. (2015).
Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río
Chillon, Perú. *REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFERICA*, 17.
- Belizario, G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis,
Puno-Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(1), 47–52.
<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Bergström, S. (1992). *The HBV Model - its structure and applications*. Norrköping,
Suecia: SMHI Reports RH No. 4.
- Beven, K., & Kirkby, M. (1979). A physically based, variable contributing area model of
basin hydrology. *Hydrological Sciences*, 24:1, 43-69.
- Burnash, R., Ferral, R., & McGuire, R. (1973). *A generalized streamflow simulation
system conceptual modeling for digital computers*. California: US Department of
commerce, National Weather Service and State of California, Department of Water
Resources.
- Cabrera, J. (2012). *Modelos Hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Chow, V. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Dahmen, E., & Hall, M. (1990). *Screening of Hydrological Data: Test for Stationarity and
Relative Consistency*. The Netherlands: International Institute for Land
Reclamation and Improvement ILRI.



- Daniel, E., Camp, J., LeBoeuf, E., Penrod, J., Abkowitz, D., & Abkowitz, M. (2011). Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. *The Open Hydrology Journal*, 26-50.
- Echevarria, W. (2016). *Gestion de la disponibilidad de los recursos hidricos en el Peru*. Lima, Perú.: Autoridad Nacional del Agua.
- Estrela, T. (1992). *Modelos matemáticos para la evaluacion de recursos hídricos*. Madrid.: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- FAO. (2007). Generación de programas y proyectos de gestion de cuencas hidrográficas. (*Libro de consulta*). Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Roma.
- Garcia Hernandez, J., Paredes Arquiola, J., Foehn, A., & Roquier, B. (2016). *RS MINERVE - Technical manual v2.4*. Switzerland: RS MINERVE Group.
- Garcia, J., Foehn, A., Fluixa, J., & Roquier, B. (2018). El sistema Minerve para la modelización de crecidas en el canton de Valais en Suiza: Análisis de la cuenca Grande-EAU. *XX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL LIMA, PERÚ*, 9.
- Gonzales, V., & Alfaro, R. (2007). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Gupta, H., Kling, H., Yilmaz, K., & Martinez, G. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377, 80-91.



- Hirsch, R., Alexander, R., & Smith, R. (1991). Selection of Methods for the Detection and Estimation of Trends in Water Quality. *WATER RESOURCES RESEARCH*, Vol. 27, N° 5, 803-813.
- Iparraguirre, D., & Arias, L. (2018). Generación de hidrogramas de la subcuenca Chosica empleando la plataforma de modelamiento RS Minerve. (*Tesis*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Jajarmizadeh, M., Harum, S., & Salarpour, M. (2012). A Review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5: 249-261.
- Laqui, W. (2010). Aplicación de redes neuronales artificiales a la modelización y previsión de caudales medios mensuales del río Huancane. *REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFERICA RPGA*, 2, 30 - 44.
- Lobo, D., Gabriels, D., Ovalles, F., Santibañez, F., Moyano, M., Aguilera, R., . . . Urra, N. (n.d.). Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe. *Guía*. CAZALAC, Chile.
- Lujano, E., Sosa, J., Lujano, A., & Lujano, R. (2016). Modelación hidrológica semidistribuida en la región hidrográfica del Titicaca: caso de estudio cuenca del río Ramis, Perú. *Revista de Investigación Altoandina*, 8.
- Mejía, J. (2012). *Hidrología Aplicada*. Lima-Perú: UNALM.
- Molnar, P. (2011). "*Calibration*". *Watershed Modelling*. Switzerland: Institute of Environmental Engineering Zürich.



- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harnel, R., & Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Ortiz, O. (2004). Evaluación Hidrológica. *HIDRORED*, 16 p.
- Páez, J. (2018). Operação integrada hidro/solar na bacia do Alto São Francisco. (*Tesis de Maestria*). Universidad Estadual de Campinas, Campinas.
- Perrin, C., Claude, M., & Vazken, A. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *SCOPUS ELSEVIER, Journal of Hydrology* 279, 275-289.
- Peruano, E. (02 de Setiembre de 2009). Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. *El Peruano*.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sangüesa, C., León, L., & Balocchi, F. (2009). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la región del Maule, Chile. *Aqua-LAC*, 172-185 pp.
- Raghunath, H. (2006). *Hydrology Principles - Analysis - Design*. Manipal, Karnataka - India: New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Schaefli, B., Hingray, B., Niggli, M., & Musy, A. (2005). A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, 73-117.
- SCS. (1972). *SCS National Engineering Handbook, Section 4*. Washington, DC.: Soil Conservation Service, US Department of Agriculture.



- Technology, U. F. (1962). *Scientific Hydrology Ad Hoc Panel on Hydrology*. Washington, DC.
- Tellez, A. (2016). Modelacion hidrológica del sistema de explotacion Gállego-Cinca de la confederación hidrográfica del Ebro mediante el modelo de precipitación-escorrentía HBV. (*Tesis de Maestria*). Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.
- Tukey, J. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.
- USACE. (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS. *Technical Reference Manual*. Unated States Army Corps Of Engineers, United States.
- Vauchel, P. (2005). *HYDRACCESS: Software for Management & Processing of Hydrometeorological Data*. HYBAM.
- Villon, M. (2002). *Hidrología estadística*. Cartago, Costa Rica: Instituto tecnologico de Costa Rica.
- Xu, C.-y. (2002). *Hydrologic Models*. Uppsala, Suecia: Uppsala university.
- Yaranga, D. (2017). Simulación hidrológica en la cuenca del Río Mala usando modelos hidrológicos agregados y semidistribuidos. (*Tesis*). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.



ANEXOS

ANEXO A: DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Anexo A-1; DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Anexo A-1-1; Precipitación total mensual. “Estación Ananea”

Anexo A-1-2; Precipitación total mensual. “Estación Arapa”

Anexo A-1-3; Precipitación total mensual completada. “Estación Azángaro”

Anexo A-1-4; Precipitación total mensual. “Estación Cojata”

Anexo A-1-5; Precipitación total mensual. “Estación Crucero”

Anexo A-1-6; Precipitación total mensual. “Estación Huancané”

Anexo A-1-7; Precipitación total mensual. “Estación Huaraya Moho”

Anexo A-1-8; Precipitación total mensual. “Estación Muñani”

Anexo A-1-9; Precipitación total mensual. “Estación Progreso”

Anexo A-1-10; Precipitación total mensual completada. “Estación Putina”

Anexo A-1-11; Precipitación total mensual. “Estación Taraco”

Anexo A-2; DATOS DE TEMPERATURA

Anexo A-2-1; Temperatura media mensual completada. “Estación Ananea”

Anexo A-2-2; Temperatura media mensual. “Estación Arapa”

Anexo A-2-3; Temperatura media mensual completada. “Estación Azángaro”

Anexo A-2-4; Temperatura media mensual completada. “Estación Cojata”

Anexo A-2-5; Temperatura media mensual completada. “Estación Crucero”

Anexo A-2-6; Temperatura media mensual. “Estación Huancané”

Anexo A-2-7; Temperatura media mensual. “Estación Huaraya Moho”

Anexo A-2-8; Temperatura media mensual. “Estación Muñani”

Anexo A-2-9; Temperatura media mensual. “Estación Progreso”



Anexo A-2-10; Temperatura media mensual completada. “Estación Putina”

Anexo A-2-11; Temperatura media mensual completada. “Estación Taraco”

Anexo A-3; DATOS HIDROMÉTRICOS

Anexo A-3-1; Caudal medio mensual. “Estación Puente Huancané”



Anexo A-1-1;

Precipitación total mensual. "Estación Ananea"

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	ANANEA	LATITUD	14° 40' 43.4" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	114050	LONGITUD	69° 32' 4.3" W	PROVINCIA	SAN ANTONIO DE PUTINA
TIPO	CO	ALTITUD	4660.00 msnm	DISTRITO	ANANEA

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	99.80	67.10	78.40	60.20	26.00	31.40	0.00	0.00	26.60	35.40	51.10	52.50	528.50
1992	74.80	90.10	83.60	42.90	0.00	14.10	0.00	30.00	8.30	34.90	69.80	83.80	532.30
1993	127.00	83.70	100.30	61.40	26.50	1.50	8.60	31.80	7.70	41.80	71.10	101.10	662.50
1994	150.20	188.40	114.40	76.50	0.00	3.90	0.00	1.70	7.30	23.70	39.20	147.00	752.30
1995	80.54	84.68	128.50	52.00	9.20	0.00	5.20	0.00	8.40	14.40	40.60	78.50	502.02
1996	132.20	98.60	56.20	28.60	19.00	0.00	0.50	31.40	17.00	27.90	62.50	23.30	497.20
1997	144.70	100.00	102.30	37.90	9.10	0.00	1.40	14.40	18.10	23.40	48.60	110.30	610.20
1998	76.40	102.10	76.60	35.00	0.50	6.20	0.00	0.50	8.91	81.80	92.20	49.20	529.41
1999	136.90	103.90	103.60	46.70	12.62	1.40	2.91	1.50	40.70	41.72	54.73	67.50	614.18
2000	93.28	97.81	95.43	23.73	7.12	18.12	4.13	12.70	20.40	75.03	26.10	112.51	586.36
2001	132.90	46.20	86.40	49.91	62.60	0.53	13.21	13.61	11.92	50.21	63.70	59.82	591.01
2002	65.90	125.70	107.90	42.30	10.10	0.52	27.20	19.70	39.57	48.85	115.30	74.40	677.44
2003	184.83	71.41	114.02	52.30	2.96	9.40	0.02	19.42	13.14	79.33	43.11	85.43	675.37
2004	236.30	126.80	79.42	39.82	11.70	21.40	6.00	11.40	31.20	45.80	60.20	83.81	753.85
2005	79.60	152.91	56.00	17.71	1.12	0.20	0.00	14.01	7.91	51.90	63.01	148.11	592.48
2006	165.00	83.10	61.30	62.60	2.80	5.40	0.00	20.81	29.20	71.30	69.20	98.10	668.81
2007	113.60	79.20	96.90	33.60	16.30	0.00	9.80	0.01	14.70	39.70	61.00	89.60	554.41
2008	168.20	62.70	60.31	40.61	24.70	2.80	1.80	7.70	7.11	48.30	56.00	133.70	613.93
2009	135.10	79.90	63.71	52.60	17.60	0.00	0.00	0.00	16.60	26.80	125.30	98.50	616.11
2010	115.40	95.00	103.20	22.60	14.40	0.00	6.00	0.01	2.41	38.40	40.40	90.90	528.72
2011	98.10	109.60	142.30	28.50	0.00	10.10	1.70	4.80	67.90	59.20	14.40	101.10	637.70
2012	76.30	106.81	84.50	86.10	4.80	9.00	6.81	0.20	18.72	24.00	69.60	167.70	654.54
2013	170.11	88.71	69.60	12.00	4.70	3.80	7.10	16.50	11.20	83.10	71.90	79.50	618.22
2014	145.70	124.40	114.60	37.40	16.30	2.40	23.50	8.10	52.80	42.80	60.60	0.00	628.60
2015	161.00	85.00	111.60	84.00	44.10	7.20	33.00	31.90	18.40	38.90	61.10	70.50	746.70

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	126.55	98.15	91.64	45.08	13.77	5.97	6.36	11.69	20.25	45.95	61.23	88.28	614.91
DES. STD	41.78	29.55	23.30	19.28	14.72	7.95	9.00	11.19	15.82	19.48	24.02	37.53	74.10
Min.	236.30	188.40	142.30	86.10	62.60	31.40	33.00	31.90	67.90	83.10	125.30	167.70	753.85
MAX	65.90	46.20	56.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41	14.40	14.40	0.00	497.20
MEDIANA	132.20	95.00	95.43	42.30	10.10	2.80	2.91	11.40	16.60	41.80	61.00	85.43	614.18



Anexo A-1-2

Precipitación total mensual. “Estación Arapa”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	ARAPA	LATITUD	15° 8' 10.5" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	115035	LONGITUD	70° 7' 5.6" W	PROVINCIA	AZANGARO
TIPO	CO	ALTITUD	3830.00 msnm	DISTRITO	ARAPA

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	148.90	96.10	117.40	31.00	11.50	59.60	1.80	2.30	16.00	37.60	53.50	71.70	647.40
1992	99.60	64.70	32.80	11.90	0.00	11.00	0.60	86.70	13.30	73.10	58.30	62.00	514.00
1993	125.50	73.10	111.70	91.10	11.80	3.50	0.00	19.80	22.00	103.80	74.70	111.60	748.60
1994	100.60	154.90	107.50	145.20	8.00	0.40	0.00	3.00	11.90	21.00	72.40	95.50	720.40
1995	82.40	122.80	131.50	6.40	4.30	0.00	0.00	0.00	9.00	19.50	80.30	129.60	585.80
1996	155.70	38.70	80.80	9.30	13.00	0.00	1.70	4.70	22.50	40.70	46.20	92.80	506.10
1997	193.20	129.90	141.80	55.40	2.50	0.00	0.00	18.70	36.80	31.80	107.00	78.90	796.00
1998	78.90	107.60	131.60	59.00	0.00	4.30	0.00	1.40	0.90	42.70	72.60	33.00	532.00
1999	92.90	91.90	117.30	83.60	5.70	3.60	0.00	0.00	42.30	72.20	52.30	33.10	594.90
2000	187.80	102.20	68.00	2.90	15.60	15.60	1.60	27.50	6.40	111.90	11.40	89.90	640.80
2001	210.00	209.40	129.40	57.90	27.00	3.20	9.20	9.00	9.60	75.70	45.20	131.70	917.30
2002	90.40	198.80	91.70	70.30	47.80	6.50	23.60	20.40	17.70	119.10	54.20	107.30	847.80
2003	179.20	82.60	145.80	37.70	7.80	11.40	0.00	3.50	19.20	19.40	59.80	74.60	641.00
2004	219.00	144.40	125.40	35.60	8.40	5.60	7.80	17.10	43.80	5.60	57.60	70.60	740.90
2005	90.00	154.80	83.80	20.50	1.00	0.00	0.00	5.20	22.80	60.00	68.20	126.80	633.10
2006	131.80	42.40	55.20	28.40	0.00	2.60	0.00	1.40	19.00	67.60	67.40	80.60	496.40
2007	77.80	58.80	158.80	98.20	15.80	1.80	1.00	1.20	59.80	17.00	68.30	81.80	640.30
2008	146.20	74.90	53.00	0.00	8.60	0.40	0.00	0.00	7.60	52.20	42.10	150.80	535.80
2009	41.10	139.10	113.00	44.40	0.00	0.00	3.60	0.00	11.60	35.20	82.00	113.50	583.50
2010	105.80	181.80	55.40	35.70	10.80	0.00	0.00	0.00	0.00	17.70	16.10	111.40	534.70
2011	90.80	185.30	76.30	6.70	8.30	0.60	7.60	0.90	48.60	78.90	56.90	191.40	752.30
2012	117.40	154.90	98.50	53.60	0.00	0.00	0.00	9.70	0.40	37.50	34.80	197.60	704.40
2013	149.10	133.50	104.80	24.60	30.90	9.90	3.20	11.90	12.00	45.50	34.20	140.60	700.20
2014	115.40	98.10	64.20	20.10	1.00	0.00	6.10	24.70	73.20	43.40	61.50	143.30	651.00
2015	175.80	67.40	70.10	66.20	4.20	1.80	3.00	5.30	51.90	59.90	44.90	95.10	645.60

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	128.21	116.32	98.63	43.83	9.76	5.67	2.83	10.98	23.13	51.56	56.88	104.61	652.41
DESV. STD	46.59	48.73	33.50	35.09	11.28	12.04	5.16	17.97	19.74	30.52	20.70	41.14	109.13
Min.	219.00	209.40	158.80	145.20	47.80	59.60	23.60	86.70	73.20	119.10	107.00	197.60	917.30
MAX	41.10	38.70	32.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60	11.40	33.00	496.40
MEDIANA	117.40	107.60	104.80	35.70	8.00	1.80	0.60	4.70	17.70	43.40	57.60	95.50	641.00



Anexo A-1-3

Precipitación total mensual completada. “Estación Azángaro”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL - COMPLETADA

ESTACION	AZANGARO	LATTITUD	14° 54' 51.7" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	114041	LONGITUD	70° 11' 26.7" W	PROVINCIA	AZANGARO
TIPO	CO	ALTITUD	3863.00 msnm	DISTRITO	AZANGARO

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	146.00	92.20	115.90	42.70	8.50	28.40	3.30	0.30	13.10	28.00	48.00	105.60	632.00
1992	163.20	74.80	49.70	14.40	0.00	8.00	0.00	59.80	22.10	34.30	73.30	122.60	622.20
1993	166.01	54.50	84.32	87.91	11.60	4.80	1.30	9.20	24.40	68.61	125.41	127.41	765.47
1994	111.70	169.31	89.10	85.10	0.50	0.01	0.00	6.30	13.40	35.40	59.80	88.10	658.72
1995	62.30	78.00	97.80	4.60	0.20	0.00	0.00	0.60	5.10	33.10	90.00	88.40	460.10
1996	142.50	67.90	121.90	15.70	15.00	0.30	2.00	3.10	11.20	35.20	59.50	64.00	538.30
1997	150.40	151.30	139.10	30.10	7.80	0.00	0.00	13.10	32.10	36.90	134.60	100.50	795.90
1998	95.00	71.40	77.20	24.60	0.00	10.50	0.00	0.00	11.00	58.00	76.30	17.60	441.60
1999	99.80	68.00	134.60	52.00	3.50	1.00	0.00	0.50	30.60	69.30	31.80	23.20	514.30
2000	132.40	114.00	51.30	8.40	2.90	7.90	0.50	38.80	0.70	79.80	25.62	65.30	527.62
2001	195.40	94.80	168.00	15.91	19.93	0.00	4.40	8.00	16.60	44.90	42.51	166.60	777.05
2002	157.40	116.40	155.40	49.10	10.30	1.90	10.80	9.02	15.00	187.30	87.10	170.60	970.32
2003	149.90	95.30	109.10	58.91	4.70	5.70	0.60	5.01	7.82	32.91	42.40	118.20	630.55
2004	227.40	93.90	47.73	22.80	15.90	0.01	2.81	16.50	39.61	11.06	62.60	71.51	611.83
2005	42.50	171.80	78.50	28.60	0.30	0.00	0.00	5.00	19.60	59.82	34.30	84.53	524.95
2006	188.71	36.72	75.30	17.20	0.20	1.30	0.00	2.32	11.32	60.60	60.60	71.10	525.37
2007	97.01	54.50	164.61	80.60	12.50	0.30	0.61	0.80	60.61	17.10	62.80	82.40	633.84
2008	98.40	91.90	43.71	1.01	3.10	0.00	0.00	0.00	22.80	44.01	61.51	171.60	538.04
2009	130.00	91.90	72.20	33.21	4.40	0.00	0.40	0.00	14.20	28.21	91.10	85.40	551.02
2010	162.60	95.10	63.10	41.81	7.61	5.80	0.30	2.30	0.00	25.61	24.50	70.70	499.43
2011	96.70	176.30	60.91	23.42	0.31	0.00	5.50	3.81	67.90	46.80	31.51	76.10	589.26
2012	99.70	103.21	101.60	49.41	14.60	0.00	0.00	1.30	6.61	47.52	34.60	93.60	552.15
2013	156.21	149.51	152.03	25.80	26.30	1.60	0.30	10.60	1.50	44.62	33.90	155.10	757.47
2014	92.22	93.30	94.10	33.90	5.30	0.00	0.90	37.50	48.30	51.20	34.90	140.06	631.68
2015	129.04	88.10	50.84	29.88	6.70	0.60	2.12	8.12	39.04	68.52	66.72	139.80	629.48

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	131.70	99.77	95.92	35.08	7.29	3.12	1.43	9.68	21.38	49.95	59.82	100.00	615.15
DESV. STD	42.58	37.62	39.04	23.80	7.03	6.12	2.47	14.61	18.02	33.39	29.14	41.70	121.34
Min.	227.40	176.30	168.00	87.91	26.30	28.40	10.80	59.80	67.90	187.30	134.60	171.60	970.32
MAX	42.50	36.72	43.71	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.06	24.50	17.60	441.60
MEDIANA	132.40	93.30	89.10	29.88	5.30	0.30	0.40	5.00	15.00	44.62	59.80	88.40	611.83



Anexo A-1-4

Precipitación total mensual. “Estación Cojata”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	COJATA	LATITUD	15° 1' 0" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	115053	LONGITUD	69° 21' 20" W	PROVINCIA	HUANCANE
TIPO	CO	ALTITUD	4344.00 msnm	DISTRITO	COJATA

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	120.20	96.80	108.10	36.60	19.60	40.30	0.00	0.00	18.50	31.30	53.50	76.80	601.70
1992	171.70	78.50	60.50	7.00	0.00	15.10	0.00	64.60	27.60	29.10	73.10	165.30	692.50
1993	172.80	64.20	64.30	71.40	20.50	6.50	5.90	22.00	27.20	75.60	66.70	113.60	710.70
1994	111.30	169.90	132.80	123.00	31.80	7.90	0.00	0.00	56.10	67.10	114.90	122.30	937.10
1995	153.10	96.00	142.70	33.50	8.50	0.00	6.90	0.00	20.70	34.00	53.30	97.90	646.60
1996	127.20	87.00	111.20	70.60	32.50	0.00	5.30	27.70	29.80	52.20	88.30	130.50	762.30
1997	160.70	163.40	179.50	58.20	11.50	0.00	7.90	15.90	41.00	57.10	79.50	55.90	830.60
1998	82.60	184.50	119.10	81.20	0.00	12.00	0.00	8.10	5.00	70.90	111.00	41.40	715.80
1999	125.70	122.70	160.80	47.60	13.20	4.90	3.40	0.00	60.70	63.70	44.10	88.90	735.70
2000	144.70	115.90	64.80	26.50	10.70	19.60	5.40	40.30	28.50	115.60	22.90	124.70	719.60
2001	164.60	58.50	232.70	29.80	37.60	6.80	19.20	32.70	42.20	82.10	102.60	74.00	882.80
2002	83.20	189.50	130.30	57.60	26.20	0.80	37.90	19.90	43.50	111.90	87.40	92.50	880.70
2003	173.50	135.60	130.40	55.10	13.60	6.80	0.00	29.50	17.10	43.90	84.60	119.30	809.40
2004	240.40	54.90	35.80	55.20	19.00	19.10	6.40	22.30	47.20	29.10	73.00	35.00	637.40
2005	148.10	131.30	81.80	30.30	0.80	0.00	2.40	1.80	18.20	107.50	83.30	64.30	669.80
2006	231.40	38.50	80.80	47.70	3.80	0.00	0.00	7.20	19.80	43.60	59.70	84.70	617.20
2007	144.10	53.30	142.50	76.90	37.10	0.00	0.00	2.90	66.60	30.10	99.10	112.00	764.60
2008	130.10	42.90	79.20	20.00	3.50	8.50	0.00	3.50	16.30	79.70	26.70	117.10	527.50
2009	99.40	61.50	55.90	12.10	2.60	0.00	5.20	0.00	12.00	51.20	66.30	141.20	507.40
2010	135.70	152.80	74.70	12.50	14.90	1.52	2.70	2.20	0.80	35.51	6.21	188.70	628.24
2011	57.90	136.10	116.50	35.80	9.30	0.50	7.90	9.70	61.70	102.42	48.40	114.80	701.02
2012	104.50	150.40	101.60	78.00	1.20	2.10	13.30	5.80	35.20	59.60	37.50	158.42	747.62
2013	157.30	124.30	102.30	16.50	26.80	5.40	8.40	16.20	35.31	89.04	40.20	102.50	724.25
2014	119.40	82.10	81.72	64.30	3.70	1.20	26.60	17.60	67.40	41.50	47.30	111.20	664.02
2015	141.50	88.66	56.62	123.26	21.54	0.00	22.80	37.82	30.00	66.70	99.20	108.00	796.10

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	140.04	107.17	105.87	50.83	14.80	6.36	7.50	15.51	33.14	62.82	66.75	105.64	716.43
DESV. STD	41.60	45.58	44.85	31.06	12.00	9.28	9.64	16.33	18.88	27.20	28.70	36.74	104.94
Min.	240.40	189.50	232.70	123.26	37.60	40.30	37.90	64.60	67.40	115.60	114.90	188.70	937.10
MAX	57.90	38.50	35.80	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	29.10	6.21	35.00	507.40
MEDIANA	141.50	96.80	102.30	47.70	13.20	2.10	5.30	9.70	29.80	59.60	66.70	111.20	715.80



Anexo A-1-5

Precipitación total mensual. "Estación Crucero"

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	CRUCERO	LATITUD	14° 21' 51.1" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	114058	LONGITUD	70° 1' 33.3" W	PROVINCIA	CARABAYA
TIPO	CO	ALTITUD	4183.00 msnm	DISTRITO	CRUCERO

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	125.50	81.00	176.50	59.80	49.50	30.50	0.00	0.50	72.90	43.10	87.30	183.90	910.50
1992	279.10	274.70	137.50	4.90	0.80	24.50	7.40	116.70	3.60	59.90	201.80	159.80	1270.70
1993	178.30	81.50	91.00	84.20	14.90	8.50	0.00	36.20	25.50	37.10	103.50	160.80	821.50
1994	284.90	423.20	135.40	83.00	24.90	5.60	0.00	5.10	97.60	58.70	62.30	208.40	1389.10
1995	177.90	97.90	152.80	38.30	28.20	2.30	0.00	12.70	24.10	42.60	82.10	95.20	754.10
1996	162.60	134.60	122.90	51.70	36.30	0.00	0.00	19.70	14.00	26.40	103.90	76.70	748.80
1997	205.30	331.80	197.80	42.60	16.10	0.00	0.00	13.90	14.60	42.40	94.50	31.30	990.30
1998	37.30	93.40	157.20	67.10	0.40	4.40	0.00	0.70	2.30	119.90	101.70	37.60	622.00
1999	141.00	120.00	171.10	67.30	31.70	0.80	0.50	0.00	55.70	44.90	64.40	118.00	815.40
2000	111.80	61.10	67.10	4.10	7.40	9.20	5.00	5.90	10.70	87.50	23.80	107.20	500.80
2001	170.30	65.10	135.30	27.10	17.60	0.00	16.10	11.30	21.30	23.70	50.20	89.30	627.30
2002	52.50	166.70	91.80	22.50	11.40	1.00	21.20	10.00	25.80	71.00	74.90	149.50	698.30
2003	161.80	87.30	114.00	59.00	10.10	14.30	0.00	13.20	15.10	65.10	54.00	56.10	650.00
2004	114.20	59.30	38.00	46.60	7.80	10.10	4.10	1.30	10.80	32.60	70.30	67.10	462.20
2005	88.10	114.50	54.00	19.40	4.70	0.00	3.40	8.30	5.80	45.80	44.50	91.20	479.70
2006	156.40	45.90	53.90	34.00	0.90	4.90	0.00	14.20	17.90	32.50	105.40	94.70	560.70
2007	127.20	40.00	83.20	19.40	6.90	0.50	1.70	0.00	14.80	59.10	40.90	55.80	449.50
2008	135.30	48.10	60.90	21.80	14.30	0.00	0.00	5.30	3.90	57.30	43.60	123.30	513.80
2009	81.70	73.00	37.90	24.60	8.80	0.00	4.10	0.00	51.20	10.60	67.40	57.30	416.60
2010	147.80	101.10	116.30	5.80	12.20	0.00	0.90	1.30	2.80	46.80	22.20	92.10	549.30
2011	54.10	61.20	73.70	15.70	4.80	2.60	0.00	4.80	59.20	49.50	28.20	79.40	433.20
2012	148.20	91.80	67.40	27.80	0.00	18.40	0.50	0.60	18.90	16.80	77.60	119.40	587.40
2013	135.40	141.50	41.80	23.10	20.00	14.80	0.00	17.40	10.60	75.40	56.80	103.10	639.90
2014	102.50	67.90	61.00	18.40	3.50	0.20	4.40	0.00	36.70	38.70	21.50	64.20	419.00
2015	99.80	67.20	76.30	115.00	20.20	0.00	21.20	41.10	20.60	68.00	48.30	75.40	653.10

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	139.16	117.19	100.59	39.33	14.14	6.10	3.62	13.61	25.46	50.22	69.24	99.87	678.53
DESV. STD	59.99	93.15	47.27	28.10	12.38	8.44	6.39	24.00	24.10	23.51	38.25	44.90	249.84
Min.	284.90	423.20	197.80	115.00	49.50	30.50	21.20	116.70	97.60	119.90	201.80	208.40	1389.10
MAX	37.30	40.00	37.90	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	10.60	21.50	31.30	416.60
MEDIANA	135.40	87.30	91.00	27.80	11.40	2.30	0.50	5.90	17.90	45.80	64.40	92.10	627.30



Anexo A-1-6

Precipitación total mensual. “Estación Huancané”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	HUANCANE	LATITUD	15° 12' 5.4" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	115037	LONGITUD	69° 45' 12.8" W	PROVINCIA	HUANCANE
TIPO	CO	ALTITUD	3890.00 msnm	DISTRITO	HUANCANE

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	123.40	137.70	138.00	9.00	20.10	51.10	1.00	0.70	36.40	14.10	46.10	148.20	725.80
1992	132.00	75.40	46.90	6.40	0.00	9.70	9.00	72.10	13.70	66.60	45.00	140.00	616.80
1993	127.30	47.90	111.20	58.10	11.50	2.10	0.00	10.60	19.10	56.50	90.60	143.90	678.80
1994	100.80	114.70	150.60	39.50	14.00	1.80	0.00	0.00	11.80	39.20	64.60	132.80	669.80
1995	133.30	124.10	79.70	13.70	1.20	0.00	0.80	1.20	17.00	14.70	69.50	67.20	522.40
1996	200.90	80.80	71.10	17.50	2.30	0.00	7.60	3.50	13.10	9.80	70.00	177.40	654.00
1997	171.80	110.80	183.40	83.40	15.50	0.00	0.00	15.80	40.60	41.10	85.00	51.70	799.10
1998	109.30	69.40	87.50	52.90	0.00	5.70	0.00	0.50	4.20	65.20	162.00	16.60	573.30
1999	89.40	67.40	149.50	76.90	9.20	0.50	2.10	1.70	45.70	61.70	46.20	41.20	591.50
2000	85.20	55.90	113.80	7.10	12.10	7.30	0.50	21.40	10.50	97.80	14.70	113.50	539.80
2001	205.10	142.20	159.70	13.80	21.70	3.50	6.20	10.90	9.10	92.00	63.30	123.60	851.10
2002	90.90	175.50	151.50	102.30	21.10	4.80	23.50	6.10	37.30	140.10	85.80	116.80	955.70
2003	216.50	107.80	131.30	46.30	3.00	11.00	1.10	3.00	22.40	67.60	40.80	105.90	756.70
2004	195.90	147.10	54.10	42.80	6.10	11.80	8.30	32.80	21.10	34.00	51.30	91.90	697.20
2005	109.40	148.60	96.60	16.60	0.50	0.00	0.00	5.20	28.00	75.50	31.50	94.20	606.10
2006	224.30	31.10	76.70	39.30	0.50	1.50	0.00	3.80	23.10	55.90	51.30	113.20	620.70
2007	137.90	97.40	122.80	64.00	5.20	0.00	2.20	0.70	83.10	7.60	58.10	115.40	694.40
2008	134.30	76.60	61.80	5.10	8.70	0.00	0.00	0.00	5.50	48.50	32.70	212.20	585.40
2009	80.10	113.30	42.90	9.30	0.50	0.00	3.20	0.00	12.60	13.10	58.80	100.00	433.80
2010	156.20	112.50	38.80	21.20	24.60	0.00	0.00	0.00	0.60	47.30	0.70	118.80	520.70
2011	68.80	151.30	109.90	16.00	10.50	0.00	5.60	1.40	31.70	33.40	22.50	118.50	569.60
2012	143.20	130.00	140.40	40.00	0.20	0.00	0.30	1.60	11.50	21.40	26.20	136.90	651.70
2013	148.20	216.60	31.40	13.40	19.20	7.40	12.10	12.10	2.50	89.60	44.40	155.70	752.60
2014	139.70	174.70	63.70	32.50	15.70	0.80	14.10	12.50	61.70	45.60	8.40	116.70	686.10
2015	128.80	102.00	45.00	57.80	5.10	2.00	2.40	18.80	31.30	40.60	64.00	119.40	617.20

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	138.11	112.43	98.33	35.40	9.14	4.84	4.00	9.46	23.74	51.16	53.34	114.87	654.81
DESV. STD	43.80	44.05	44.49	27.00	8.02	10.35	5.79	15.47	19.38	31.86	32.58	41.42	113.05
Min.	224.30	216.60	183.40	102.30	24.60	51.10	23.50	72.10	83.10	140.10	162.00	212.20	955.70
MAX	68.80	31.10	31.40	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	7.60	0.70	16.60	433.80
MEDIANA	133.30	112.50	96.60	32.50	8.70	1.50	1.10	3.50	19.10	47.30	51.30	116.80	651.70



Anexo A-1-7

Precipitación total mensual. “Estación Huaraya Moho”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	HUARAYA MOHO	LATITUD	15° 23' 17.8" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	115038	LONGITUD	69° 29' 3.4" W	PROVINCIA	MOHO
TIPO	CO	ALTITUD	3890.00 msnm	DISTRITO	MOHO

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	117.50	182.10	184.50	39.40	31.70	51.50	0.00	7.60	32.00	15.80	63.00	124.60	849.70
1992	156.60	100.70	39.70	21.70	0.00	25.20	1.50	101.60	4.60	84.00	38.80	145.70	720.10
1993	310.30	49.10	65.00	83.60	17.70	18.70	1.40	10.40	30.60	53.30	106.40	124.20	870.70
1994	192.50	102.50	124.40	116.10	21.70	2.80	0.00	2.00	7.40	38.30	74.00	157.30	839.00
1995	133.70	142.70	110.90	7.30	10.00	0.00	0.00	1.70	38.20	28.60	76.50	148.90	698.50
1996	266.50	88.10	78.10	40.50	5.10	0.00	7.60	4.30	23.30	18.10	86.20	169.20	787.00
1997	262.00	159.40	185.30	85.00	9.00	0.00	0.20	24.90	78.32	40.30	145.70	108.80	1098.92
1998	110.10	92.70	144.60	38.40	0.00	11.30	0.00	2.30	3.80	39.70	85.00	20.20	548.10
1999	104.80	63.30	255.40	62.30	4.70	0.50	0.40	0.80	47.80	108.20	50.10	32.90	731.20
2000	143.40	94.30	110.60	19.00	9.70	10.60	0.00	39.20	9.50	114.50	24.80	122.70	698.30
2001	424.10	184.90	181.90	40.60	26.50	5.10	20.30	14.50	8.00	75.90	41.20	136.00	1159.00
2002	112.90	260.30	214.00	43.80	18.10	4.40	32.20	13.80	64.60	117.50	136.70	124.00	1142.30
2003	300.00	155.00	126.70	52.30	21.00	10.60	10.10	14.30	47.30	54.70	12.30	219.10	1023.40
2004	244.20	114.30	61.10	28.20	4.80	17.20	10.00	30.50	18.30	21.30	69.50	52.10	671.50
2005	144.00	231.30	33.80	49.90	0.50	0.00	0.00	9.00	30.60	94.70	97.20	131.20	822.20
2006	238.40	93.60	69.20	21.80	2.40	0.00	0.00	1.40	55.00	16.90	63.80	148.90	711.40
2007	140.30	96.40	135.30	118.90	7.10	0.00	5.80	0.00	75.00	38.20	100.70	89.80	807.50
2008	219.30	135.60	118.00	7.00	20.20	0.00	0.00	0.00	5.30	85.00	10.50	209.50	810.40
2009	85.20	87.80	47.80	15.50	2.20	0.00	5.80	0.00	12.50	48.00	124.40	158.60	587.80
2010	218.60	182.70	78.40	31.80	35.20	0.90	0.00	4.70	1.90	42.50	0.50	240.40	837.60
2011	56.70	140.60	107.80	8.60	9.90	0.00	5.60	2.30	48.60	45.90	55.60	186.60	668.20
2012	186.80	282.50	145.00	134.90	0.30	2.20	0.00	3.30	13.20	64.20	43.60	253.00	1129.00
2013	190.40	184.00	67.20	11.00	25.30	16.30	8.30	11.80	0.00	115.20	36.60	186.30	852.40
2014	120.40	95.30	60.60	38.10	24.00	1.00	21.70	39.70	94.70	40.10	17.90	83.02	636.52
2015	212.50	158.30	50.40	157.00	11.10	1.50	9.50	10.40	38.70	65.70	108.90	117.50	941.50

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	187.65	139.10	111.83	50.91	12.73	7.19	5.62	14.02	31.57	58.66	66.80	139.62	825.69
DESV. STD	83.97	59.57	58.60	42.00	10.61	11.76	8.30	21.64	26.80	32.42	40.16	58.41	173.18
Min.	424.10	282.50	255.40	157.00	35.20	51.50	32.20	101.60	94.70	117.50	145.70	253.00	1159.00
MAX	56.70	49.10	33.80	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.80	0.50	20.20	548.10
MEDIANA	186.80	135.60	110.60	39.40	9.90	1.50	1.40	7.60	30.60	48.00	63.80	136.00	810.40



Anexo A-1-8

Precipitación total mensual. "Estación Muñani"

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	MUÑANI	LATITUD	14° 46' 1" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	114042	LONGITUD	69° 57' 6.5" W	PROVINCIA	AZANGARO
TIPO	CO	ALTITUD	3948.00 msnm	DISTRITO	MUÑANI

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	129.20	83.60	139.20	71.60	9.60	32.00	0.00	0.00	13.00	32.20	83.30	116.30	710.00
1992	188.30	91.40	45.80	19.20	0.00	4.30	0.00	37.70	10.80	33.00	41.40	111.70	583.60
1993	157.00	56.30	83.70	32.20	11.40	0.00	12.30	19.40	24.80	54.90	75.90	104.30	632.20
1994	104.00	94.30	91.80	71.00	23.20	3.10	0.00	0.00	7.10	22.70	64.50	110.20	591.90
1995	154.50	181.80	110.10	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.80	28.30	96.20	587.60
1996	153.90	70.10	68.80	34.90	18.70	0.00	0.00	8.50	8.10	29.90	104.20	61.40	558.50
1997	181.60	109.20	217.40	38.30	3.20	0.00	0.00	22.30	29.40	36.10	80.10	32.50	750.10
1998	62.50	96.40	106.40	39.20	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	54.10	64.40	41.90	467.90
1999	84.20	40.30	131.60	37.10	29.30	0.00	0.00	0.00	35.70	34.50	35.90	92.90	521.50
2000	119.80	98.10	81.40	9.10	0.00	19.40	0.00	10.60	20.20	126.80	20.50	108.60	614.50
2001	173.00	109.20	163.20	19.50	26.30	1.60	10.30	7.50	21.40	61.30	57.00	87.00	737.30
2002	90.30	115.90	104.50	42.50	5.70	4.40	16.50	4.90	27.90	90.00	58.00	125.70	686.30
2003	225.10	102.30	108.20	43.40	4.60	9.10	0.00	13.00	30.50	73.20	68.00	117.40	794.80
2004	282.60	129.10	120.40	66.70	25.20	1.80	0.80	20.60	28.10	39.40	65.40	133.50	913.60
2005	98.60	224.20	84.60	27.90	2.30	0.00	1.20	1.00	8.40	80.10	68.20	124.80	721.30
2006	203.90	61.90	57.00	87.20	0.00	0.00	0.00	6.60	28.10	62.00	82.80	124.90	714.40
2007	104.00	15.60	119.10	57.80	21.40	0.00	0.00	0.00	24.40	12.60	50.80	55.40	461.10
2008	132.80	65.40	42.70	10.00	1.90	0.00	0.00	0.00	8.90	67.70	31.40	154.50	515.30
2009	77.70	100.10	39.10	27.10	0.00	0.00	4.40	0.00	23.80	18.50	69.00	85.50	445.20
2010	171.90	138.50	69.50	25.00	10.20	0.00	0.00	3.70	0.00	61.10	17.10	86.00	583.00
2011	116.10	150.70	78.10	26.20	2.00	0.00	7.20	16.20	70.30	70.10	20.30	128.10	685.30
2012	153.60	93.10	83.70	65.40	0.00	1.80	0.20	0.00	6.50	18.00	35.00	155.80	613.10
2013	159.70	94.50	69.90	17.70	13.90	2.80	1.00	7.60	7.70	60.20	45.00	91.20	571.20
2014	118.30	82.90	76.20	32.70	8.00	0.00	5.50	10.20	68.80	27.60	38.80	81.20	550.20
2015	145.60	71.00	83.70	71.50	13.80	0.00	0.00	21.80	56.80	30.90	64.90	134.70	694.70

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	143.53	99.04	95.04	39.08	9.23	3.33	2.38	8.46	22.43	48.39	54.81	102.47	628.18
DESV. STD	50.09	43.38	39.68	22.58	9.69	7.30	4.53	9.83	19.42	27.46	22.76	31.84	112.30
Min.	282.60	224.20	217.40	87.20	29.30	32.00	16.50	37.70	70.30	126.80	104.20	155.80	913.60
MAX	62.50	15.60	39.10	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	17.10	32.50	445.20
MEDIANA	145.60	94.50	83.70	34.90	5.70	0.00	0.00	6.60	21.40	39.40	58.00	108.60	613.10



Anexo A-1-9

Precipitación total mensual. “Estación Progreso”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	PROGRESO	LATITUD	14° 41' 24.4" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	114040	LONGITUD	70° 1' 24.7" W	PROVINCIA	AZANGARO
TIPO	CO	ALTITUD	3980.00 msnm	DISTRITO	ASILLO

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	154.30	73.70	105.10	40.90	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	28.22	25.90	131.72	565.84
1992	163.20	91.20	49.10	21.10	0.00	3.20	0.00	37.20	18.00	29.40	79.80	78.60	570.80
1993	191.50	79.10	103.60	52.30	9.70	3.70	10.20	21.90	5.90	65.00	86.60	97.70	727.20
1994	120.10	110.70	102.00	59.20	4.80	0.50	0.00	3.20	15.10	51.80	74.80	116.60	658.80
1995	69.50	79.10	101.70	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00	10.70	16.80	65.70	98.20	456.50
1996	141.50	62.80	94.60	21.40	10.80	0.00	1.40	3.00	4.60	44.80	50.90	125.40	561.20
1997	189.80	135.80	196.90	48.00	12.60	0.00	0.00	13.60	17.00	49.00	106.50	60.20	829.40
1998	100.20	72.20	52.80	17.50	0.00	7.70	0.00	1.20	2.20	103.70	88.70	32.60	478.80
1999	107.60	125.60	136.60	37.80	0.50	0.00	0.00	0.00	16.60	35.80	54.30	65.70	580.50
2000	126.90	114.10	105.10	9.60	1.40	1.20	1.60	2.40	17.00	108.00	17.60	99.60	604.50
2001	151.80	111.00	132.40	30.60	21.40	3.30	5.50	0.00	14.20	49.60	62.70	57.40	639.90
2002	117.00	107.00	89.60	149.20	8.80	1.80	25.40	4.40	25.60	131.60	86.00	134.60	881.00
2003	181.60	114.90	134.80	60.20	7.00	7.60	0.50	7.00	15.40	14.80	16.10	80.60	640.50
2004	240.40	160.20	61.80	50.60	7.40	0.00	4.80	22.80	40.60	13.00	53.80	118.80	774.20
2005	52.50	200.80	54.70	35.40	0.50	0.00	1.20	2.80	3.80	75.90	62.20	86.40	576.20
2006	146.40	46.90	64.60	50.50	0.00	2.10	0.00	3.90	37.00	42.90	63.60	79.50	537.40
2007	130.20	58.10	152.60	60.50	14.40	0.60	0.50	0.00	25.80	19.40	75.40	51.00	588.50
2008	130.30	73.00	52.40	4.60	6.20	0.00	0.00	0.00	7.60	49.60	26.50	155.60	505.80
2009	112.10	90.90	59.70	15.30	5.20	0.00	4.60	0.80	9.20	19.20	111.80	104.60	533.40
2010	153.80	118.80	71.60	40.80	8.60	0.00	0.00	2.60	0.00	24.80	8.60	121.20	550.80
2011	93.20	162.20	130.80	51.20	2.10	0.00	6.20	11.00	61.20	59.20	37.60	108.40	723.10
2012	137.60	159.40	109.20	25.20	9.60	0.00	0.00	0.00	14.60	9.60	29.00	172.00	666.20
2013	135.60	180.80	123.20	43.60	8.00	2.40	2.90	4.20	8.20	81.40	33.60	123.70	747.60
2014	116.20	136.40	102.30	19.20	1.20	0.00	0.00	13.60	56.60	51.60	26.20	134.50	657.80
2015	180.40	91.00	73.90	51.60	12.40	6.60	0.00	9.20	31.40	46.02	65.30	153.80	721.62

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	137.75	110.23	98.44	40.44	6.10	1.63	2.59	6.59	18.57	48.85	56.37	103.54	631.10
DESV. STD	40.66	40.15	36.77	28.30	5.65	2.45	5.44	9.16	16.00	31.56	28.70	35.12	107.94
Min.	240.40	200.80	196.90	149.20	21.40	7.70	25.40	37.20	61.20	131.60	111.80	172.00	881.00
MAX	52.50	46.90	49.10	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.60	8.60	32.60	456.50
MEDIANA	135.60	110.70	102.00	40.80	6.20	0.00	0.00	3.00	15.10	46.02	62.20	104.60	604.50



Anexo A-1-10

Precipitación total mensual completada. “Estación Putina”

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL - COMPLETADA

ESTACION	PUTINA	LATITUD	14° 54' 53.6" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	114096	LONGITUD	69° 52' 4.9" W	PROVINCIA	SAN ANTONIO DE PUTINA
TIPO	CO	ALTITUD	3878.00 msnm	DISTRITO	PUTINA

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	164.80	106.10	134.90	51.00	5.70	45.00	9.80	0.80	14.90	24.81	64.71	108.70	731.22
1992	153.61	54.30	49.72	25.20	0.00	1.21	4.00	72.52	20.51	44.52	66.31	123.70	615.60
1993	174.40	67.10	75.31	99.81	11.40	0.00	2.10	17.00	24.21	67.30	114.20	124.20	777.03
1994	170.80	112.60	113.70	72.40	17.80	5.20	0.00	0.00	18.62	37.40	44.61	106.90	700.03
1995	105.22	153.30	135.30	10.50	0.50	0.00	3.41	0.01	5.22	15.54	67.63	89.40	586.03
1996	118.64	66.83	113.51	37.31	29.62	0.00	0.90	6.92	20.81	19.90	131.60	95.70	641.74
1997	215.20	90.50	201.90	96.80	4.21	0.00	1.10	21.41	22.90	42.42	112.81	59.92	869.17
1998	125.60	105.72	92.80	32.91	0.00	12.00	0.00	1.62	0.51	66.91	89.41	24.61	552.09
1999	104.11	68.90	162.31	25.65	19.80	0.02	0.70	0.00	45.10	53.83	36.42	68.93	585.77
2000	158.04	131.42	93.71	15.12	1.70	27.40	0.01	11.00	12.20	112.31	25.02	105.23	693.16
2001	206.30	134.20	215.11	46.53	34.85	3.00	3.10	9.80	25.81	70.62	47.11	91.40	887.83
2002	125.50	130.50	110.60	53.30	14.60	1.00	16.70	5.80	21.80	128.40	51.60	100.60	760.40
2003	161.10	126.40	131.30	67.00	1.40	7.20	2.00	14.90	23.01	78.10	20.12	95.60	728.13
2004	215.00	123.30	79.91	47.91	6.10	0.00	1.20	18.31	21.60	17.00	62.40	67.91	660.64
2005	63.51	148.90	41.71	26.40	2.90	0.00	1.00	4.30	14.70	39.00	53.70	75.50	471.62
2006	165.20	34.60	45.40	38.40	1.40	1.10	0.00	4.50	22.70	45.30	68.81	82.50	509.91
2007	96.40	50.60	164.40	74.40	19.20	2.10	0.00	0.00	46.31	21.80	57.10	54.11	586.42
2008	119.70	79.41	69.71	3.20	6.00	0.00	0.00	0.00	15.50	58.70	77.10	140.00	569.32
2009	103.41	83.11	63.50	8.61	8.00	0.00	2.40	0.00	13.61	27.80	86.60	89.90	486.94
2010	178.20	116.52	105.10	29.30	12.10	0.00	0.60	2.30	0.00	43.70	20.91	101.41	610.14
2011	65.20	165.70	56.23	54.00	0.40	0.00	4.10	10.20	53.30	56.60	26.40	120.00	612.13
2012	97.60	128.00	82.40	41.40	14.40	0.00	0.00	4.70	8.70	19.50	34.30	152.90	583.90
2013	167.70	207.70	98.00	20.00	40.90	2.90	5.90	9.10	1.82	91.20	41.00	127.50	813.72
2014	149.50	105.00	89.10	55.40	7.30	0.00	3.60	12.14	58.00	43.40	36.20	128.80	688.44
2015	150.40	89.50	60.40	68.30	13.50	2.40	8.30	18.30	33.60	60.30	77.10	133.70	715.80

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	142.21	107.21	103.44	44.03	10.95	4.42	2.84	9.83	21.82	51.45	60.53	98.76	657.49
DESV. STD	42.12	39.97	46.32	25.83	11.14	10.29	3.89	14.70	15.40	29.03	29.82	29.86	111.12
Min.	215.20	207.70	215.11	99.81	40.90	45.00	16.70	72.52	58.00	128.40	131.60	152.90	887.83
MAX	63.51	34.60	41.71	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.54	20.12	24.61	471.62
MEDIANA	150.40	106.10	93.71	41.40	7.30	0.02	1.20	5.80	20.81	44.52	57.10	100.60	641.74



Anexo A-1-11

Precipitación total mensual. "Estación Taraco"

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

ESTACION	TARACO	LATITUD	15° 18' 42" S	DEPARTAMENTO	PUNO
CODIGO	115047	LONGITUD	69° 58' 20.9" W	PROVINCIA	HUANCANE
TIPO	CO	ALTITUD	3849.00 msnm	DISTRITO	TARACO

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1991	168.70	102.60	126.90	26.20	23.50	55.00	3.50	0.00	10.50	28.90	32.80	63.70	642.30
1992	137.70	116.40	26.60	9.30	0.00	0.00	6.20	58.10	3.80	59.70	45.50	79.00	542.30
1993	149.50	50.70	98.90	46.20	15.40	4.60	0.00	6.60	23.80	22.00	75.20	123.80	616.70
1994	140.60	196.40	76.60	56.30	11.20	0.00	0.00	0.00	2.40	12.60	25.70	98.40	620.20
1995	135.70	179.80	129.10	22.00	3.20	0.00	0.00	0.00	12.60	23.20	40.40	107.10	653.10
1996	74.20	51.00	79.10	19.60	3.80	0.00	0.00	12.80	16.80	21.20	55.40	98.20	432.10
1997	190.20	146.40	109.00	27.80	0.00	0.00	0.00	17.80	44.10	22.00	61.60	92.00	710.90
1998	123.60	98.60	58.40	64.60	0.00	6.40	0.00	0.00	0.00	54.60	106.70	23.50	536.40
1999	99.60	96.00	115.80	67.20	5.80	0.00	0.00	0.00	39.40	56.20	26.00	38.60	544.60
2000	135.00	73.40	74.00	2.40	8.00	19.30	0.00	5.00	5.60	81.20	1.80	54.00	459.70
2001	111.80	109.80	144.00	11.80	9.60	2.80	0.00	2.20	6.60	37.00	31.00	79.60	546.20
2002	93.60	126.20	63.80	33.40	6.40	0.00	12.00	0.00	39.00	109.20	34.50	53.60	571.70
2003	197.00	100.20	102.40	14.40	10.00	4.80	0.00	4.00	25.00	21.80	32.20	78.20	590.00
2004	157.20	127.00	107.00	37.60	9.40	5.20	4.60	19.80	20.20	8.80	49.60	47.20	593.60
2005	78.40	110.60	105.40	26.60	0.00	0.00	0.00	1.00	21.20	75.00	71.20	108.20	597.60
2006	187.60	47.80	66.20	16.60	1.40	2.00	0.00	1.40	26.60	58.60	44.60	125.60	578.40
2007	91.20	46.20	123.50	77.40	6.20	1.20	0.60	1.80	36.80	18.80	64.40	68.80	536.90
2008	154.00	60.00	67.80	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	3.80	37.40	34.00	98.40	456.80
2009	67.00	150.00	50.40	6.40	0.00	0.00	3.00	0.00	20.20	31.40	60.20	72.00	460.60
2010	103.00	145.40	63.80	39.60	18.40	0.00	0.00	0.00	3.60	24.00	7.40	121.80	527.00
2011	53.60	156.40	69.60	1.20	8.40	1.20	8.40	4.40	35.40	57.20	37.40	133.20	566.40
2012	120.60	105.20	76.00	50.20	0.00	0.00	0.00	1.80	5.00	48.00	33.60	131.80	572.20
2013	136.40	143.20	71.40	21.40	9.80	3.20	14.00	13.60	3.80	46.20	31.00	169.80	663.80
2014	116.60	96.00	56.00	25.20	2.80	0.00	18.40	28.60	72.80	16.80	27.20	121.40	581.80
2015	125.00	88.20	70.60	74.00	4.20	1.80	5.20	5.60	44.00	53.20	88.50	67.60	627.90

Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	125.91	108.94	85.29	31.10	6.36	4.30	3.04	7.38	20.92	41.00	44.72	90.22	569.17
DESV. STD	38.30	40.97	29.03	23.08	6.20	11.32	5.11	12.97	18.03	24.38	23.96	34.81	68.55
Min.	197.00	196.40	144.00	77.40	23.50	55.00	18.40	58.10	72.80	109.20	106.70	169.80	710.90
MAX	53.60	46.20	26.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80	1.80	23.50	432.10
MEDIANA	125.00	105.20	76.00	26.20	5.80	0.00	0.00	1.80	20.20	37.00	37.40	92.00	572.20



Anexo A-2-1

Temperatura media mensual completada. "Estación Ananea"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL COMPLETADA													
ESTACION	ANANEA				LATITUD	14° 40' 43.4" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	114050				LONGITUD	69° 32' 4.3" W			PROVINCIA	SAN ANTONIO DE PUTINA			
TIPO	CO				ALTITUD	4660.00 msnm			DISTRITO	ANANEA			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	4.41	4.44	4.43	4.13	3.75	3.19	3.09	3.47	3.81	4.27	4.37	4.38	3.98
1992	4.18	4.47	4.47	4.30	3.93	3.47	3.09	3.07	3.66	4.01	4.07	4.12	3.90
1993	4.27	4.02	4.32	4.30	3.66	3.03	3.15	3.18	3.73	4.15	4.23	4.32	3.86
1994	4.15	4.21	4.04	4.09	3.72	2.93	3.18	3.45	3.91	4.18	4.41	4.38	3.89
1995	4.32	4.30	4.18	4.16	3.70	3.16	3.34	3.87	4.13	4.42	4.36	4.12	4.00
1996	4.18	4.18	4.21	4.13	3.84	3.16	3.07	3.56	3.94	4.49	4.16	4.27	3.93
1997	4.06	4.08	4.05	3.72	3.49	3.11	3.28	3.65	4.13	4.43	4.59	4.87	3.95
1998	4.94	4.95	4.85	4.68	3.84	3.58	3.51	4.00	4.36	4.41	4.53	4.52	4.35
1999	4.43	4.34	4.24	4.06	3.66	3.20	3.14	3.61	3.90	4.03	4.38	4.31	3.94
2000	4.11	3.97	3.96	3.95	3.77	3.08	3.02	3.64	4.07	3.80	4.51	3.99	3.82
2001	3.83	3.95	3.99	3.84	3.43	3.01	2.92	3.13	4.00	4.02	4.26	4.33	3.73
2002	4.33	4.28	4.27	4.09	3.83	3.58	2.98	2.92	3.63	4.42	4.57	5.38	4.02
2003	5.20	5.19	4.75	5.04	4.36	3.54	3.18	3.06	3.63	4.76	4.84	5.39	4.41
2004	4.53	4.99	5.45	5.25	4.46	2.75	2.33	2.96	2.90	4.54	4.96	4.61	4.14
2005	5.20	5.08	5.39	5.45	5.02	3.28	3.55	3.56	3.78	4.71	5.05	4.73	4.57
2006	4.74	5.27	5.14	4.43	3.88	3.52	2.90	3.15	3.36	2.76	3.48	2.97	3.80
2007	3.24	3.26	2.51	3.31	3.15	3.24	3.19	3.90	2.65	4.14	4.50	4.11	3.43
2008	3.85	3.73	4.03	4.15	3.34	3.16	3.13	3.94	3.36	4.05	4.07	3.87	3.72
2009	3.90	4.23	3.92	4.05	4.33	3.13	3.38	3.36	4.12	4.43	4.13	4.51	3.96
2010	4.37	4.94	4.68	4.63	4.66	4.45	3.84	3.63	4.16	4.80	4.52	4.55	4.44
2011	4.39	4.09	3.92	4.35	4.54	3.80	3.34	3.84	3.38	4.28	4.88	4.57	4.11
2012	4.21	3.87	3.78	4.17	4.22	3.60	3.36	3.53	3.30	4.55	4.75	4.22	3.96
2013	4.17	4.47	5.06	4.63	4.50	3.23	2.88	2.98	4.09	4.70	5.11	4.58	4.20
2014	4.72	4.64	4.80	4.69	4.27	4.56	3.24	3.53	3.88	4.54	5.63	4.60	4.43
2015	4.50	5.09	4.68	3.96	3.92	4.89	2.97	3.89	4.91	4.79	5.51	5.04	4.51
Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	4.33	4.40	4.37	4.30	3.97	3.43	3.16	3.48	3.79	4.31	4.55	4.43	4.04
DESV. STD	0.43	0.51	0.61	0.47	0.45	0.52	0.28	0.34	0.47	0.42	0.47	0.49	0.28
MAX.	5.20	5.27	5.45	5.45	5.02	4.89	3.84	4.00	4.91	4.80	5.63	5.39	4.57
MIN.	3.24	3.26	2.51	3.31	3.15	2.75	2.33	2.92	2.65	2.76	3.48	2.97	3.43
MEDIANA	4.32	4.30	4.27	4.16	3.84	3.23	3.15	3.53	3.88	4.42	4.51	4.38	3.96



Anexo A-2-2

Temperatura media mensual. "Estación Arapa"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL													
ESTACION	ARAPA				LATITUD	15° 8' 10.5" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	115035				LONGITUD	70° 7' 5.6" W			PROVINCIA	AZANGARO			
TIPO	CO				ALTITUD	3830.00 msnm			DISTRITO	ARAPA			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	9.87	10.04	9.80	9.41	7.59	5.74	6.50	7.01	8.44	9.70	9.93	9.63	8.64
1992	9.48	9.76	10.08	9.74	8.48	7.22	6.75	6.62	8.56	8.95	9.55	10.42	8.80
1993	9.33	9.53	9.25	9.68	8.00	6.62	7.39	7.25	8.96	10.04	10.64	10.66	8.95
1994	9.20	9.87	9.56	9.67	8.09	6.25	6.66	7.34	9.01	9.83	11.01	10.88	8.95
1995	10.64	10.30	9.91	9.64	8.21	6.58	7.18	8.39	9.98	10.95	10.81	9.75	9.36
1996	10.64	10.15	10.71	10.09	8.86	6.94	6.14	8.12	9.42	10.58	10.32	10.83	9.40
1997	9.48	9.39	9.19	8.09	7.98	6.22	7.60	8.23	10.04	10.50	11.08	12.47	9.19
1998	12.09	12.97	12.11	10.57	7.57	6.95	6.53	7.85	9.08	10.68	10.09	11.01	9.79
1999	10.80	10.24	10.00	9.39	7.40	4.25	3.31	3.68	5.17	9.75	9.00	10.93	7.83
2000	10.42	9.93	9.89	9.14	8.11	5.87	5.55	7.78	8.69	9.26	10.48	9.80	8.74
2001	9.62	9.94	9.98	9.15	7.78	6.50	5.92	6.72	9.17	10.26	10.74	10.35	8.84
2002	10.48	10.26	10.33	9.80	8.57	7.24	6.10	7.76	9.27	10.16	10.70	10.90	9.30
2003	10.55	10.79	9.86	9.58	7.77	5.35	6.42	7.11	8.50	9.75	10.67	11.44	8.98
2004	10.14	10.23	10.53	9.98	6.97	5.99	6.21	7.68	9.14	10.63	11.23	11.63	9.20
2005	10.84	10.48	10.85	10.24	7.74	5.47	6.70	6.34	8.95	10.30	10.73	10.82	9.12
2006	9.80	10.65	10.99	9.19	6.79	6.25	4.96	8.54	8.56	10.35	10.76	11.14	9.00
2007	11.40	11.36	10.10	9.71	8.69	7.15	6.58	8.04	9.66	10.68	10.17	10.45	9.50
2008	9.71	9.97	9.08	8.62	6.33	6.63	5.55	6.49	8.73	10.31	11.36	10.48	8.61
2009	10.50	10.62	9.86	8.96	7.84	5.25	6.70	6.83	9.70	10.78	11.74	11.56	9.20
2010	11.18	11.59	11.25	10.50	8.60	8.02	6.64	7.93	9.84	11.04	11.05	11.26	9.91
2011	10.89	10.06	9.96	9.44	8.08	6.87	6.66	7.98	9.40	9.97	11.28	10.53	9.26
2012	9.99	9.48	9.94	9.74	7.26	7.00	6.67	7.05	9.58	11.24	11.72	11.30	9.25
2013	10.44	10.42	10.70	8.89	8.48	6.87	7.03	6.98	8.65	10.25	11.30	10.45	9.20
2014	9.92	10.45	10.76	10.54	7.95	7.65	7.05	7.70	9.85	10.26	11.06	11.27	9.54
2015	9.88	10.36	10.43	9.96	8.21	7.31	6.60	8.79	10.13	10.36	11.78	11.25	9.59
N° DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	10.29	10.35	10.21	9.59	7.89	6.49	6.38	7.37	9.06	10.26	10.77	10.85	9.13
DESV. STD	0.70	0.75	0.68	0.60	0.61	0.85	0.87	1.02	0.96	0.54	0.67	0.64	0.43
MAX.	12.09	12.97	12.11	10.57	8.86	8.02	7.60	8.79	10.13	11.24	11.78	12.47	9.91
MIN.	9.20	9.39	9.08	8.09	6.33	4.25	3.31	3.68	5.17	8.95	9.00	9.63	7.83
MEDIANA	10.42	10.24	10.00	9.67	7.98	6.62	6.60	7.68	9.14	10.30	10.76	10.88	9.20



Anexo A-2-3

Temperatura media mensual completada. “Estación Azángaro”

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL COMPLETADA													
ESTACION	AZANGARO				LATITUD	14° 54' 51.7" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	114041				LONGITUD	70° 11' 26.7" W			PROVINCIA	AZANGARO			
TIPO	CO				ALTITUD	3863.00 msnm			DISTRITO	AZANGARO			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	10.28	10.24	10.29	9.11	7.28	5.93	5.75	6.90	8.43	9.49	9.85	9.90	8.62
1992	9.56	10.03	10.58	9.02	7.06	6.02	6.37	5.70	8.47	9.41	9.71	9.89	8.48
1993	9.32	9.61	9.58	9.47	7.83	5.14	6.09	6.13	8.80	9.92	10.22	10.98	8.59
1994	10.40	10.35	9.65	9.48	7.41	4.74	5.20	6.21	8.82	9.75	10.95	10.78	8.64
1995	10.79	10.32	10.12	9.40	7.30	5.39	5.98	7.30	9.08	10.41	10.80	10.02	8.91
1996	10.55	10.33	10.43	9.72	8.00	5.23	4.92	7.43	8.48	10.42	10.07	10.65	8.85
1997	10.21	9.90	9.73	8.52	7.20	5.11	5.98	7.47	9.37	10.97	10.86	12.18	8.96
1998	12.25	12.65	12.06	11.07	7.57	7.09	6.38	8.24	9.10	10.44	10.56	10.99	9.87
1999	11.02	10.33	10.33	9.69	7.79	5.66	5.86	7.32	8.90	9.71	10.21	11.17	9.00
2000	10.40	10.04	9.96	9.32	8.20	6.19	5.63	8.14	9.37	9.78	11.07	9.87	9.00
2001	9.62	10.20	9.87	9.22	7.60	5.99	5.69	5.96	9.33	10.13	11.22	10.54	8.78
2002	10.03	10.56	10.46	9.57	8.00	6.55	5.22	7.07	9.08	9.75	10.61	10.87	8.98
2003	10.46	10.89	10.28	9.48	7.49	4.67	5.25	6.46	8.46	9.82	10.65	11.37	8.77
2004	10.24	10.58	10.40	9.51	6.33	4.93	5.05	6.99	9.39	11.24	11.88	11.61	9.01
2005	11.38	11.13	10.88	10.07	7.36	5.19	6.31	6.71	9.18	10.78	11.06	11.37	9.28
2006	10.17	11.23	10.87	9.65	6.48	6.30	5.09	8.15	9.14	10.76	11.32	11.52	9.22
2007	11.49	11.33	10.55	10.31	8.47	6.69	6.24	7.92	9.78	10.46	10.32	10.74	9.52
2008	10.43	10.39	9.49	9.02	6.09	5.79	4.98	7.30	9.06	10.96	11.77	10.61	8.82
2009	10.69	10.50	10.32	9.22	7.84	4.93	5.87	6.34	9.81	11.43	12.27	11.62	9.24
2010	11.34	11.74	11.19	10.23	8.71	7.68	6.19	7.60	9.75	11.07	11.54	11.15	9.85
2011	11.04	10.25	10.20	9.39	7.35	6.16	6.27	7.84	9.40	10.18	11.51	10.46	9.17
2012	10.12	9.40	9.52	8.97	6.67	5.77	5.65	6.38	8.46	10.56	10.92	10.30	8.56
2013	10.54	10.62	10.71	8.98	8.72	6.34	6.54	6.85	8.31	10.62	10.86	10.53	9.14
2014	10.10	10.27	10.34	9.76	7.40	6.61	6.49	7.77	9.84	9.90	10.70	10.81	9.17
2015	9.71	9.95	9.86	9.11	7.73	6.63	5.97	7.37	10.13	9.91	11.49	10.44	9.02
Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	10.49	10.51	10.31	9.49	7.52	5.87	5.80	7.10	9.12	10.32	10.90	10.81	9.02
DESV. STD	0.67	0.69	0.58	0.53	0.67	0.77	0.51	0.72	0.51	0.57	0.64	0.60	0.36
MAX.	12.25	12.65	12.06	11.07	8.72	7.68	6.54	8.24	10.13	11.43	12.27	12.18	9.87
MIN.	9.32	9.40	9.49	8.52	6.09	4.67	4.92	5.70	8.31	9.41	9.71	9.87	8.48
MEDIANA	10.40	10.33	10.32	9.47	7.49	5.93	5.87	7.30	9.10	10.41	10.86	10.78	9.00



Anexo A-2-4

Temperatura media mensual completada. "Estación Cojata"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL COMPLETADA													
ESTACION	COJATA				LATITUD	15° 1' 0" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	115053				LONGITUD	69° 21' 20" W			PROVINCIA	HUANCANE			
TIPO	CO				ALTITUD	4344.00 msnm			DISTRITO	COJATA			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	6.22	6.17	6.22	5.05	3.23	1.88	1.70	2.85	4.38	5.43	5.79	5.83	4.56
1992	5.50	5.97	5.75	5.31	3.56	3.06	1.95	2.48	4.41	5.35	5.64	5.82	4.57
1993	5.33	5.59	5.34	5.40	3.61	1.67	2.55	2.45	4.77	5.78	6.38	6.43	4.61
1994	5.81	5.83	5.17	5.41	3.37	1.51	1.86	2.25	4.56	5.50	6.38	6.40	4.50
1995	6.42	6.02	5.81	5.09	3.04	1.73	2.30	3.13	4.81	6.06	6.04	5.99	4.70
1996	6.16	6.07	5.91	5.32	3.93	2.13	1.76	3.61	4.69	5.92	6.10	6.06	4.80
1997	5.70	5.41	5.21	4.18	3.13	1.79	2.27	3.60	4.80	6.17	6.62	7.77	4.72
1998	7.75	7.95	7.39	6.56	3.62	3.25	2.53	3.87	4.86	6.15	6.17	5.00	5.42
1999	4.93	5.82	5.62	4.88	3.60	2.15	2.58	3.03	4.54	5.44	5.87	6.83	4.61
2000	6.29	6.03	5.64	5.02	3.90	2.46	0.38	2.83	4.01	4.46	5.23	5.45	4.31
2001	5.48	5.78	8.00	6.16	5.16	2.98	1.77	2.31	4.40	5.71	5.83	6.25	4.99
2002	6.94	7.26	6.88	6.09	4.49	2.92	1.96	2.37	3.98	5.80	6.52	7.58	5.23
2003	7.08	6.88	6.37	5.26	3.42	0.75	0.90	1.60	3.60	4.04	6.22	6.39	4.38
2004	6.51	6.44	5.75	5.95	2.93	1.37	-0.17	2.00	4.07	5.67	6.47	6.91	4.49
2005	7.12	7.51	7.36	4.83	1.08	-0.35	0.47	0.24	3.08	6.14	7.01	6.28	4.23
2006	6.75	7.06	6.23	4.75	2.17	0.71	-0.94	1.88	2.67	5.19	6.47	6.88	4.15
2007	7.23	6.68	5.99	5.77	4.90	2.36	2.42	1.55	4.21	4.74	6.01	5.91	4.81
2008	6.09	5.80	5.32	4.32	2.15	0.93	-0.02	1.17	2.56	5.10	6.02	6.55	3.83
2009	6.33	6.31	5.98	4.30	2.60	-0.15	0.83	0.16	3.46	5.11	6.33	6.77	4.00
2010	7.15	7.41	6.61	5.72	4.06	2.71	1.25	1.39	3.29	5.27	5.85	6.45	4.76
2011	6.36	6.29	6.30	5.27	3.70	1.80	1.44	1.83	4.03	5.49	6.01	6.14	4.56
2012	6.45	6.12	5.67	5.46	4.22	2.50	0.63	0.67	1.36	4.54	6.10	6.58	4.19
2013	6.40	7.04	6.86	5.90	4.34	2.34	0.98	1.13	1.97	4.70	5.99	5.95	4.47
2014	6.13	6.46	6.56	6.09	4.68	2.86	1.44	2.21	4.98	5.07	5.50	6.09	4.84
2015	5.96	6.85	6.28	6.11	5.15	3.19	2.47	2.71	4.88	4.71	6.92	6.73	5.16
Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	6.32	6.43	6.17	5.37	3.60	1.94	1.41	2.13	3.93	5.34	6.14	6.36	4.60
DESV. STD	0.66	0.66	0.72	0.63	0.97	0.98	0.96	0.99	0.97	0.58	0.41	0.60	0.37
MAX.	7.75	7.95	8.00	6.56	5.16	3.25	2.58	3.87	4.98	6.17	7.01	7.77	5.42
MIN.	4.93	5.41	5.17	4.18	1.08	-0.35	-0.94	0.16	1.36	4.04	5.23	5.00	3.83
MEDIANA	6.33	6.29	5.99	5.32	3.61	2.13	1.70	2.25	4.21	5.43	6.10	6.39	4.57



Anexo A-2-5

Temperatura media mensual completada. "Estación Crucero"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL COMPLETADA													
ESTACION	CRUCERO				LATITUD	14° 21' 51.1" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	114058				LONGITUD	70° 1' 33.3" W			PROVINCIA	CARABAYA			
TIPO	CO				ALTITUD	4183.00 msnm			DISTRITO	CRUCERO			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	7.68	7.64	7.69	6.44	4.48	3.05	2.85	4.08	5.71	6.84	7.22	7.27	5.91
1992	6.92	7.42	7.18	6.71	4.84	4.31	3.12	3.69	5.75	6.75	7.07	7.26	5.92
1993	6.74	7.01	6.74	6.81	4.90	2.82	3.76	3.65	6.14	7.22	7.86	7.91	5.96
1994	7.24	7.27	6.56	6.82	4.63	2.65	3.01	3.44	5.91	6.92	7.86	7.88	5.85
1995	7.90	7.47	7.25	6.48	4.29	2.88	3.49	4.38	6.18	7.52	7.49	7.44	6.06
1996	7.62	7.53	7.36	6.73	5.24	3.30	2.91	4.90	6.05	7.37	7.55	7.51	6.17
1997	7.13	6.82	6.60	5.50	4.38	2.95	3.46	4.88	6.17	7.63	8.12	9.35	6.08
1998	9.32	9.54	8.94	8.05	4.90	4.51	3.74	5.17	6.23	7.61	7.63	7.83	6.95
1999	7.84	7.26	7.04	6.25	4.88	3.34	2.07	3.86	6.39	7.28	8.09	8.01	6.03
2000	8.33	7.56	7.89	6.81	5.27	3.57	2.65	4.56	6.21	6.94	8.37	7.69	6.32
2001	7.94	8.32	8.15	7.00	5.47	3.35	3.73	3.65	6.50	7.69	8.59	8.78	6.60
2002	8.80	8.57	8.74	7.59	5.55	4.45	3.26	4.30	6.62	7.83	8.46	9.22	6.95
2003	8.94	8.98	8.56	7.35	5.48	3.12	2.52	3.69	5.48	6.72	7.13	8.04	6.33
2004	8.03	7.98	7.44	6.89	3.93	2.34	2.14	2.94	5.51	6.91	8.08	7.46	5.80
2005	8.42	8.76	7.87	6.64	4.13	2.03	2.48	2.96	4.97	7.50	7.58	7.42	5.90
2006	8.28	8.65	7.90	6.65	2.91	3.55	1.48	3.98	5.39	7.39	7.89	7.92	6.00
2007	8.80	8.81	7.91	7.26	5.50	2.55	2.96	3.42	4.99	6.32	7.21	7.58	6.11
2008	8.52	8.86	7.06	6.33	3.82	3.15	1.84	3.86	4.20	7.43	7.92	8.19	5.93
2009	8.42	8.40	7.62	6.79	4.93	1.98	2.61	3.13	5.45	7.39	8.61	8.38	6.14
2010	9.19	9.19	8.21	6.92	5.71	3.61	2.34	2.40	4.54	7.01	7.56	8.45	6.26
2011	8.31	8.45	8.03	6.65	4.45	2.33	1.67	3.28	5.52	7.50	7.39	7.80	5.95
2012	8.03	7.92	7.26	7.28	4.46	3.29	2.07	2.11	4.17	7.37	8.27	8.78	5.92
2013	8.18	8.70	8.75	6.34	5.78	3.66	2.57	3.24	4.21	7.80	7.90	8.38	6.29
2014	8.39	8.37	7.67	7.36	5.30	3.30	3.24	3.40	6.11	7.16	7.48	8.39	6.35
2015	8.08	8.20	8.13	7.59	6.18	4.63	2.82	5.01	6.62	6.83	7.77	7.98	6.66
N° DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	8.12	8.15	7.70	6.85	4.86	3.23	2.75	3.76	5.64	7.24	7.80	8.04	6.18
DESV. STD	0.66	0.73	0.66	0.53	0.73	0.73	0.65	0.78	0.76	0.38	0.45	0.57	0.32
MAX.	9.32	9.54	8.94	8.05	6.18	4.63	3.76	5.17	6.62	7.83	8.61	9.35	6.95
MIN.	6.74	6.82	6.56	5.50	2.91	1.98	1.48	2.11	4.17	6.32	7.07	7.26	5.80
MEDIANA	8.18	8.32	7.69	6.81	4.90	3.29	2.82	3.69	5.75	7.37	7.86	7.92	6.08



Anexo A-2-6

Temperatura media mensual. "Estación Huancané"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL													
ESTACION	HUANCANE				LATITUD	15° 12' 5.4" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	115037				LONGITUD	69° 45' 12.8" W			PROVINCIA	HUANCANE			
TIPO	CO				ALTITUD	3890.00 msnm			DISTRITO	HUANCANE			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	9.65	9.59	9.65	8.25	6.07	4.47	4.25	5.62	7.45	8.70	9.13	9.18	7.67
1992	8.79	9.35	9.08	8.56	6.46	5.87	4.55	5.18	7.49	8.60	8.96	9.17	7.67
1993	8.59	8.90	8.59	8.67	6.54	4.22	5.27	5.15	7.92	9.12	9.84	9.90	7.72
1994	9.15	9.18	8.39	8.68	6.24	4.02	4.44	4.91	7.67	8.79	9.84	9.86	7.60
1995	9.88	9.41	9.16	8.30	5.85	4.28	4.96	5.96	7.97	9.46	9.43	9.37	7.84
1996	9.58	9.47	9.28	8.58	6.91	4.76	4.32	6.53	7.82	9.29	9.50	9.45	7.96
1997	9.02	8.68	8.44	7.21	5.95	4.36	4.94	6.52	7.95	9.58	10.13	11.50	7.86
1998	11.47	11.71	11.04	10.05	6.54	6.10	5.24	6.84	8.02	9.56	9.59	9.81	8.83
1999	9.82	9.17	8.93	8.05	6.51	4.79	5.30	5.83	7.65	8.72	9.22	10.38	7.86
2000	9.74	9.42	8.96	8.22	6.88	5.15	4.45	6.79	8.31	8.68	9.62	9.35	7.97
2001	9.01	9.41	8.97	7.97	6.68	5.40	4.84	5.44	8.59	9.58	10.54	10.14	8.05
2002	10.06	9.89	9.75	8.85	7.27	5.98	5.18	6.58	8.17	9.09	9.68	9.95	8.37
2003	9.77	9.93	9.12	8.27	6.54	3.77	4.62	5.39	7.06	8.19	9.15	9.85	7.64
2004	9.12	9.13	8.89	8.13	5.35	3.65	3.99	5.25	7.15	8.85	9.64	9.83	7.42
2005	8.88	8.74	8.67	7.63	4.87	2.80	2.33	2.82	6.37	8.76	10.04	10.10	6.83
2006	9.18	10.13	10.06	8.37	5.68	5.32	3.97	7.03	8.00	9.78	10.02	10.69	8.19
2007	10.68	10.19	9.68	9.18	7.72	5.61	5.37	6.67	8.51	9.16	9.19	9.65	8.47
2008	9.60	9.37	8.58	7.90	5.08	4.94	4.15	5.30	7.64	9.72	10.44	9.64	7.70
2009	9.79	9.54	9.21	8.06	6.76	4.11	5.41	5.22	8.76	9.80	11.08	10.79	8.21
2010	10.45	10.98	9.99	8.94	7.37	6.42	5.06	5.90	8.08	9.76	9.70	10.12	8.56
2011	10.05	9.48	8.92	8.20	6.30	5.03	4.85	6.06	7.54	8.80	10.13	9.60	7.91
2012	9.30	8.66	8.63	8.27	5.37	4.80	4.03	4.40	7.79	9.83	10.49	10.31	7.66
2013	9.91	10.01	10.18	7.95	7.41	5.20	5.25	5.79	7.46	9.41	9.81	10.13	8.21
2014	9.55	9.71	9.62	8.76	6.63	6.02	5.54	6.13	8.74	8.97	9.85	10.43	8.33
2015	9.25	9.59	9.33	8.75	6.96	5.66	4.93	5.96	8.23	8.50	10.35	10.25	8.15
N° DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	9.61	9.58	9.24	8.39	6.40	4.91	4.69	5.73	7.85	9.15	9.81	9.98	7.95
DESV. STD	0.64	0.68	0.63	0.55	0.74	0.89	0.69	0.91	0.55	0.48	0.51	0.54	0.41
MAX.	11.47	11.71	11.04	10.05	7.72	6.42	5.54	7.03	8.76	9.83	11.08	11.50	8.83
MIN.	8.59	8.66	8.39	7.21	4.87	2.80	2.33	2.82	6.37	8.19	8.96	9.17	6.83
MEDIANA	9.60	9.47	9.12	8.27	6.54	4.94	4.85	5.83	7.92	9.12	9.81	9.90	7.91



Anexo A-2-7

Temperatura media mensual. "Estación Huaraya Moho"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL													
ESTACION	HUARAYA MOHO				LATITUD	15° 23' 17.8" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	115038				LONGITUD	69° 29' 3.4" W			PROVINCIA	MOHO			
TIPO	CO				ALTITUD	3890.00 msnm			DISTRITO	MOHO			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	9.79	9.23	9.37	8.40	7.07	5.53	5.57	6.29	7.68	9.05	9.26	9.48	8.06
1992	9.09	9.48	9.27	9.07	7.82	6.53	5.32	6.05	8.24	8.68	9.46	9.21	8.19
1993	8.78	9.26	8.64	8.55	7.29	5.28	6.35	6.14	8.45	9.34	9.79	9.86	8.14
1994	9.31	9.26	8.57	8.87	7.05	5.48	5.75	6.51	8.25	9.39	10.03	9.82	8.19
1995	10.09	9.70	9.24	8.61	6.91	5.45	6.65	7.82	8.72	9.61	9.79	9.06	8.47
1996	9.13	9.26	9.31	8.48	7.16	5.42	5.62	7.93	8.02	9.45	9.18	9.28	8.19
1997	9.22	8.85	8.53	7.24	6.47	5.13	5.57	6.67	8.62	9.99	10.40	11.80	8.21
1998	11.61	11.37	10.77	10.09	7.30	6.94	6.06	7.87	8.94	10.09	10.15	10.50	9.31
1999	9.89	9.61	8.97	8.22	6.98	5.53	6.01	6.71	7.90	8.43	9.41	9.91	8.13
2000	9.47	9.38	9.32	8.52	7.22	5.82	5.57	7.35	8.63	8.49	10.06	9.30	8.26
2001	8.82	9.31	9.02	8.42	7.54	6.23	5.91	6.32	8.67	9.68	10.73	9.82	8.37
2002	9.75	9.71	9.57	8.87	7.74	6.90	5.93	7.12	8.49	9.07	9.70	10.18	8.59
2003	9.71	10.05	9.26	8.76	7.38	5.29	6.18	6.74	7.93	9.35	10.19	10.37	8.43
2004	9.60	9.76	9.60	9.32	7.18	5.53	5.81	6.52	8.14	10.37	10.69	10.74	8.60
2005	10.39	9.99	9.69	9.23	7.44	5.69	6.57	6.67	8.79	9.92	9.90	10.22	8.71
2006	9.33	10.13	9.69	8.36	6.27	6.32	5.15	7.68	8.63	9.84	10.05	10.57	8.50
2007	10.57	10.17	9.74	8.97	7.90	6.46	6.13	7.48	8.20	9.33	9.33	9.73	8.67
2008	9.67	9.37	8.60	8.21	6.26	6.14	5.41	6.60	8.20	9.54	10.48	9.57	8.17
2009	10.04	9.53	9.12	8.15	7.04	5.34	6.56	6.45	9.12	10.03	10.71	10.61	8.56
2010	10.16	10.86	10.03	9.09	7.97	7.14	6.41	7.05	8.88	10.20	10.28	10.33	9.03
2011	10.21	9.69	8.99	8.05	7.19	6.61	6.22	7.59	8.46	9.64	10.43	9.82	8.58
2012	9.46	9.06	9.11	8.69	6.86	6.28	6.09	6.30	8.35	9.96	10.56	10.07	8.40
2013	9.52	10.03	10.17	8.40	7.91	6.35	6.37	6.76	8.50	10.04	10.16	10.15	8.70
2014	9.87	10.37	9.66	9.07	7.79	7.51	6.88	7.02	8.95	9.13	10.33	10.85	8.95
2015	9.29	9.93	9.82	8.85	7.90	6.74	6.48	7.11	9.25	9.47	10.70	10.55	8.84
N° DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	9.71	9.73	9.36	8.66	7.27	6.07	6.02	6.91	8.48	9.52	10.07	10.07	8.49
DESV. STD	0.61	0.57	0.53	0.54	0.49	0.67	0.45	0.57	0.39	0.52	0.48	0.62	0.32
MAX.	11.61	11.37	10.77	10.09	7.97	7.51	6.88	7.93	9.25	10.37	10.73	11.80	9.31
MIN.	8.78	8.85	8.53	7.24	6.26	5.13	5.15	6.05	7.68	8.43	9.18	9.06	8.06
MEDIANA	9.67	9.69	9.31	8.61	7.22	6.14	6.06	6.74	8.49	9.54	10.15	10.07	8.47



Anexo A-2-8

Temperatura media mensual. "Estación Muñani"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL													
ESTACION	MUÑANI				LATITUD	14° 46' 1" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	114042				LONGITUD	69° 57' 6.5" W			PROVINCIA	AZANGARO			
TIPO	CO				ALTITUD	3948.00 msnm			DISTRITO	MUÑANI			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	10.16	10.25	10.24	9.36	8.23	6.59	6.28	7.41	8.40	9.77	10.04	10.08	8.90
1992	9.51	10.35	10.36	9.85	8.77	7.41	6.28	6.22	7.97	8.99	9.18	9.31	8.68
1993	9.75	9.01	9.92	9.85	7.96	6.10	6.45	6.54	8.18	9.40	9.64	9.90	8.56
1994	9.42	9.59	9.07	9.24	8.12	5.81	6.56	7.35	8.70	9.48	10.16	10.07	8.63
1995	9.90	9.86	9.49	9.44	8.08	6.50	7.02	8.58	9.35	10.20	10.04	9.31	8.98
1996	9.49	9.49	9.60	9.36	8.50	6.49	6.24	7.68	8.79	10.40	9.42	9.76	8.77
1997	9.13	9.21	9.10	8.13	7.48	6.36	6.86	7.92	9.35	10.23	10.70	11.52	8.83
1998	11.72	11.76	11.48	10.97	8.50	7.74	7.52	8.98	10.04	10.17	10.53	10.49	9.99
1999	10.23	9.96	9.66	9.16	7.95	6.62	6.44	7.82	8.66	9.05	10.07	9.89	8.79
2000	9.27	8.88	8.85	8.80	8.29	6.26	6.08	7.91	9.18	8.36	10.45	8.94	8.44
2001	8.46	8.81	8.94	8.48	7.29	6.06	5.78	6.42	8.96	9.03	9.73	9.93	8.16
2002	9.94	9.79	9.77	9.24	8.48	7.73	5.95	7.91	9.26	9.76	10.41	10.55	9.07
2003	10.00	10.23	9.47	9.09	8.13	6.25	6.25	6.45	7.88	9.38	9.69	10.13	8.58
2004	9.06	9.99	10.39	9.75	8.01	6.39	7.05	7.58	9.02	10.40	10.98	10.45	9.09
2005	10.31	9.94	10.42	9.89	8.47	6.60	7.19	7.58	8.95	10.14	10.54	10.05	9.17
2006	9.00	10.51	10.26	9.45	7.43	7.22	6.39	8.60	9.04	10.15	10.33	10.54	9.08
2007	10.98	10.96	9.95	9.82	8.65	7.81	7.35	8.74	8.97	10.08	10.17	10.00	9.46
2008	9.48	9.56	9.02	9.39	7.41	7.36	6.90	8.25	9.50	10.31	10.87	9.99	9.00
2009	10.22	9.82	9.92	9.13	8.45	6.47	6.53	7.15	9.27	10.56	11.23	10.92	9.14
2010	10.48	11.23	10.66	10.66	9.18	8.61	7.83	8.67	9.96	10.60	11.11	10.19	9.93
2011	10.30	9.63	9.70	9.73	8.42	7.33	6.97	8.62	8.99	9.90	11.03	10.30	9.24
2012	9.73	9.04	9.67	9.20	8.08	7.14	7.32	7.75	9.27	11.33	11.40	10.56	9.21
2013	10.36	10.32	10.81	9.27	8.96	7.33	7.43	8.19	9.63	10.90	11.02	10.57	9.57
2014	10.19	10.06	10.13	9.99	8.65	8.60	7.50	8.19	9.70	9.94	11.00	10.74	9.56
2015	9.61	10.18	10.41	9.82	8.95	8.28	7.70	8.47	10.35	10.43	11.53	10.75	9.71
Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	9.87	9.94	9.89	9.48	8.26	7.00	6.80	7.80	9.09	9.96	10.45	10.20	9.06
DESV. STD	0.68	0.71	0.64	0.60	0.50	0.80	0.58	0.78	0.61	0.67	0.64	0.55	0.46
MAX.	11.72	11.76	11.48	10.97	9.18	8.61	7.83	8.98	10.35	11.33	11.53	11.52	9.99
MIN.	8.46	8.81	8.85	8.13	7.29	5.81	5.78	6.22	7.88	8.36	9.18	8.94	8.16
MEDIANA	9.90	9.94	9.92	9.39	8.29	6.62	6.86	7.91	9.04	10.14	10.45	10.13	9.07



Anexo A-2-9

Temperatura media mensual. "Estación Progreso"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL													
ESTACION	PROGRESO				LATITUD	14° 41' 24.4" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	114040				LONGITUD	70° 1' 24.7" W			PROVINCIA	AZANGARO			
TIPO	CO				ALTITUD	3980.00 msnm			DISTRITO	ASILLO			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	9.00	8.86	9.41	8.62	7.87	5.31	5.50	6.41	8.10	9.93	9.81	10.17	8.25
1992	9.31	9.56	9.66	9.32	8.28	6.83	6.05	6.75	8.91	9.54	9.88	9.67	8.65
1993	8.77	9.86	9.27	9.11	8.05	5.62	6.73	6.90	9.11	9.74	9.86	10.29	8.61
1994	9.60	9.73	9.19	9.01	7.53	5.42	5.78	6.60	9.01	9.30	10.18	10.24	8.47
1995	10.14	10.08	9.61	9.03	6.86	5.82	6.07	6.95	8.34	9.86	9.39	8.26	8.37
1996	8.79	9.66	9.99	9.45	8.44	6.28	6.21	8.00	9.13	10.52	10.03	10.14	8.88
1997	9.75	9.44	9.18	8.02	7.41	6.00	6.99	7.84	9.60	10.72	10.54	11.70	8.93
1998	11.79	12.09	11.75	10.83	8.33	7.48	7.28	9.01	9.46	10.22	10.32	10.44	9.92
1999	10.50	9.71	9.67	9.06	8.32	6.43	6.64	7.85	8.99	9.62	10.24	10.19	8.94
2000	9.65	9.46	9.12	9.16	8.51	6.95	6.30	8.17	9.40	9.07	10.62	9.18	8.80
2001	9.28	9.50	9.40	8.84	7.61	5.73	4.57	5.05	9.12	10.49	11.01	10.75	8.45
2002	10.21	9.78	9.96	9.27	8.34	7.73	4.58	6.38	8.94	10.19	10.45	10.67	8.88
2003	10.70	10.68	10.15	9.51	8.67	5.47	5.75	6.38	8.37	9.59	10.44	10.89	8.88
2004	9.74	10.12	10.15	9.43	6.37	4.95	5.10	5.79	8.28	10.26	10.71	10.07	8.42
2005	10.12	9.79	10.04	9.01	5.97	4.64	5.49	5.74	7.99	9.31	10.01	10.02	8.18
2006	8.98	10.23	9.50	8.08	5.20	5.04	4.43	7.40	8.96	9.52	10.20	10.58	8.18
2007	10.88	10.36	9.50	8.78	6.88	5.29	4.76	7.21	8.48	9.36	9.35	9.41	8.36
2008	9.08	8.42	7.88	7.42	4.89	5.92	4.61	7.26	8.08	10.44	10.75	9.94	7.89
2009	10.13	10.33	10.22	8.87	6.86	4.59	5.59	5.70	9.92	10.55	11.30	11.07	8.76
2010	10.45	11.16	10.84	10.12	8.28	6.98	5.81	6.77	9.23	10.51	11.08	10.48	9.31
2011	10.45	10.11	10.21	9.85	6.57	5.14	5.21	6.39	8.48	9.13	11.29	10.48	8.61
2012	10.28	9.63	10.04	9.78	5.87	5.39	4.83	5.83	8.02	10.87	11.34	10.77	8.55
2013	10.24	10.38	10.86	8.38	7.79	5.49	5.35	6.19	7.60	10.25	11.12	10.49	8.68
2014	10.50	10.45	10.45	9.91	7.14	6.59	5.60	6.48	9.24	9.84	11.23	11.02	9.04
2015	9.79	10.45	10.39	10.01	9.11	8.44	7.55	8.54	10.41	10.40	11.79	10.76	9.80
N° DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	9.93	9.99	9.86	9.16	7.41	5.98	5.71	6.86	8.85	9.97	10.52	10.31	8.71
DESV. STD	0.73	0.72	0.74	0.74	1.12	0.99	0.87	0.97	0.67	0.53	0.64	0.69	0.47
MAX.	11.79	12.09	11.75	10.83	9.11	8.44	7.55	9.01	10.41	10.87	11.79	11.70	9.92
MIN.	8.77	8.42	7.88	7.42	4.89	4.59	4.43	5.05	7.60	9.07	9.35	8.26	7.89
MEDIANA	10.12	9.86	9.96	9.11	7.61	5.73	5.60	6.75	8.96	9.93	10.45	10.44	8.65



Anexo A-2-10

Temperatura media mensual completada. "Estación Putina"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL COMPLETADA													
ESTACION	PUTINA				LATITUD	14° 54' 53.6" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	114096				LONGITUD	69° 52' 4.9" W			PROVINCIA	SAN ANTONIO DE PUTINA			
TIPO	CO				ALTITUD	3878.00 msnm			DISTRITO	PUTINA			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	9.91	9.87	9.91	8.75	6.92	5.59	5.40	6.55	8.07	9.12	9.48	9.52	8.26
1992	9.19	9.66	9.44	9.00	7.25	6.76	5.66	6.18	8.11	9.04	9.33	9.52	8.26
1993	9.03	9.29	9.03	9.09	7.31	5.37	6.25	6.15	8.47	9.47	10.08	10.12	8.31
1994	9.50	9.52	8.87	9.11	7.06	5.21	5.56	5.95	8.26	9.20	10.07	10.09	8.20
1995	10.11	9.71	9.51	8.78	6.74	5.43	6.00	6.83	8.51	9.75	9.73	9.68	8.40
1996	9.85	9.76	9.60	9.02	7.63	5.83	5.46	7.31	8.38	9.61	9.79	9.75	8.50
1997	9.39	9.10	8.90	7.87	6.83	5.49	5.98	7.30	8.49	9.86	10.32	11.46	8.42
1998	11.43	11.64	11.08	10.25	7.31	6.95	6.23	7.56	8.55	9.84	9.86	10.05	9.23
1999	10.06	9.51	9.31	8.58	7.29	5.86	6.28	6.72	8.24	9.14	9.56	10.53	8.42
2000	9.99	9.73	9.34	8.72	7.60	6.16	5.57	7.53	8.80	9.10	9.89	9.66	8.51
2001	9.38	9.71	9.35	8.51	7.43	6.37	5.90	6.40	9.03	9.85	10.66	10.32	8.58
2002	10.25	10.11	10.00	9.24	7.93	6.85	6.18	7.54	9.04	9.13	10.15	9.95	8.86
2003	9.74	9.75	8.73	8.62	7.44	4.78	5.17	6.41	7.78	9.37	10.07	10.54	8.20
2004	9.57	9.48	9.28	8.64	6.33	4.90	5.19	6.51	8.23	10.06	10.73	10.45	8.28
2005	9.82	9.83	10.00	9.20	6.89	4.96	5.92	5.74	8.07	9.73	10.13	9.94	8.35
2006	8.92	10.09	10.31	8.85	6.60	6.30	5.17	7.72	8.54	9.73	10.01	10.68	8.58
2007	10.96	10.42	9.88	9.56	8.45	6.47	6.25	7.37	8.90	10.00	9.64	9.77	8.97
2008	9.87	9.57	8.80	8.58	6.05	5.83	4.87	6.76	7.79	9.63	10.57	9.90	8.18
2009	10.14	10.08	9.44	8.71	7.67	4.86	6.13	6.21	9.59	10.30	11.23	10.93	8.77
2010	10.74	11.38	10.52	10.00	7.95	7.33	5.80	7.01	9.28	10.53	10.14	10.40	9.26
2011	9.94	9.54	9.52	9.47	7.54	6.15	6.04	7.77	8.89	9.65	10.44	10.40	8.78
2012	9.76	9.22	9.38	9.28	7.24	5.98	5.18	5.78	8.43	9.76	11.09	10.80	8.49
2013	10.21	9.78	10.76	8.70	8.40	6.49	5.87	6.62	8.07	10.15	10.31	10.43	8.82
2014	9.56	9.98	9.99	9.80	7.26	6.01	6.36	6.89	9.33	9.34	10.08	10.57	8.76
2015	9.58	9.86	9.64	9.16	7.67	6.58	5.97	6.83	8.73	8.95	10.50	10.41	8.66
Nº DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	9.88	9.86	9.62	9.02	7.31	5.94	5.78	6.79	8.54	9.61	10.15	10.23	8.56
DESV. STD	0.57	0.58	0.60	0.52	0.57	0.70	0.43	0.61	0.48	0.42	0.47	0.48	0.31
MAX.	11.43	11.64	11.08	10.25	8.45	7.33	6.36	7.77	9.59	10.53	11.23	11.46	9.26
MIN.	8.92	9.10	8.73	7.87	6.05	4.78	4.87	5.74	7.78	8.95	9.33	9.52	8.18
MEDIANA	9.85	9.75	9.51	9.00	7.31	5.98	5.90	6.76	8.49	9.65	10.08	10.32	8.50



Anexo A-2-11

Temperatura media mensual completada. "Estación Taraco"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL COMPLETADA													
ESTACION	TARACO				LATITUD	15° 18' 42" S			DEPARTAMENTO	PUNO			
CODIGO	115047				LONGITUD	69° 58' 20.9" W			PROVINCIA	HUANCANE			
TIPO	CO				ALTITUD	3849.00 msnm			DISTRITO	TARACO			
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	9.70	9.64	9.71	8.06	5.49	3.61	3.35	4.96	7.11	8.59	9.09	9.15	7.37
1992	8.69	9.35	9.04	8.42	5.95	5.26	3.70	4.45	7.16	8.47	8.89	9.15	7.38
1993	8.46	8.82	8.46	8.55	6.04	3.31	4.55	4.40	7.67	10.87	10.37	10.55	7.67
1994	9.35	10.13	9.17	9.32	7.46	5.65	5.56	6.19	9.69	10.47	11.50	11.44	8.83
1995	10.87	10.64	9.50	8.87	6.78	5.55	5.85	6.68	8.81	10.15	10.50	9.93	8.68
1996	10.16	9.89	9.80	9.03	7.43	5.69	4.42	7.37	8.29	10.37	10.26	10.64	8.61
1997	9.60	9.28	9.77	8.49	7.48	5.39	6.18	6.83	9.08	9.71	10.52	11.89	8.68
1998	11.59	12.23	11.05	9.76	5.23	5.03	3.84	6.00	6.31	9.29	9.63	9.89	8.32
1999	9.94	9.51	9.42	7.55	4.62	2.33	2.80	4.25	6.22	8.42	9.04	10.24	7.03
2000	10.05	9.68	8.96	6.97	5.56	3.69	2.96	5.57	6.60	8.39	9.17	9.17	7.23
2001	9.06	9.64	9.58	7.61	5.21	4.02	3.11	4.35	7.49	9.25	11.02	10.30	7.55
2002	10.71	10.49	10.06	8.82	6.46	4.49	3.70	5.76	7.98	9.52	10.10	10.72	8.23
2003	10.42	10.65	9.70	8.28	5.71	2.62	3.67	4.44	6.03	8.68	9.87	10.90	7.58
2004	10.14	10.12	9.96	8.11	4.42	3.35	3.20	4.77	6.53	9.11	10.90	10.76	7.62
2005	10.89	10.53	9.88	8.65	4.83	2.05	3.21	3.12	7.07	9.89	9.61	9.98	7.48
2006	9.20	9.61	10.01	6.75	3.60	3.44	2.19	5.20	6.24	9.51	10.31	10.89	7.25
2007	10.83	10.53	9.60	8.36	6.12	3.63	3.41	4.82	7.71	8.56	8.83	9.67	7.67
2008	9.82	9.15	7.83	5.87	2.97	2.93	1.85	3.30	5.97	9.14	10.35	10.02	6.60
2009	9.72	9.56	8.70	5.77	4.35	1.63	3.28	2.35	7.36	9.21	10.97	11.09	7.00
2010	10.86	11.03	10.11	8.60	6.35	4.98	3.25	4.84	7.44	9.94	9.61	10.49	8.12
2011	10.77	10.15	9.51	6.86	4.85	3.51	3.48	5.04	7.36	9.41	11.35	10.86	7.76
2012	10.63	10.01	9.89	9.14	5.75	5.36	4.94	5.45	8.09	10.20	11.08	10.68	8.44
2013	9.98	10.03	10.06	7.96	7.61	5.78	5.91	6.30	7.88	9.98	10.25	10.34	8.51
2014	9.98	9.97	10.00	9.45	7.00	6.63	5.90	6.87	9.39	9.57	10.65	11.05	8.87
2015	9.52	9.51	9.52	9.00	7.38	6.14	5.15	6.37	9.17	9.45	10.54	10.99	8.56
N° DATOS	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
MEDIA	10.04	10.01	9.57	8.17	5.79	4.24	3.98	5.19	7.55	9.45	10.18	10.43	7.88
DESV. STD	0.76	0.71	0.63	1.05	1.26	1.38	1.22	1.24	1.08	0.69	0.78	0.70	0.65
MAX.	11.59	12.23	11.05	9.76	7.61	6.63	6.18	7.37	9.69	10.87	11.50	11.89	8.87
MIN.	8.46	8.82	7.83	5.77	2.97	1.63	1.85	2.35	5.97	8.39	8.83	9.15	6.60
MEDIANA	9.98	9.97	9.70	8.42	5.75	4.02	3.67	5.04	7.44	9.45	10.31	10.55	7.67



Anexo A-3-1

Caudal medio mensual. "Estación Puente Huancané"

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m ³ /s)													
ESTACION	PUENTE HUANCANE										CODIGO	012205	
CUENCA	HUANCANE			LATITUD	15°12'50			REGION	PUNO				
RIO	HUANCANE			LONGITUD	69°47'31"			PROV	HUANCANE				
TIPO	HLG			ALTITUD	3814 MSNM			DIST	HUANCANE				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1991	20.5	22.4	26.1	25.1	14.5	7.3	5.2	4.1	3.9	3.8	5.7	8.8	12.3
1992	47.2	34.8	30.3	9.4	4.5	3.4	2.4	3.7	1.6	1.7	2.5	8.0	12.5
1993	45.2	31.7	30.3	25.8	11.4	5.9	3.8	2.8	3.0	5.0	9.5	35.7	17.5
1994	48.1	86.6	48.0	59.5	19.0	7.9	5.9	3.7	2.9	3.8	7.8	21.9	26.3
1995	40.4	24.0	50.8	17.2	6.5	4.3	3.4	2.9	2.8	2.8	4.1	4.1	13.6
1996	21.5	32.4	20.4	16.7	5.7	3.4	2.4	1.9	1.7	1.9	3.7	12.6	10.4
1997	56.6	90.3	97.1	42.7	11.0	5.9	3.6	3.8	2.8	0.4	0.9	0.4	26.3
1998	9.1	21.9	30.8	20.4	5.3	3.1	2.7	2.2	1.9	2.1	3.9	6.5	9.2
1999	12.6	59.6	35.4	29.6	20.5	4.9	1.8	1.2	4.2	6.8	6.8	12.7	16.3
2000	15.3	47.1	52.0	10.9	5.1	4.3	3.0	2.4	2.1	4.3	3.2	5.9	13.0
2001	97.6	79.4	119.6	30.7	16.2	8.1	5.1	3.8	4.0	5.4	5.6	8.4	32.0
2002	39.6	73.1	82.1	36.9	14.1	4.9	4.3	3.2	4.6	10.7	12.2	40.0	27.2
2003	49.5	93.3	120.5	46.5	26.7	7.9	5.0	3.2	4.2	4.1	6.7	30.9	33.2
2004	61.6	91.4	64.1	23.6	7.8	5.0	4.0	4.3	4.3	4.0	4.2	8.0	23.5
2005	44.6	110.5	65.1	11.6	5.6	3.8	3.1	2.3	1.7	1.7	3.4	3.0	21.4
2006	36.6	72.9	54.0	19.8	7.3	4.1	2.8	1.5	1.4	2.9	8.1	18.1	19.1
2007	48.2	22.2	56.4	37.6	19.0	9.3	4.7	3.4	3.7	3.2	5.2	9.7	18.5
2008	20.1	29.5	30.7	6.1	1.5	1.6	1.9	1.4	1.4	2.0	2.2	12.5	9.3
2009	26.5	23.6	21.7	10.7	4.5	3.4	2.9	2.0	1.7	2.7	4.0	6.8	9.2
2010	36.5	36.1	20.3	15.5	6.5	4.0	3.6	1.9	1.2	1.4	4.3	9.1	11.7
2011	14.0	38.9	53.3	32.0	8.7	3.2	2.8	1.8	2.8	9.3	3.6	10.3	15.1
2012	31.1	96.1	70.0	38.6	11.4	4.2	2.5	2.8	2.6	2.4	2.2	9.9	22.8
2013	53.4	177.9	55.7	17.0	9.5	7.2	5.1	3.3	2.3	2.4	3.9	8.6	28.9
2014	28.6	81.0	46.4	40.0	26.3	8.8	3.0	2.2	2.3	2.5	1.7	3.8	20.5
2015	51.0	60.4	33.6	48.0	19.9	6.0	3.0	2.9	3.1	3.1	5.1	14.9	20.9
N' DATOS	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
MEDIA	38.2	61.5	52.6	26.9	11.5	5.3	3.5	2.7	2.7	3.6	4.8	12.4	18.8
DESV.STD	19.1	36.8	27.6	13.8	6.9	2.0	1.1	0.9	1.0	2.3	2.5	9.7	7.2
MIN	9.1	21.9	20.3	6.1	1.5	1.6	1.8	1.2	1.2	0.4	0.9	0.4	9.2
MAX	97.6	177.9	120.5	59.5	26.7	9.3	5.9	4.3	4.6	10.7	12.2	40.0	33.2
MEDIANA	39.6	59.6	50.8	25.1	9.5	4.9	3.1	2.8	2.8	2.9	4.1	9.1	18.5