



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ILAVE A
PARTIR DE LA ESCALA TEMPORAL DIARIA CON LA
SIMULACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO
TETIS**

TESIS

PRESENTADA POR:

LUZ MARIA QUISPE JINEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

PUNO – PERÚ

2025



LUZ MARIA QUISPE JINEZ

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ILAVE A PARTIR DE LA ESCALA TEMPORAL DIARIA CON LA SIMULACIÓN DEL ...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:546454320

Fecha de entrega

15 ene 2026, 11:27 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 ene 2026, 11:51 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ILAVE A PARTIR DE LA ESCALA TEMPORAL DIARIA CO....pdf

Tamaño del archivo

1.3 MB

108 páginas

24.332 palabras

105.905 caracteres





12% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

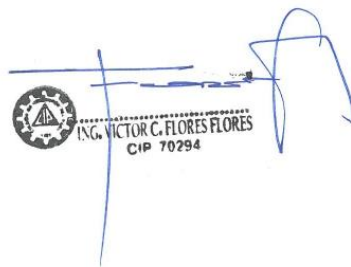
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ILAVE A PARTIR DE LA
ESCALA TEMPORAL DIARIA CON LA SIMULACIÓN DEL MODELO
HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS

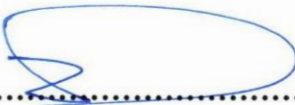
TESIS PRESENTADA POR:
LUZ MARIA QUISPE JINEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPOGRÁFO Y AGRIMENSOR



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


.....

M.Sc. ALBERTO RAMOS VILCA

PRIMER MIEMBRO:


.....

M.Sc. RAÚL CORNEJO CALVO

SEGUNDO MIEMBRO:


.....

Mto. EDWIN LLANQUE CHAYÑA

ASESOR DE TESIS:


.....

M.Sc. VICTOR CIPRIANO FLORES FLORES

ÁREA: Sistema de Información Geográfica

TEMA: Modelación hidrológica de la cuenca Ilave a partir de la escala temporal diaria con la simulación del modelo hidrológico distribuido TETIS

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de junio de 2025



DEDICATORIA

Esta tesis es el resultado de mi deseo inquebrantable por seguir creciendo como persona y así formarme profesionalmente. Todos los esfuerzos y aprendizajes en esta etapa dedico a Dios, por ser mi luz y guía en mi camino.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mi padre Julio y mi madre Bertha, pilares de mi vida porque me han apoyado con su noble y puro amor día a día para lograr este peldaño de ser profesional; por enseñarme con el ejemplo el valor del trabajo, la perseverancia y la humildad; por estar siempre presentes en los momentos más difíciles de este largo camino. Ustedes son mi mayor inspiración y este logro también es suyo.

Dedico a todas las personas que han sido parte de mi camino, especialmente a aquellos que nunca dejaron de animarme a seguir adelante; mostrándome su apoyo, me hicieron sentir acompañada y levantarme la moral, de alguna manera, me han impulsado a continuar en mi formación como ingeniera.

Luz Maria



AGRADECIMIENTOS

Antes que todo, agradezco a Dios por la fortaleza y sabiduría que me brinda día a día; a mi alma mater Universidad Nacional de Altiplano Puno, a la Facultad de Ciencias Agrarias y la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura por haberme abierto las puertas y formarme en ella.

A mi asesor de tesis M. Sc. Victor Cipriano Flores Flores, por su orientación paciencia y apoyo en todo este proceso que han sido fundamentales para lograr este objetivo.

Del mismo modo al M. Sc. Alberto Ramos Vilca, M. Sc. Raúl Cornejo Calvo y Mto. Edwin Llanque Chayña; porque me han brindado sus conocimientos, orientación y consejos prácticos y por brindarme su valioso apoyo durante los momentos de mayor complejidad; su paciencia y disposición para resolver dudas me han permitido crecer tanto académica como personalmente; que han sido fundamentales para mi formación y la oportunidad de alcanzar este logro.

Al mismo tiempo quiero agradecer a los docentes que, a lo largo de mi formación en la carrera de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, me brindaron sus conocimientos, dedicación y sabiduría, quienes con su vasta experiencia me han guiado en cada paso. Gracias a todos ellos por su paciencia y apoyo incondicional.

Esta tesis es el resultado del esfuerzo y la enseñanza que me brindaron.

Luz María



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1.1. Problema general.....	20
1.1.2. Problemas específicos	20
1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.2.1. Hipótesis general	20
1.2.2. Hipótesis específica.....	20
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	21
1.3.1. Justificación metodológica.....	21
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	22



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.1.1.	Antecedentes internacionales	23
2.1.2.	Antecedentes nacionales	25
2.1.3.	Antecedentes locales	28
2.2.	MARCO TEÓRICO	29
2.2.1.	Precipitaciones	29
2.2.2.	Escala temporal diaria	29
2.2.3.	Estación hidrométrica.....	29
2.3.	SIMULACIÓN	30
2.3.1.	Sensibilidad a la precipitación	31
2.4.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	31
2.4.1.	Análisis de sensibilidad manual y automático	31
2.4.2.	Modelo hidrológico	33
2.4.3.	Modelado de procesos hidrológicos:.....	35
2.4.4.	Distribución espacial y temporal:.....	35
2.4.5.	Modelado de procesos hidrológicos:.....	36
2.4.6.	Modelo distribuido TETIS	36
2.4.7.	Calibración	37
2.4.8.	Calibración del modelo hidrológico.....	39
2.4.9.	Calibración y validación:	39

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	LUGAR DE ESTUDIO.....	41
-------------	------------------------------	-----------



3.1.1. Precipitación.....	42
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	43
3.2.1. Población.....	43
3.2.2. Muestra.....	43
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.3.1. Tipo y enfoque de investigación.....	43
3.3.2. Nivel de investigación.....	44
3.3.3. Diseño de la investigación.....	44
3.4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	44
3.4.1. Informaciones hidrometeorológicas.....	44
3.4.2. Caudales.....	46
3.5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	47
3.5.1. Datos meteorológicos:.....	47
3.5.2. Control de calidad de datos.....	48
3.6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO TETIS.....	50
3.6.1. Modelo hidrológico TETIS.....	50
3.6.2. Datos hidrológicos:.....	51
3.6.3. Preparación del modelo.....	51
3.6.4. Datos geoespaciales:.....	51
3.7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	61
3.8. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL MODELO.....	62
3.8.1. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE).....	62
3.8.2. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).....	63
3.8.3. Coeficiente de Determinación (R^2).....	64
3.8.4. Error porcentual absoluto (PBIAS).....	65



3.8.5. Herramientas y software utilizados 65

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE LA PRECIPITACIÓN A ESCALA DIARIA PARA LA CUENCA DEL RIO ILAVE 66

4.1.1. Evaluación estadística de las precipitaciones..... 68

4.2. RESULTADOS DE LA SENSIBILIDAD PARA LA RESPUESTA HIDROLÓGICA A ESCALA DIARIA PARA LA CUENCA DEL RIO ILAVE 69

4.2.1. Respuesta hidrológica a escala mensual para la cuenca del río Ilave 75

4.3. DISCUSIÓN A LOS RESULTADOS 78

V. CONCLUSIONES..... 80

VI. RECOMENDACIONES 81

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 82

ANEXOS..... 88



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Estaciones hidrometeorológicas.....	45
Tabla 2 Estación Hidrológica.....	47
Tabla 3 Valores de coeficiente de determinación	64
Tabla 4 Evaluación estadística de las precipitaciones	68
Tabla 5 Distribuciones de caudales observados y simulados	70
Tabla 6 Evaluación estadística del modelo hidrológico TETIS.....	74
Tabla 7 Caudales observados y simulados mensualmente.....	77



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Evaluación de la sensibilidad automática de un modelo simulado	33
Figura 2 Clasificación de modelos hidrológicos.....	34
Figura 3 Esquema conceptual del ciclo hidrológico en el modelo TETIS	37
Figura 4 Ubicación hidrográfica de la Cuenca del río Ilave	42
Figura 5 Estaciones Hidrometeorológicas	46
Figura 6 Periodo del tiempo de estudio	48
Figura 7 Modelo de elevación digital de la cuenca del río Ilave	52
Figura 8 Pendientes de la cuenca del río Ilave.....	53
Figura 9 Direcciones de flujo de la cuenca del río Ilave.....	54
Figura 10 Celdas de flujo de la cuenca del río Ilave.....	55
Figura 11 Almacenamiento estático del suelo de la cuenca del río Ilave	56
Figura 12 Capacidad de infiltración de la cuenca del río Ilave.....	57
Figura 13 Capacidad de percolación de la cuenca	58
Figura 14 Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS	59
Figura 15 Conductividad hidráulica interflujo de la cuenca del río Ilave.....	59
Figura 16 Esquema de almacenamiento de la superficie de la ladera.....	60
Figura 17 Velocidad de ladera de la cuenca	61
Figura 18 Matriz de correlación de pearson entre estaciones de la cuenca del río Ilave.	67
Figura 19 Comparación de correlaciones	69
Figura 20 Histogramas de caudales observados y simulados	71
Figura 21 Caudales observados y caudales simulados	75
Figura 22 Caudales observados y caudales simulados mensualmente	77



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Ubicación hidrográfica de la Cuenca del río Ilave	88
Anexo 2 Ubicación de las estaciones Hidrometeorológicas.	89
Anexo 3 Datos del modelo TETIS V.9.0.	90



ACRÓNIMOS

UNA:	Universidad Nacional del Altiplano
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
ALA:	Administración Local del Agua
CRI:	Cuenca del río Ilave
TETIS:	Teledetection, topography and hydrology simulation
CHIRPS 2.0:	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
AM2RAIN:	Advanced Meteorological Precipitation Estimation Algorithm for Rainfall
ASCAT:	Advanced Scatterometer
PERSIANN:	Estimación de la precipitación a partir de información obtenida
PISCO:	Precipitation Interpolation by Statistical Comparison
NSE:	Nash-Sutcliffe Efficiency
RMSE:	Root Mean Square Error
PBIAS:	Percent Bias
R2:	Coefficient of Determination
KGF:	Kling - Gupta Efficiency
Rstudio:	Entorno de Desarrollo Integrado para el lenguaje R
Arcgis:	Sistema de Información Geográfica de la serie Arc



RESUMEN

La presente investigación aborda la modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave a escala temporal diaria, utilizando el modelo hidrológico distribuido TETIS, con el fin de analizar la relación entre la simulación y la sensibilidad del modelo en un contexto andino. Se aplicó la metodología relacional con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, enfocado en datos de precipitación y caudal obtenidos de estaciones ubicadas en los distritos de Capazo, Mazocruz, Pizacoma, Desaguadero, Juli, Ilave y Puno. El análisis de las precipitaciones mostró una correlación significativa entre las estaciones, especialmente entre Juli e Ilave ($r = 0.785$), lo que permitió seleccionar datos confiables para el modelo. Sin embargo, a pesar de una buena correlación general ($R = 0.97$, $R^2 = 0.95$), la evaluación estadística reveló que el modelo sobreestima los caudales, con indicadores como NSE (0.219), PBIAS (28.5%) y NRMSE (0.77) que sugieren un ajuste deficiente, especialmente en eventos extremos. La sensibilidad del modelo también mostró deficiencias, con valores negativos, como NSE (-1.98) y KGE (-0.81), lo que indica que no refleja adecuadamente la dinámica hidrológica de la cuenca. A escala mensual, los resultados fueron igualmente insatisfactorios (NSE = -2.17, PBIAS = 151.6%), lo que confirma la limitada capacidad del modelo para capturar la variabilidad hidrológica real en la cuenca. Estos hallazgos resaltan la necesidad de ajustes en la calibración y selección de parámetros, especialmente en cuencas altoandinas donde las condiciones físicas y climáticas exigen modelos más robustos y adaptativos.

Palabras clave: Modelación hidrológica, precipitación, simulación, sensibilidad, Tetis.



ABSTRACT

This research focuses on the hydrological modeling of the Ilave River basin at a daily temporal scale, using the distributed hydrological model TETIS to analyze the relationship between simulation and model sensitivity in an Andean context. A relational methodology with a quantitative approach and a non-experimental design was applied, focusing on precipitation and flow data obtained from stations located in the districts of Capazo, Mazocruz, Pizacoma, Desaguadero, Juli, Ilave, and Puno. The precipitation analysis showed a significant correlation between the stations, especially between Juli and Ilave ($r = 0.785$), which allowed for the selection of reliable data for the model. However, despite a good overall correlation ($R = 0.97$, $R^2 = 0.95$), the statistical evaluation revealed that the model overestimates the flow rates, with indicators like NSE (0.219), PBIAS (28.5%), and NRMSE (0.77) suggesting poor adjustment, particularly in extreme events. The model's sensitivity also showed deficiencies, with negative values such as NSE (-1.98) and KGE (-0.81), indicating that it does not adequately reflect the hydrological dynamics of the basin. On a monthly scale, the results were equally unsatisfactory (NSE = -2.17, PBIAS = 151.6%), confirming the model's limited ability to capture the real hydrological variability in the basin. These findings highlight the need for adjustments in calibration and parameter selection, particularly in high-altitude basins where physical and climatic conditions require more robust and adaptive models.

Keywords: Hydrological modeling, precipitation, simulation, sensitivity, Tethys.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Ilave constituye una de las principales fuentes de escorrentía que alimentan al lago Titicaca, localizado en la meseta del Collao, al sur del Perú. Esta cuenca forma parte de un sistema hidrológico endorreico junto con las cuencas del lago Poopó y el salar de Coipasa, conformando una de las nueve unidades hidrográficas de segundo nivel dentro de la región hidrográfica 0, de acuerdo con la clasificación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2021).

El análisis del comportamiento estacional de las precipitaciones en esta cuenca resulta fundamental, ya que la precipitación constituye el principal forzante del ciclo hidrológico (Beneyto et al., 2019). Los registros pluviométricos, obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas administradas por entidades oficiales como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), permiten caracterizar dicho comportamiento. No obstante, la disponibilidad de información se ve frecuentemente limitada por la inaccesibilidad geográfica, la discontinuidad en el mantenimiento de los equipos y la falta de cobertura en algunas zonas críticas (SENAMHI, 2024).

Para abordar las deficiencias en los datos, se recurre al uso de técnicas de imputación, entre las cuales destaca el método cutoff. Este método permite estimar valores faltantes mediante la utilización de información temporal de estaciones cercanas con registros similares, lo que mejora la integridad de las series temporales para fines de análisis y modelación hidrológica (Alruhaymi & Kim, 2021).



En este estudio también se emplean caudales observados registrados en estaciones hidrométricas, acompañados del análisis de hidrogramas para caracterizar el comportamiento del flujo. Para la simulación del comportamiento hidrológico de la cuenca se implementa el modelo hidrológico distribuido TETIS, ampliamente validado en estudios de cuencas andinas por su capacidad para representar procesos de escorrentía superficial, considerando los aportes atmosféricos como la precipitación (Tachikawa & Tanaka, 2020). De esta manera, el modelo TETIS se constituye en una herramienta adecuada para la generación de información confiable y suficiente, imprescindible para la planificación y diseño de proyectos hidráulicos en la región.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca del río Ilave, ubicada en el altiplano surandino del Perú, constituye un ecosistema de alta vulnerabilidad frente a la variabilidad climática y al cambio en los patrones hidrometeorológicos. Su importancia radica en que forma parte del sistema hídrico endorreico del lago Titicaca, del cual depende una considerable población rural y urbana para el abastecimiento de agua, riego agrícola y otras actividades socioeconómicas (ANA, 2021). En este contexto, comprender la dinámica hidrológica de la cuenca del río Ilave se vuelve esencial para una gestión eficiente de los recursos hídricos, en particular ante escenarios de incertidumbre climática.

La escasez y discontinuidad de registros hidrometeorológicos en zonas altoandinas por dificultades de acceso, costos de operación y mantenimiento de estaciones representa una barrera significativa para la evaluación precisa del comportamiento hidrológico (SENAMHI, 2021). Además, la fuerte estacionalidad de las precipitaciones en el altiplano peruano, controlada por procesos atmosféricos de gran escala como el anticiclón del Atlántico Sur y la oscilación Madden Julian, genera una alta variabilidad



interanual que complica la predicción de caudales y la gestión de eventos extremos como sequías e inundaciones (Vuille et al., 2018).

Ante estas limitaciones, los modelos hidrológicos distribuidos se han posicionado como herramientas clave para simular procesos hidrológicos con alta resolución temporal y espacial. En particular, el modelo TETIS permite representar el comportamiento de una cuenca mediante la integración de variables hidrometeorológicas, fisiográficas y de uso de suelo, facilitando la estimación de la escorrentía superficial y la respuesta hidrológica bajo diferentes condiciones (Escamilla et al., 2017). Sin embargo, la correcta calibración, validación y análisis de sensibilidad del modelo requiere una adecuada serie de datos diarios de precipitación, ya que esta variable constituye el principal forzante del ciclo hidrológico (Chow et al., 1988).

En ese sentido, se plantea la necesidad de determinar la simulación y sensibilidad del modelo hidrológico distribuido TETIS utilizando precipitaciones a escala temporal diaria para la cuenca del río Ilave. Esto permitirá evaluar la capacidad del modelo para reproducir la respuesta hidrológica de la cuenca y estimar con mayor precisión los caudales generados. Asimismo, se busca determinar la respuesta hidrológica con precipitaciones diarias, a fin de identificar los patrones de generación de escorrentía y su relación con los eventos de precipitación, información esencial para la planificación de obras hidráulicas y la gestión integrada del recurso hídrico en la región. Por lo que se ha planteado las siguientes interrogantes.



1.1.1. Problema general

¿Existe relación entre la simulación y la sensibilidad del modelo hidrológico distribuido Tetis con precipitaciones a escala temporal diaria para la Cuenca del rio Ilave?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Es posible determinar la respuesta hidrológica con precipitaciones a escala temporal diaria para la cuenca del rio Ilave?
- ¿Es posible determinar de la sensibilidad para la respuesta hidrológica a escala diaria, tendrán que mejorar en la respuesta hidrológica para la cuenca del rio Ilave?

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Hipótesis general

Existe una relación significativa entre la simulación hidrológica y el análisis de sensibilidad del modelo hidrológico distribuido TETIS al emplear series de precipitaciones a escala temporal diaria para la cuenca del río Ilave.

1.2.2. Hipótesis específica

- Determina con precisión la respuesta hidrológica de la cuenca del rio Ilave mediante el uso de datos de precipitaciones a escala diaria.
- El análisis de sensibilidad de parámetros en el modelo hidrológico TETIS mejora significativamente la simulación de respuesta hidrológica para la cuenca del rio Ilave con datos de precipitación diaria.



1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Esta investigación busca contribuir a la solución del problema con el desconocimiento de la disponibilidad y comportamiento del recurso hídrico en la unidad hidrográfica del río Ilave, ubicada en la provincia de El Collao, Ilave del departamento de Puno. Para ello, se ha estimado la oferta hídrica mediante la aplicación del modelo hidrológico distribuido TETIS, considerando también el análisis de la sensibilidad hídrica a partir de los datos climáticos obtenidos en la estación meteorológica de Ilave. Esta información resulta de gran utilidad para las autoridades responsables, ya que les permitirá tomar decisiones más acertadas respecto al aprovechamiento racional del agua, así como planificar de manera más eficiente la construcción de infraestructura hidráulica, ya sea para abastecimiento de agua potable o para fines de riego.

1.3.1. Justificación metodológica

Esta investigación utilizó una metodología basada en el modelo hidrológico distribuido TETIS, el cual permite estimar de manera distribuida tanto la oferta como la demanda de agua en la unidad hidrográfica del río Ilave, Además, se hace referencia a cada uno de los elementos necesarios para su implementación; por ende, será útil para futuros estudios que necesiten aplicar este modelo hidrológico en contextos diversos.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar la relación entre la simulación y la sensibilidad del modelo hidrológico distribuido Tetis con precipitaciones a escala temporal diaria para la cuenca del río Ilave.



1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la respuesta hidrológica con precipitaciones a escala diaria para la cuenca del río Ilave.
- Determinar la sensibilidad para la respuesta hidrológica a escala diaria para la cuenca del río Ilave.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Sánchez (2022) en su investigación presenta que el objetivo es analizar la evolución y la frecuencia de los eventos extremos de precipitación en la provincia de Alicante entre el año 1981 a 2020 con el fin de valorar su impacto en la planificación hídrica que también se busca determinar la variabilidad de los eventos a lo largo del tiempo y establecer su relevancia en el contexto del cambio climático. Su metodología estuvo centrado en el análisis estadístico de datos diarios de precipitaciones de donde se desarrolló con datos históricos de 26 observatorios; por otro lado el instrumento que se utilizó para el análisis de datos fue el Software Rstudio; se concluye que se indica una variabilidad significativa en eventos extremos de precipitaciones en la provincia de Alicante así como su distribución espacial, de lo cuál se destaca la importancia de conocer la pluviometría para mejorar la resiliencia territorial y adaptar las políticas de gestión hídrica ante eventos extremos.

Asimismo Anjum et al. (2022) menciona que el objetivo de la investigación es evaluar el rendimiento de varios productos de precipitación satelital en una región semiárida subtropical de la provincia de Punjab, Pakistán que busca determinar la precisión y la capacidad para representar la variabilidad espacial y temporal de la precipitación también se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño comparativo donde los productos satelitales fueron evaluados frente



a datos observacionales diarios, durante el periodo de 2010 a 2018 de igual modo se observó 26 estaciones; por consiguiente se empleó índices de evaluación como el coeficiente de correlación, el error medio cuadrático medio y sesgo relativo de esta manera se concluye que CHIRPS 2.0 y AM2RAIN ASCAT superaron a los productos PERSIANN en todas las estaciones.

Feng et al. (2014) menciona que el objetivo es desarrollar y validar un nuevo método de imputación llamado CUTOFF para manejar datos espacio temporales con valores faltantes, especialmente en conjunto de datos relacionado con la precipitación; constituida por registros de precipitación en el área de la cuenca de Murray Darling en Australia; en donde se utilizó 78 estaciones del periodo de 1911 hasta 2010. Este método se validó a través de simulaciones y comparaciones con otros métodos de imputación como descomposición de valores singulares, imputación múltiple y bosque aleatorio; así de esta manera los resultados indican que el método CUTOFF es efectivo para completar matrices de datos con valores faltantes usando información contextual tanto espacial como temporal.

Rios (2020) en su investigación tiene como objetivo es explorar la posibilidad de extrapolar la calibración de cuencas aforadas a cuencas no aforadas o con series de datos faltantes; la población se compone de diversas cuencas dentro de la demarcación hidrográfica de Júcar, trabajando con 10 estaciones desde las cuencas aforadas y no aforadas mediante técnicas de calibración y validación; también se hizo uso del modelo TETIS para realizar las simulaciones; en conclusión la validación cruzada mostró que la incorporación de fenómenos mejora significativamente la precisión de la modelación.



Orozco et al. (2022) el objetivo de esta investigación es evaluar los potenciales cambio climático y la urbanización en el ciclo hidrológico, específicamente en la recarga de acuíferos y el balance hídrico de la subcuenca del río Turbio en Guanajuato; ya que busca describir el estado actual del ciclo hidrológico y pronosticar su comportamiento a futuro para ello se utilizan datos de precipitaciones y temperatura de 10 estaciones meteorológicas con la técnica multi weighted ensemble precipitation para mejorar la interpolación de datos; para ello se utiliza el modelo hidrológico distribuido TETIS para simular el ciclo hidrológico; los resultados indican que se anticipa una disminución en la precipitación anual de entre 32.6 mm y 36.1 mm para los diferentes escenarios.

Tapia (2016) en su investigación presenta como obtener el balance hídrico de una unidad hidrográfica del río Pindo, ubicada en la frontera de Ecuador, utilizando el modelo hidrológico distribuido TETIS. Como objetivo específico busca formular, calibrar y validar el modelo en la zona simular caudales diarios para el período 1975 – 2008 y evaluar la influencia de la variabilidad hidrológica y climática en esta cuenca. La metodología que se aplicó es de enfoque cuantitativo con un diseño de tipo longitudinal descriptivo y analítico que involucra la formulación, calibración y validación y aplicación de un modelo hidrológico con análisis estadísticos utilizando como NSE, RSR y error volumétrico; obteniendo como resultado que el modelo TETIS logró índices de eficiencia muy buenos en calibración (NSE = 0.81) y validación (NSE = 0.79) indicando un buen ajuste de datos observados.

2.1.2. Antecedentes nacionales



Según Zavala (2025) en su investigación tiene como objetivo utilizar el modelo hidrológico TETIS para estimar eventos extremos en la cuenca del río Zarumilla, Tumbes. Además busca generar información sobre caudales máximos. La metodología utilizada es cuantitativo descriptivo ya que se aplica el modelo para resolver problemas prácticos de gestión de recursos hídricos mediante simulaciones y validaciones; se trabajó con datos que abarca desde el 2005 a 2015 los instrumentos incluyeron registros hidrometeorológicos y mapas elaborados con Arcgis para analizar y obtener insumos del modelo TETIS. Como resultados mostró un buen desempeño con un coeficiente Nash – Sutcliffe de 0.533 indicando aceptable la simulación de caudales diarios en la cuenca.

Meléndez (2021) en su investigación menciona que el objetivo de la investigación es formular y parametrizar un modelo hidrológico distribuido TETIS para la cuenca del río Lurín, con el fin de simular caudales diarios y determinar la oferta hídrica; los caudales máximos anuales, el análisis de persistencia y el balance hídrico de la cuenca. La modelación se realizó a través del software TETIS, análisis de datos hidrológicos y calibración del modelo utilizando índices de eficiencia como el índice de nash y el error medio cuadrático, medio normalizado en síntesis los resultados de la calibración en Antapucro y la validación de San Damián obtuvieron calificaciones de “muy bueno” y “bueno” en los índices, lo que indica que el modelo es efectivo.

Cárdenas (2020) en su investigación menciona el objetivo de la tesis fue aplicar el modelo hidrológico TETIS para determinar el balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus en Jauja, Junín. Los objetivos específicos determino la oferta hídrica y establecer la demanda hídrica en esta cuenca; la



metodología que se aplicó es descriptivo – explicativo ya que se describió variables dimensiones e indicadores en donde se utilizó conocimientos de ciencias básicas para comprender y resolver la problemática de la cuenca siendo así, un diseño no experimental trabajando así con toda la población de la unidad hidrográfica utilizando una técnica de observación directa; obteniendo resultados de la aplicación del modelo TETIS permitió determinar la oferta hídrica en la cuenca río Yacus es insuficiente respecto a la demanda agrícola, con una capacidad de almacenamiento estimada en 20.35 millones de metros cúbicos que no se aprovechan durante la temporada de lluvias.

Quintana (2024) menciona como objetivo general determinar la influencia de la información del producto PISCO precipitación en el modelamiento hidrológico distribuido en la cuenca del río Ichu, Huancavelica en donde busca evaluar cómo esta información afecta el modelamiento del caudal diario mensual y máximo en dicha cuenca. La metodología aplicada que muestra es cuantitativo aplicando métodos estadísticos y modelísticos; involucrando la calibración y validación de modelos hidrológicos mediante datos observados y simulados y la estadística como el coeficiente de Nash, coeficiente de determinación y de correlación para evaluar el desempeño del modelo. El resultado que muestra la precipitación del producto PISCO, cuando se emplea una buena calibración adecuada del modelo TETIS produce una buena aproximación a los caudales observados, con un coeficiente de Nash de aproximadamente 0.58 considerando un ajuste bueno.

Rafael (2024) en su investigación tiene como objetivo aplicar un modelo híbrido para mejorar el modelo de precipitación esorrentía de la cuenca del río



Chancay, Lambayeque con el fin de optimizar la gestión de recursos hídricos; con una metodología cuantitativa en donde se utilizó estudios regionales para la elaboración de los inputs del modelo en donde se trabajo con 12 estaciones; considerando datos históricos de 30 años (1991 – 2020). El resultado que se obtuvo el modelo hidrológico TETIS calibrado con el 70% de los datos mostró un NSE de 0.6284 de calibración y 0.6373 en validación considerados satisfactorios.

2.1.3. Antecedentes locales

Zubieta et al. (2018) indica como objetivo evaluar la capacidad y utilidad de los datos de precipitación estimados por satélites TRMM en comparación con los datos observados de pluviómetros para la modelación hidrológica; con una metodología cuantitativa comparativa orientado a evaluar el desempeño de diferentes conjuntos de datos de precipitación en la simulación de caudales, con datos utilizados en un periodo de 2011 y 2015 conjunto de las mediciones pluviométricas y de caudal en la cuenca del río Ilave, asimismo se empleó la evaluación del rendimiento mediante métricas como NSE y análisis de errores. Como resultado se observó un importante déficit hídrico en la cuenca reducción del 50% en precipitación durante periodos de avenidas, aumento de evapotranspiración; la modelación con datos de lluvias observadas tuvo un rendimiento muy alto de 0.95 en simulación de caudales.

Ticona (2016) en su investigación como objetivo es determinar los escenarios futuros de caudales medios en la cuenca del río Ilave, utilizando el modelo WEAP; la metodología que se aplica es cuasi experimental y descriptivo con uso de la modelación hidrológica. En donde el resultado que se caracterizó escenarios actuales y futuros de la disponibilidad hídrica en donde se vio



variaciones en la cobertura vegetal y parámetros climáticos que afectan los caudales en donde se logró determinar un escenario proyectado para el año 2050 considerando el cambio climático.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Precipitaciones

La precipitación es la fase del ciclo hidrológico la que origina las corrientes superficiales y profundas lo que permite su valoración y entendimiento de su distribución temporal como espacial. Según (Sánchez, 2022) menciona que las precipitaciones son cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre, esto debido a la condensación del agua, como ríos, lagos y el océano, lluvia, nieve y granizo. También (Jaramillo, 2005) indica que las precipitaciones hace referencia a algún depósito de agua solida o liquida provenientes de la atmosfera a partir de medidas realizadas en una estación pluviométrica las cuales son: precipitaciones diaria, mensual y anual “modulo pluviométrico” en efecto obtenidas sumando las precipitaciones diarias del mes y el año.

2.2.2. Escala temporal diaria

Se refiere a la unidad de tiempo en la que se registran, analizan o simulan los datos en una investigación, siendo en este caso el día. Es decir, cada observación o valor (como precipitación, temperatura, caudal, etc.) corresponde a un periodo de 24 horas (Volpi et al., 2024).

2.2.3. Estación hidrométrica



La estación en donde se recolectan datos del agua en ríos, lagos y presas de un tipo de uno o alguno de los elementos: niveles, flujo de corrientes, transporte y otros a continuación, sedimentación, temperatura del agua y otras características físicas y químicas del agua; para el procedimiento el protocolo es la instalación y funcionamiento de estaciones de clima agrometeorológicas e hidrológicas dichas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2018). Por otro lado el (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 2017) indica que es una herramienta por el cual se obtienen y transmiten datos meteorológicos e hidrológicos estos leídos por sensores eléctricos lo que funciona las 24 horas.

2.3. SIMULACIÓN

Ejecución de simulaciones bajo diferentes condiciones, como diferentes regímenes de precipitación, temperaturas, o usos del suelo, para predecir el comportamiento del sistema en escenarios futuros o bajo condiciones extremas (Castillo 2023).

Importancia de la Simulación en la Hidrología

La simulación de modelos hidrológicos es de gran relevancia en estudios sobre el cambio climático, el manejo de cuencas hidrográficas, la gestión de inundaciones y la seguridad hídrica. Según (Castillo 2023) permite:

- Predecir el comportamiento de los ríos y otros cuerpos de agua ante diferentes condiciones climáticas y de uso del suelo.
- Planificar estrategias de manejo de recursos hídricos, como la distribución de agua para riego o consumo humano.



- Evaluar los efectos de la urbanización o los cambios en el uso del suelo sobre la escorrentía y los recursos hídricos.
- Diseñar infraestructuras de control de inundaciones y otras infraestructuras hidráulicas.

2.3.1. Sensibilidad a la precipitación

La lluvia es un elemento crucial para TETIS, y la reacción del modelo a las precipitaciones se manifiesta en la manera en que la simulación reacciona ante variaciones en la intensidad, duración y ubicación espacial de la lluvia (Zuo et al., 2022).

2.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

2.4.1. Análisis de sensibilidad manual y automático

Un estudio de sensibilidad es un procedimiento donde se analiza la forma en que las salidas de un modelo se modifican frente a cambios en las entradas. Esta sencillez en el cambio se denomina "sensibilidad". Un enfoque convencional consiste en aplicar variaciones ($\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, etc.) a un parámetro específico y observar cómo se alteran los resultados en comparación con los que se mantienen inalterados los demás parámetros. Sin embargo, este procedimiento es bastante "costoso" computacionalmente donde las variaciones se definen de forma discreta y usualmente se debe llevar a cabo de manera manual (Ochoa et al., 2022).

Es necesario introducir la matriz de resultados simulados para valorar la variabilidad del rendimiento de cada línea de simulación en relación al conjunto de datos analizados, o para examinar cómo las fluctuaciones (o limitaciones) en



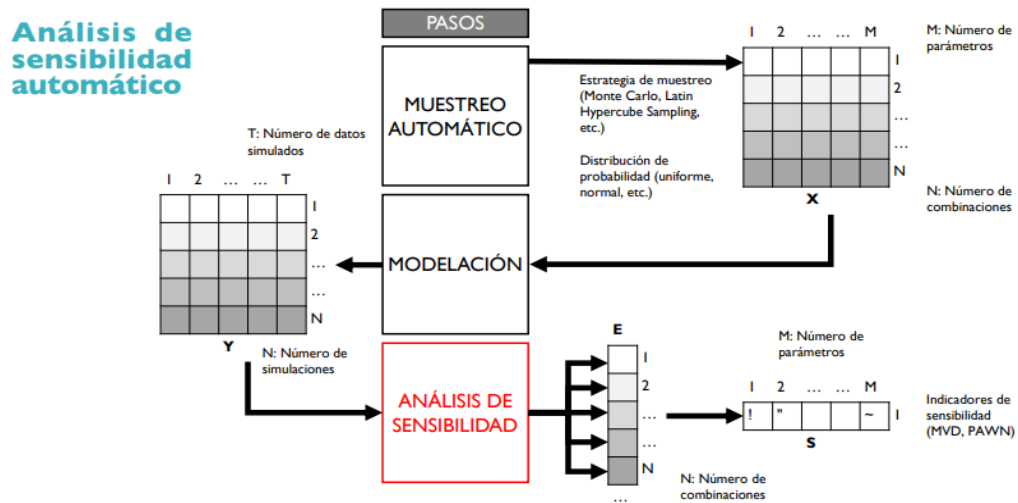
los parámetros de X afectan las conclusiones del modelo. Igualmente, en vez de examinar individualmente los resultados derivados de cada cambio de parámetro, se examinan los N resultados en conjunto, lo que resulta en un vector S de dimensiones $1 \times M$, en el que M representa la cantidad de parámetros estudiados y S alberga los "indicadores de sensibilidad" (Ochoa et al., 2022).

Las ediciones del modelo. El procedimiento puede realizarse una única vez o en caso contrario, realizar múltiples iteraciones para lograr intervalos de confianza o rangos para los indicadores de sensibilidad, asegurándonos de esta manera de nuestra confianza en los resultados y determinar cuán sensibles o influyentes son estos. Asimismo, con la calibración automática, el beneficio radica en que el método de análisis de sensibilidad automático es N veces más eficaz que el análisis manual y puede proporcionar resultados ideales en una única ejecución (Ochoa et al., 2022).

Además, utiliza los mismos datos (matrices de parámetros y simulaciones) empleados en la calibración automática, lo que asegura continuidad y uniformidad durante un proceso de modelado como se observa en la figura 1.

Figura 1

Evaluación de la sensibilidad automática de un modelo simulado



Fuente: Ochoa Tocachi et al. (2022).

Un análisis de sensibilidad es un procedimiento donde se mide la forma en que las salidas de un modelo se modifican frente a cambios en los ingresos". Existen diversas técnicas para el análisis de sensibilidad. Este texto se centra en dos técnicas complementarias: el análisis de sensibilidad regional (Puy et al., 2020) y el análisis de sensibilidad basado en la distribución de salida (Pianosi & Wagener, 2018).

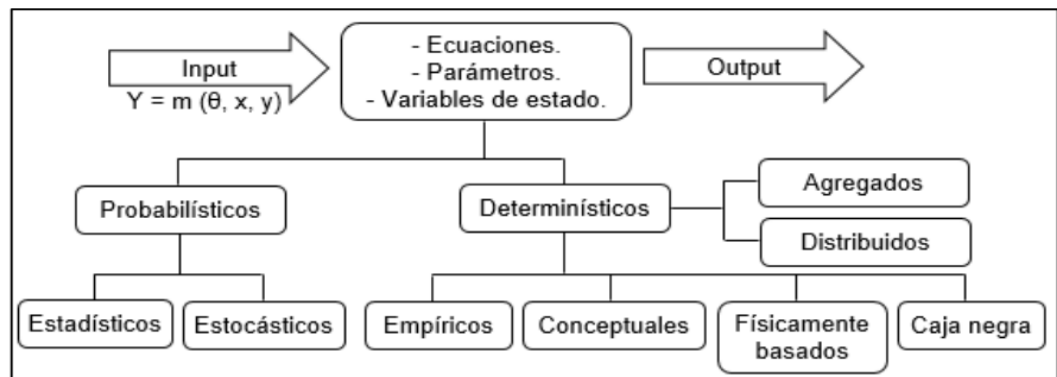
2.4.2. Modelo hidrológico

Para valorar la reacción del agua en una cuenca hidrográfica, se requiere la creación de un esquema que represente de manera sencilla este sistema real. Este esquema puede ser empleado para reconstruir sucesos pasados o anticipar futuros; por lo tanto, un modelo hidrológico es un instrumento para comprender y representar el comportamiento de los sistemas hidrográficos y anticipar condiciones distintas a las que se han observado (Autoridad Nacional del Agua de Perú, 2019).

El modelo TETIS de hidrología distribuida se fundamenta en una concepción del tipo tanque, donde el agua se desplaza hacia abajo siempre que no se supere la capacidad de evacuación del tanque. TETIS segmenta el terreno en dos niveles horizontales, e incluye 20 parámetros y un factor de corrección para maximizar la transpiración. Adicionalmente, el modelo brinda la opción de poner en marcha un submodelo dinámico de vegetación. La generación de escurrimiento se lleva a cabo a través de un equilibrio hídrico en cada celda, que se ilustra en un esquema de seis tanques conceptuales de almacenamiento, o siete si la celda forma parte de la red de cauces. La circulación entre los tanques se basa en el agua almacenada en estos, el modelo conceptual implementado, la clase de tanque y las propiedades morfológicas e hidrológicas del terreno de la celda donde se observa en la Figura 2 (Meléndez et al., 2021).

Figura 2

Clasificación de modelos hidrológicos



Fuente: Ramírez (2012).

De acuerdo con Tapia (2016), se categorizan los modelos según distintos criterios, tal como se ilustra en la Figura 2, ya sea por las ecuaciones empleadas:

Modelos de probabilidad. - Se fundamentan en las leyes de la probabilidad o del azar, son de naturaleza estadística y estocástica. Los

estadísticos se ocupan de ejemplos estudiados y los modelos estocásticos de la estructura aleatoria detectada en determinadas series de tiempo hidrológicas (Tapia, 2016).

Modelos determinísticos. - Son definidos por leyes físicas que se consideran precisas y que explican toda su diversidad. Por otro lado, los modelos determinísticos se categorizan en cuatro subconjuntos (Tapia, 2016):

- Modelos empíricos, evaluados por tablas, plantean dificultades para extrapolar.
- Ideas con un cierto nivel de simplificación.
- Basados físicamente, con parámetros directamente cuantificables.
- Caja negra, cuando la estimación de parámetros no es factible, calibración esencial y dificultades para extrapolación.

2.4.3. Modelado de procesos hidrológicos:

TETIS recrea la relación entre las precipitaciones y los procesos hidrológicos fundamentales de la cuenca, tales como la captación por la vegetación, la infiltración en el suelo, la evapotranspiración, la percolación hacia los acuíferos, el flujo de agua subterránea (interflujo) y el flujo de base (Quintana, 2024).

2.4.4. Distribución espacial y temporal:

El modelo toma en cuenta la distribución espacial y temporal de las lluvias, además de su interacción con otros elementos del entorno, como la temperatura y las propiedades del terreno, con el fin de simular la esorrentía y otros elementos del ciclo de agua (Venturini & Krepper, 2017).



2.4.5. Modelado de procesos hidrológicos:

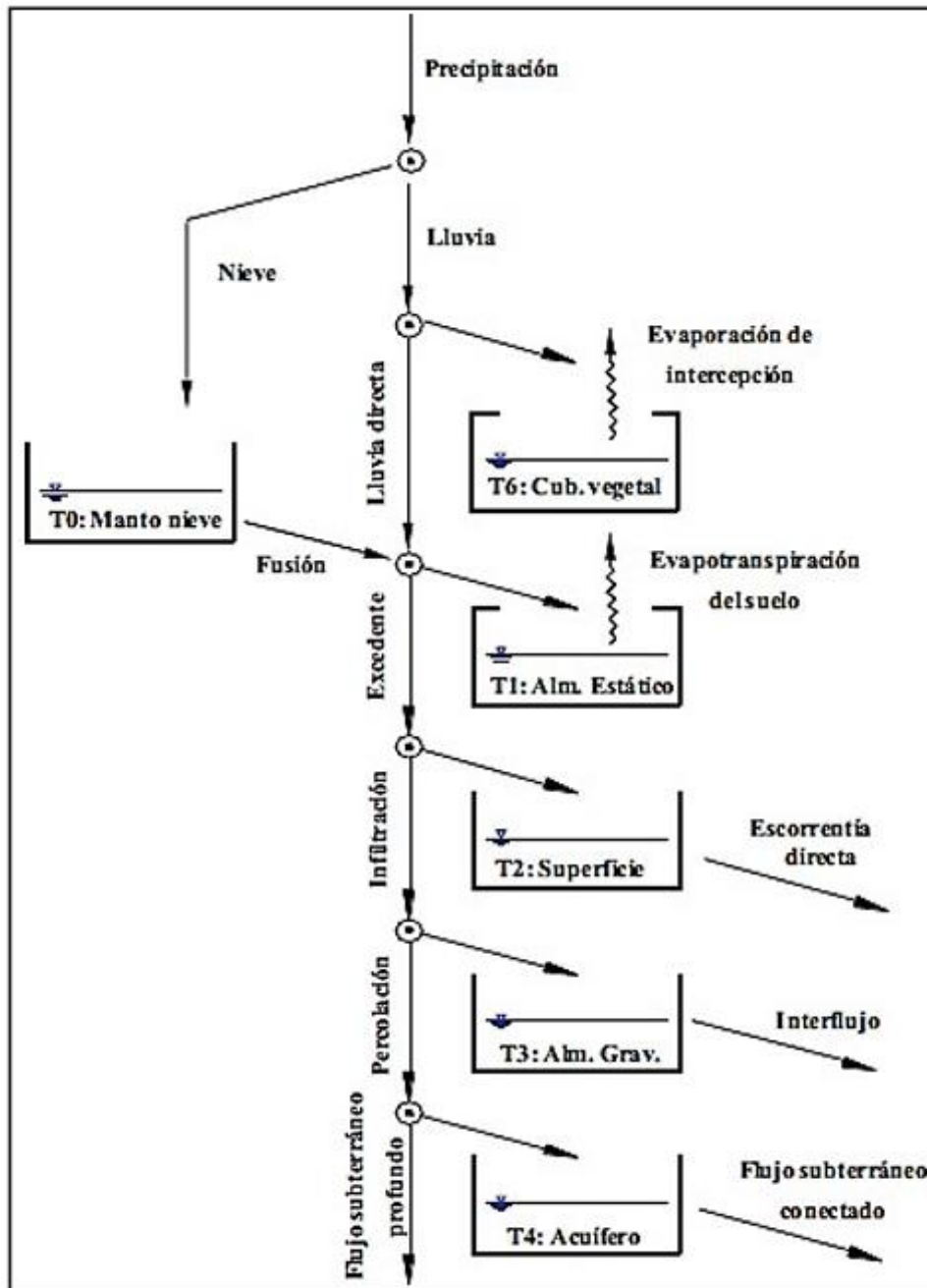
TETIS simula la relación entre las precipitaciones y los procesos hidrológicos fundamentales de la cuenca, tales como la captación por la vegetación, la infiltración en el suelo, la evapotranspiración, la percolación hacia los acuíferos, el flujo de agua subterránea (interflujo) y el flujo de base (Lujano et al., 2020).

2.4.6. Modelo distribuido TETIS

Se elaboró por el Instituto de ingeniería del agua y medio ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia con el objetivo de obtener la mejor representación posible de la respuesta hidrológica generada por la lluvia o la nieve, teniendo en cuenta los distintos procesos físicos implicados (Escamilla et al., 2017). Este modelo simboliza la cuenca del río en una malla de celdas vinculadas entre sí mediante la distribución topográfica, de tal forma que cada celda posee un valor asociado a los diferentes parámetros requeridos para una correcta caracterización; incorpora correctamente la variabilidad espacial de los ciclos hidrológicos y su fundamento conceptual, requiere de datos observados para su calibración, en la Figura 3 se presenta el modelo conceptual vertical del modelo TETIS (Escamilla et al., 2017).

Figura 3

Esquema conceptual del ciclo hidrológico en el modelo TETIS



Fuente: Palomino et al. (2016).

2.4.7. Calibración

Es un procedimiento que contrasta los valores observados (estaciones de medición) con los valores generados por la simulación, que corresponden a los



resultados obtenidos a través del modelo, se evalúa el grado de relación entre estos y los datos reales observados. En este proceso, se busca que exista una correspondencia lo más cercana posible entre ambos conjuntos de datos, de manera que los valores simulados reflejen adecuadamente el comportamiento de los observados. El modelo TETIS ofrece dos alternativas para la calibración en la fabricación y desplazamiento de la escorrentía: el método manual y el método automático (Orozco et al., 2019). Es importante destacar que la calidad de los resultados obtenidos en un modelo de lluvia y escorrentía se basa en:

- Calidad de los datos introducidos.
- Organización del modelo.
- Procedimiento de calibrado.

El modelo distribuido TETIS presenta beneficios y restricciones.

De acuerdo con Huaman (2018), tiene las siguientes repercusiones; dado que es distribuido, puede tener variaciones en los parámetros y climas. Es capaz de utilizar una amplia gama de datos, donde utiliza parámetros y variables en la medida en que se disponga de información. Es capaz de simular tanto eventos específicos como procesos continuos a lo largo del tiempo. Integra en un solo modelo los efectos asociados a fenómenos kársticos, como la presencia de nieve, la formación de embalses naturales y la acumulación de sedimentos en un solo modelo. Asimismo, contempla el flujo que ocurre por debajo de la superficie del suelo; es posible que resulte caro obtener información para los ingresos de datos.

- Falta de datos repartidos a nivel de celda.



- Utiliza otros instrumentos como ArcGis o Qgis, editors de texto, hojas de cálculo, entre otros.
- Es posible que requiera más tiempo que otros modelos tradicionales para generar datos e implementar la simulación.
- Para el movimiento de la escorrentía en los cauces, se ha incorporado una única metodología (onda cinemática)
- No toma en cuenta la infraestructura del agua. Solo toma en cuenta una técnica para la creación de escorrentía.

2.4.8. Calibración del modelo hidrológico

El proceso de calibración del modelo hidrológico implica la modificación de los parámetros del modelo a través de datos observacionales, con el objetivo de que las simulaciones sean lo más exactas posibles en relación con la realidad. De acuerdo con Palomino et al. (2016) mencionado por (Meléndez et al., 2021) indica que la calibración del modelo TETIS se realiza mediante factores correctivos vinculados al proceso de creación de la escorrentía, empleando técnicas de calibración manual y automática. En la aplicación de este modelo, se emplearon datos sobre precipitación, temperatura, caudal, mapas geomorfológicos, parámetros hidrológicos y cobertura de vegetación, así como un estudio de sensibilidad de estos parámetros antes de avanzar con la calibración.

2.4.9. Calibración y validación:

La calibración y validación del modelo, generalmente basándose en datos de escorrentía observados, facilitan la valoración de la exactitud de la simulación.



La simulación del modelo TETIS a nivel diurno se ve afectada por la lluvia y otros elementos del entorno. El modelo representa la relación entre la precipitación y los procesos hidrológicos fundamentales de la cuenca, y la sensibilidad del modelo a la precipitación se manifiesta en la manera en que la simulación reacciona a diversos patrones de precipitación. La calibración y validación del modelo, basándose en datos de escorrentía registrados, contribuyen a valorar la exactitud de la simulación y la adaptabilidad del modelo a diversos contextos de precipitación (Meléndez et al., 2021).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

La cuenca del río Ilave (CRI), está ubicada al sur del Perú en el Departamento de Puno. Se encuentra en la Región Hidrográfica del Titicaca conjuntamente con el Lago Poopó y el Salar de Coipasa, jerarquizada en el nivel 2 con código de 016 de la región hidrográfica 0.

La CRI se ubica geográficamente entre los meridianos $70^{\circ} 22'$ y $69^{\circ} 27'$ de longitud oeste y los paralelos $15^{\circ} 50'$ y $17^{\circ} 08'$ de latitud sur, los niveles varían de 3825 a 5800 m.s.n.m. cubriendo un área de $7,832.53 \text{ Km.}^2$

La Cuenca del río Ilave presenta un clima variable en función a las estaciones astronómicas, una estación húmeda de Diciembre a Marzo, otra estación seca de mayo a Agosto y dos periodos de transición Abril y Septiembre a Noviembre; varía así desde lluvioso a frígido en áreas de nevados su temperatura media anual varían desde los 19°C hasta niveles inferiores a los 0°C .

En lo que respecta al modelo de elevación digital se representa visualmente la forma del terreno utilizando una variedad de fuente de datos, valores como la altura y posición que conforman un espacio geográfico y esto puede ser origen natural o antropométrico.

La topografía del área de estudio es diversa, muestra una superficie casi homogénea casi planicie con una inclinación media de 0.5 por mil; por lo que el terreno

muestra ligeras ondulaciones artificiales causadas por las labores agrícolas, predominando lechos arcillosos arenosos en ambas orillas del río (ANA, 2009).

3.1.1. Precipitación

Se recopilaron y analizaron los datos históricos de las precipitaciones a escala temporal diaria de 7 estaciones ubicadas en la cuenca del río Ilave; durante el periodo de 2000 a 2019 siendo así un periodo de 20 años; de igual modo para el control de calidad de homogenización y llenado de datos faltantes se utilizó el método Cutoff (Feng et al., 2014).

Figura 4

Ubicación hidrográfica de la Cuenca del río Ilave



Nota: Delimitación de la cuenca del río Ilave.



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población se refiere a la región hidrográfica del río Ilave, donde se trabajó con los siguiente donde comprende los distritos de (Capazo, Mazocruz, Pizacoma, Desaguadero, Juli, Ilave, Puno) del departamento de Puno.

3.2.2. Muestra

No se recurrió a la metodología de muestreo, sino a la recolección de datos, ya que la muestra se ajustó a la población en su conjunto, en este caso la unidad hidrográfica del río Ilave, que comprende los distritos de (Capazo, Mazocruz, Pizacoma, Desaguadero, Juli, Ilave, Puno) del departamento de Puno.

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método que se emplea en esta investigación es cuantitativa el cuál fue el que englobó un conjunto de principios, normas y reglas para el análisis y resolución de la modelación de la investigación, los cuales son institucionalizados por la conocida comunidad científica (Armas et al., 2016).

3.3.1. Tipo y enfoque de investigación

La presente investigación es de tipo relacional, ya que busca generar conocimiento útil para la gestión de los recursos hídricos mediante la simulación de procesos hidrológicos en una cuenca altoandina. El enfoque es cuantitativo, dado que se utilizan datos numéricos (precipitaciones, caudales, parámetros del modelo) y se aplican herramientas estadísticas y de simulación para evaluar la relación entre variables hidrológicas (Del Cid et al., 2011).



3.3.2. Nivel de investigación

El grado de estudio fue relacional, ya que se detalló la variable en estudio, sus dimensiones e indicadores y se estableció la causa (Sampieri et al. 2014).

Se busca determinar la relación entre la simulación y la sensibilidad del modelo TETIS con base en datos de precipitación diaria, y además explicar cómo la variación de parámetros influye en la respuesta hidrológica de la cuenca (Sampieri et al. 2014).

3.3.3. Diseño de la investigación

La metodología de estudio fue no experimental, lo que significa que no se modificó deliberadamente la variable en estudio (Sampieri et al. 2014).

3.4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se recolecta información de forma genérica para ambos casos; se tomó datos de precipitación del SENAMHI que nos brinda en su página de portal web; estos datos de las precipitaciones se han obtenido para las 7 estaciones y los datos faltantes se ha completado por la técnica de Cutoff.

Del mismo modo, para el dato de los caudales se ha obtenido del SENAMHI solo para las 7 estaciones (Capazo, Mazocruz, Pizacoma, Desaguadero, Juli, Ilave, Puno); esto tras la completación de datos ya realizados por la técnica del Cutoff.

3.4.1. Informaciones hidrometeorológicas

La información hidrometeorológica considerada como parte del estudio, fue data histórica con registros de precipitaciones acumuladas diarias, desde 01 enero del 2000 al 31 de diciembre del 2019 de las 7 estaciones (Capazo, Mazocruz,



Pizacoma, Desaguadero, Juli, Ilave, Puno) como se observa en la Tabla 1 y Figura 5. Del mismo modo se realizó el análisis de los datos obtenidos de las estaciones. Por lo que los datos faltantes, se procedió a completar por el método Cutoff que se utilizó para la validación cruzada de los parámetros (Feng et al., 2014).

Tabla 1

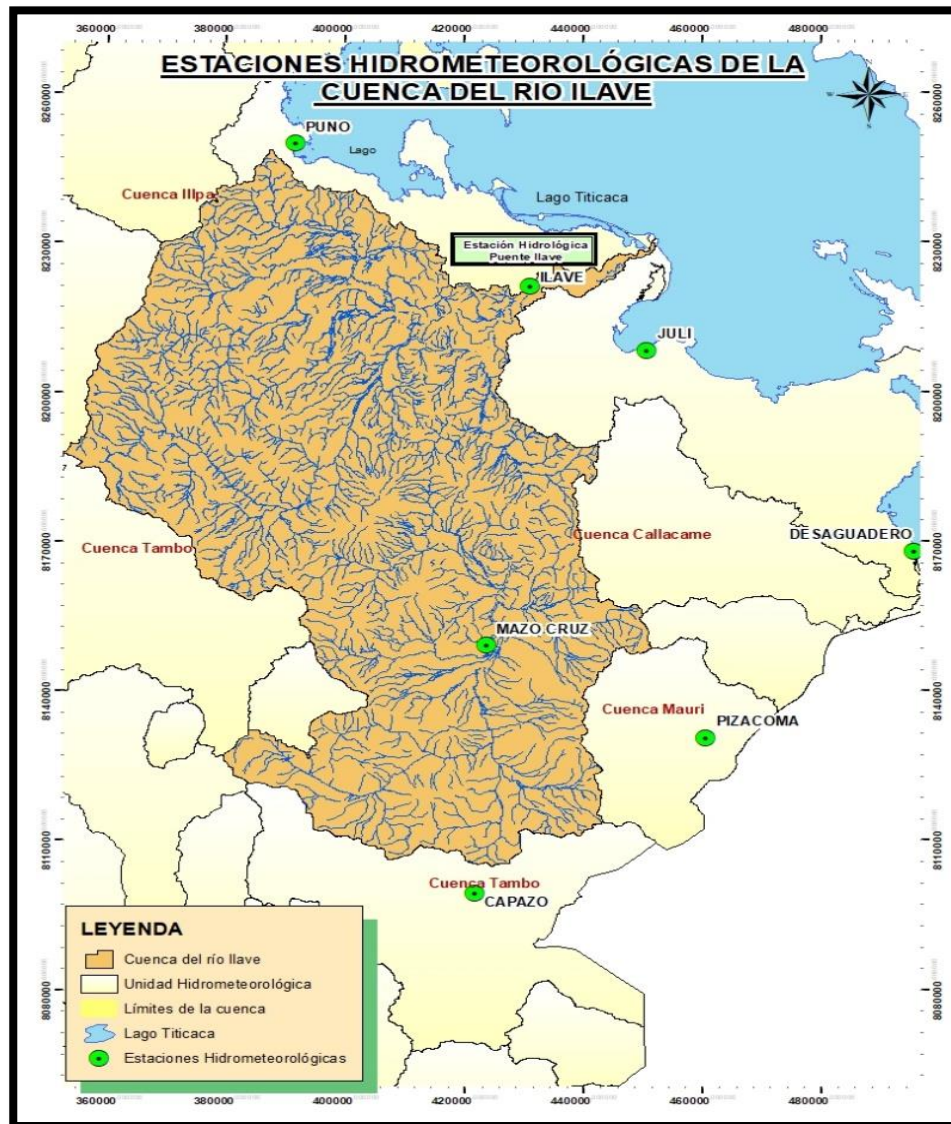
Estaciones hidrometeorológicas

N°	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n. m.)	Estación
1	Capazo	117041	17°10'57.69''	69°44'20.72''	4423	Meteorológica
2	Mazocruz	116026	16°44'20''	69°42'55.6''	3980	Meteorológica
3	Pizacoma	116029	16°54'15.65''	69°22'10.3''	3930	Meteorológica
4	Desaguadero	270001	16°33'49.1''	69°2'12''	3837	Hidrológica
5	Juli	116061	16°12'13.6''	69°27'35.7''	3830	Meteorológica
6	Ilave	210301	16°5'17.68''	69°37'53.95''	3840	Hidrológica
7	Puno	270500	15°50'1''	70°1'1''	3819	Hidrológica

Nota: Ubicación de las estaciones para este estudio.

Figura 5

Estaciones Hidrometeorológicas



Nota: Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas del estudio.

3.4.2. Caudales

Se refiere a la cantidad de agua que fluye a través de un río, arroyo, o cualquier otro cauce natural o artificial en un determinado periodo de tiempo. Este concepto es fundamental en estudios hidrológicos y en la gestión de recursos hídricos, ya que permite evaluar la disponibilidad de agua y su comportamiento en diferentes contextos (Zorrilla, 2024).

Tipos de caudal:

- Caudal superficial: Corresponde al flujo de agua en los ríos y arroyos.
- Caudal subterráneo: Hace referencia al agua que fluye por los acuíferos subterráneos.

Por el cual en esta investigación corresponde al caudal superficial, en donde se recolecta los datos desde el portal web del SENAMHI <https://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-hidrologico> caudales observados en la estación hidrometeorológica en el puente del río Ilave, en la misma ciudad Ilave, como se visualiza en la Tabla 2.

Tabla 2

Estación Hidrológica

N°	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Estación
1	Puente Ilave	210301	1°5'17.68''	69°37'53.95''	3840	Convencional

Nota: Ubicación de la estación hidrométrica.

3.5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La gestión de la información se llevó a cabo a través de matrices de tabulación y diagramas; esto se procesó utilizando los paquetes informáticos que proporciona Microsoft Office, el software TETIS y ArcGIS.

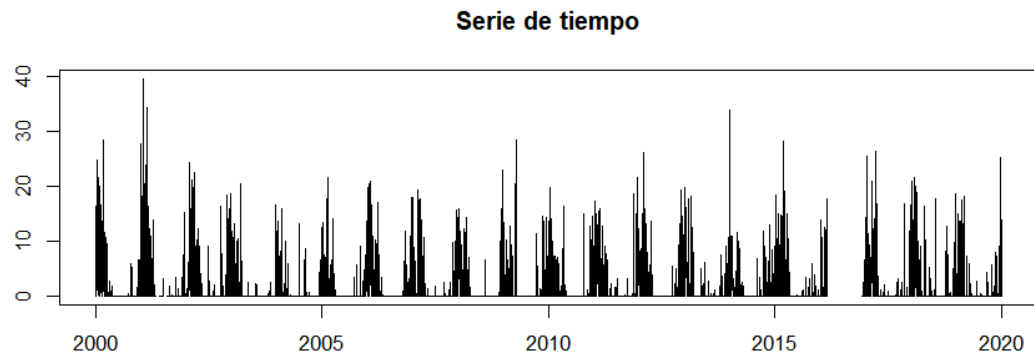
3.5.1. Datos meteorológicos:

Son aquellos datos relacionados con las condiciones atmosféricas en un lugar y momento determinado. Estos datos son esenciales para comprender y predecir los fenómenos climáticos, ya que proporcionan información sobre el

estado de la atmósfera y su comportamiento (SENAMHI, 2024), se visualiza en la Figura 6 el periodo de tiempo de estudio.

Figura 6

Periodo del tiempo de estudio



Nota: Serie de tiempo de estudio 20 años.

En la Figura 6 se muestra una variedad de las precipitaciones a lo largo del tiempo; en este caso durante 20 años.

3.5.2. Control de calidad de datos

El control de calidad de datos es un conjunto de pasos y herramientas que se utilizan para asegurarse de que los datos con los que se trabaja en una investigación, análisis o cualquier toma de decisiones sean correctos, consistentes, completos, confiables y estén al día. Este proceso es fundamental porque los datos erróneos pueden llevar a conclusiones equivocadas o decisiones que no sean las más adecuadas. Por lo tanto, garantizar que los datos sean de alta calidad es clave para que los resultados sean precisos y útiles en cualquier contexto. (Cabanillas, 2020).

- Validación: Verificación de la exactitud y validez de los datos mediante reglas predefinidas.



- Verificación de consistencia: Revisión de la coherencia entre los datos y su lógica interna.
- Detección de errores: Identificación de valores erróneos, fuera de rango o que no siguen el formato esperado.
- Normalización y estandarización: Transformación de datos a un formato uniforme para su análisis.
- Monitoreo: Establecimiento de sistemas de seguimiento para evaluar continuamente la calidad de los datos.

Relleno de datos faltantes con el método CUTOFF

El método cutoff es como poner un límite claro para decidir qué datos son útiles y cuáles no lo son. Imagina que estás organizando una gran cantidad de información, pero sabes que algunos de los datos son tan raros o tan diferentes que podrían hacer que tus resultados no tengan sentido. Así que, estableces un límite, por ejemplo, eliminando los datos que no cumplen con ciertas condiciones. Esto ayuda a que los resultados sean más claros y confiables (Feng et al., 2014).

Al aplicar el cutoff, puedes asegurarte de que solo los datos más relevantes se incluyan en tu análisis, lo que te da una mejor perspectiva de la realidad que estás investigando. Esto es especialmente importante cuando se trata de temas como la salud, la educación o el rendimiento, donde tomar decisiones informadas es crucial para mejorar los resultados o las intervenciones.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{k \in L_{k^*}} \sum_{j \in J_{i^*,k}} X_{(i^*),k}}{\sum_{k \in L_{k^*}} |J_{i^*,k}|}$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{j \in J_{i^*,k^*}} X_{(i^*),k^*}}{|J_{i^*,k^*}|}$$

$$R = \frac{\sum_{k \in L_{k^*}} X_{(i^*),k}}{|L_{k^*}|}$$

Las funciones de kernel proporcionadas, cualquier función de kernel definida por el usuario también puede implementarse en el lenguaje estadístico R y luego pasarse al algoritmo CUTOFF que desarrollamos.

En lugar de asignar pesos iguales a las estaciones en el conjunto de referencia, podemos utilizar una estrategia de ponderación propuesta por Young (1992) y Yozgatligil et al. (2012) para obtener mejores estimaciones. Supongamos que hay h estaciones en el conjunto de referencia L_k de la estación k , sea r_{gk} la correlación entre la estación de referencia g y la estación candidata k y definamos el peso correspondiente para la estación g en L_k (Feng et al., 2014).

$$W_g = \frac{(n-2) \times r_{gk}^2}{1 - r_{gk}^2}, g \in L_{k^*}$$

- El método CUTOFF predeterminado tiene un único parámetro: el valor de corte (r) para la correlación entre estaciones.
- Realizamos una validación cruzada tanto en las filas como en las columnas de la matriz de datos.
- Los valores imputados para las tres estaciones con el mayor número de observaciones faltantes.

3.6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO TETIS

3.6.1. Modelo hidrológico TETIS

Para llevar a cabo el procesamiento de datos del modelo hidrológico TETIS, se necesitan diversos ficheros que contienen datos sobre los parámetros geomorfológicos requeridos para llevar a cabo la propagación de flujo o información sobre las características meteorológicas de la región analizada. Los ficheros de mapas se derivan de datos de mapas previamente procesados con un Sistema de Información Geográfica ArcGIS, mientras que el fichero de entrada se genera a partir de la información suministrada (Calderon & Lemus, 2016).

3.6.2. Datos hidrológicos:

Caudales observados en estacione hidrológica ubicada en el puente de Ilave, ubicadas en la cuenca del río Ilave en la misma ciudad.

3.6.3. Preparación del modelo

- Configuración de la red de drenaje, subcuencas y malla espacial con herramientas ArcGIS.
- Parametrización inicial con base en información fisiográfica y edafológica.

3.6.4. Datos geospaciales:

Curvas de nivel, uso de suelo, tipo de suelo, cobertura vegetal, y mapas de pendientes, necesarios para parametrizar el modelo TETIS.

a) Modelo de elevación digital

DEM (Digital Elevation Model) es una matriz de valores numéricos que representan la altitud del terreno respecto al nivel del mar, en puntos distribuidos regularmente sobre una superficie terrestre. Cada celda del modelo contiene un valor de elevación (Ochoa et al., 2022).

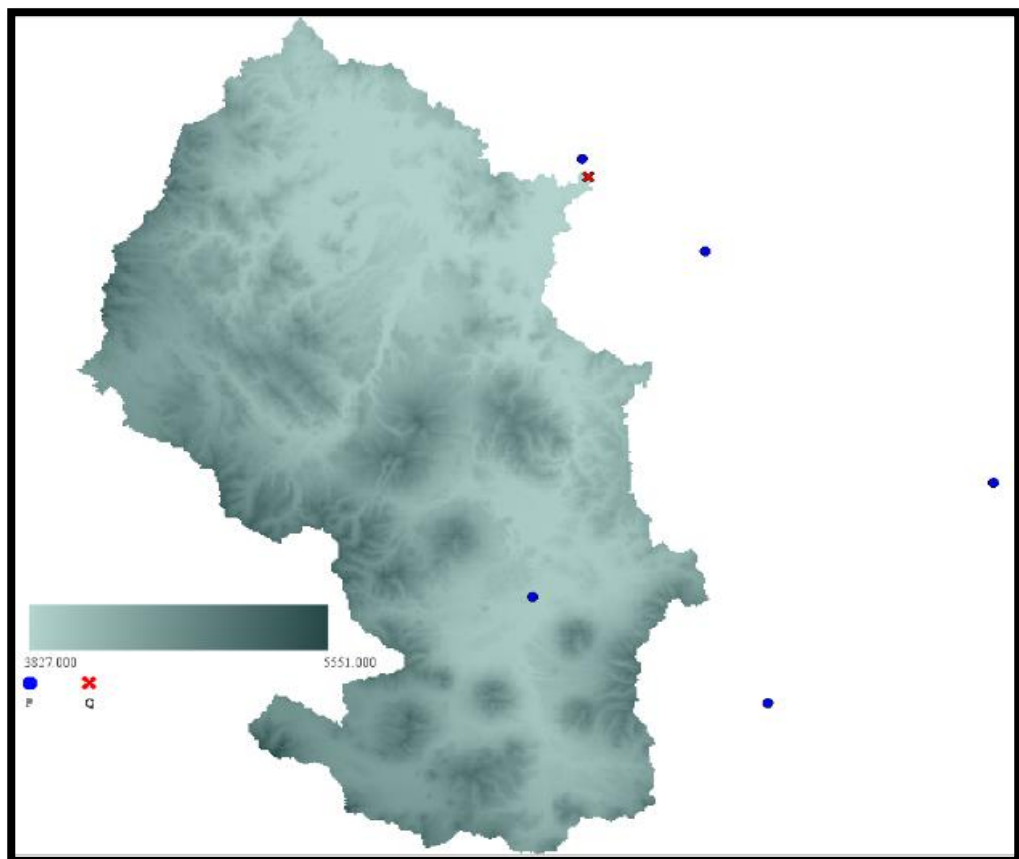
$$Z_{(x,y)} = h$$

Donde:

- $Z_{x,y}$ es el valor de la elevación en las coordenadas x y y de la superficie terrestre.
- x y y son las coordenadas espaciales del punto en la malla.
- h es la elevación de ese punto en metros (u otras unidades de altura), que puede ser calculada en relación con el nivel medio del mar.

Figura 7

Modelo de elevación digital de la cuenca del río Ilave



Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

b) Pendientes

Las pendientes representan la variación altitudinal del terreno en una dirección determinada, siendo un factor determinante para el escurrimiento superficial (Ochoa et al., 2022).

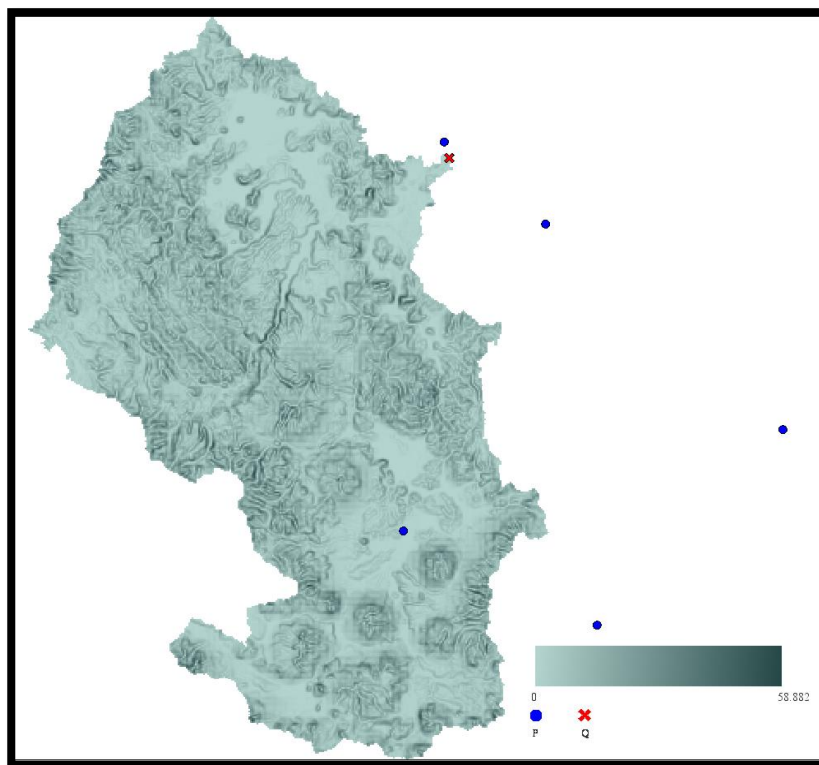
$$S = \frac{\Delta h}{\Delta L} \times 100$$

Donde:

- S =Pendiente de la superficie
- Δh = Cambio de elevación
- ΔL = Distancia horizontal

Figura 8

Pendientes de la cuenca del río Ilave



Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

c) Direcciones de flujo

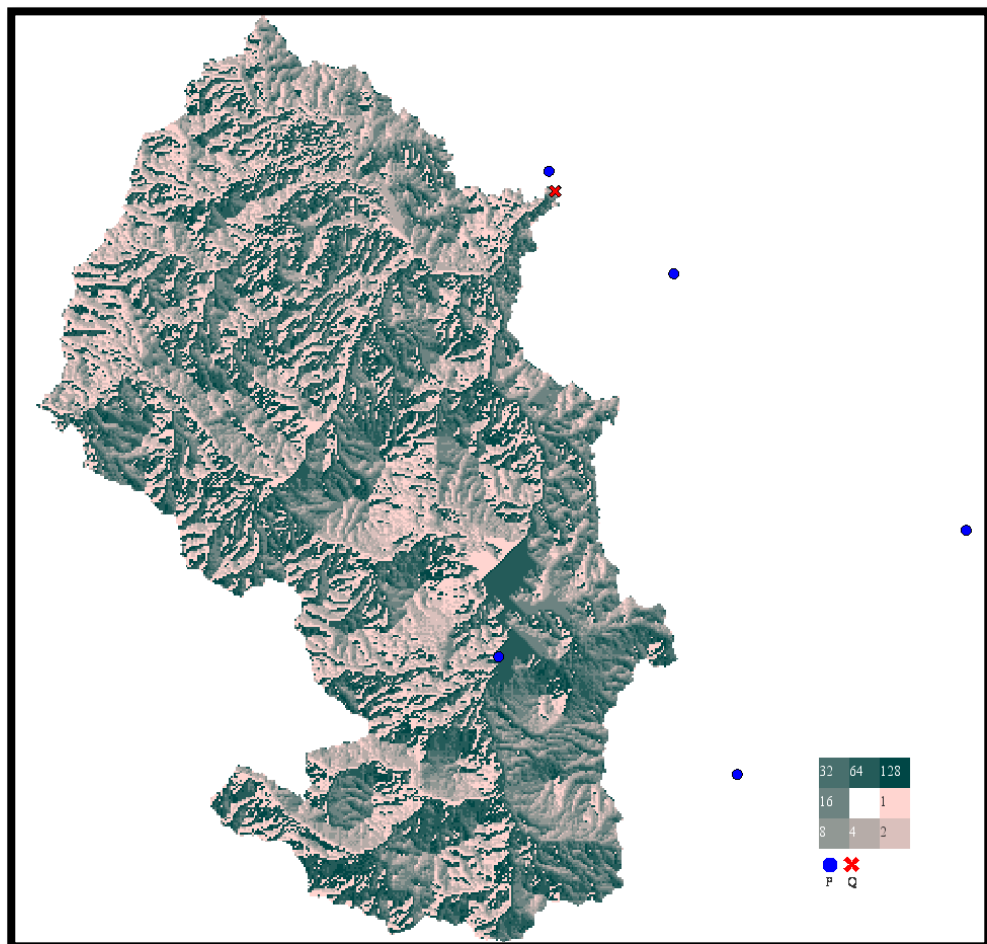
La dirección de flujo indica el camino más empinado por el cual el agua fluye desde una celda hacia otra en el terreno (Meléndez et al., 2021).

$$Pendiente = \frac{Z_{(x,y)} - Z_{(x',y')}}{Distancia\ horizontal}$$

Las direcciones de flujo es crucial para entender cómo el agua se desplaza por la superficie de la tierra.

Figura 9

Direcciones de flujo de la cuenca del río Ilave.



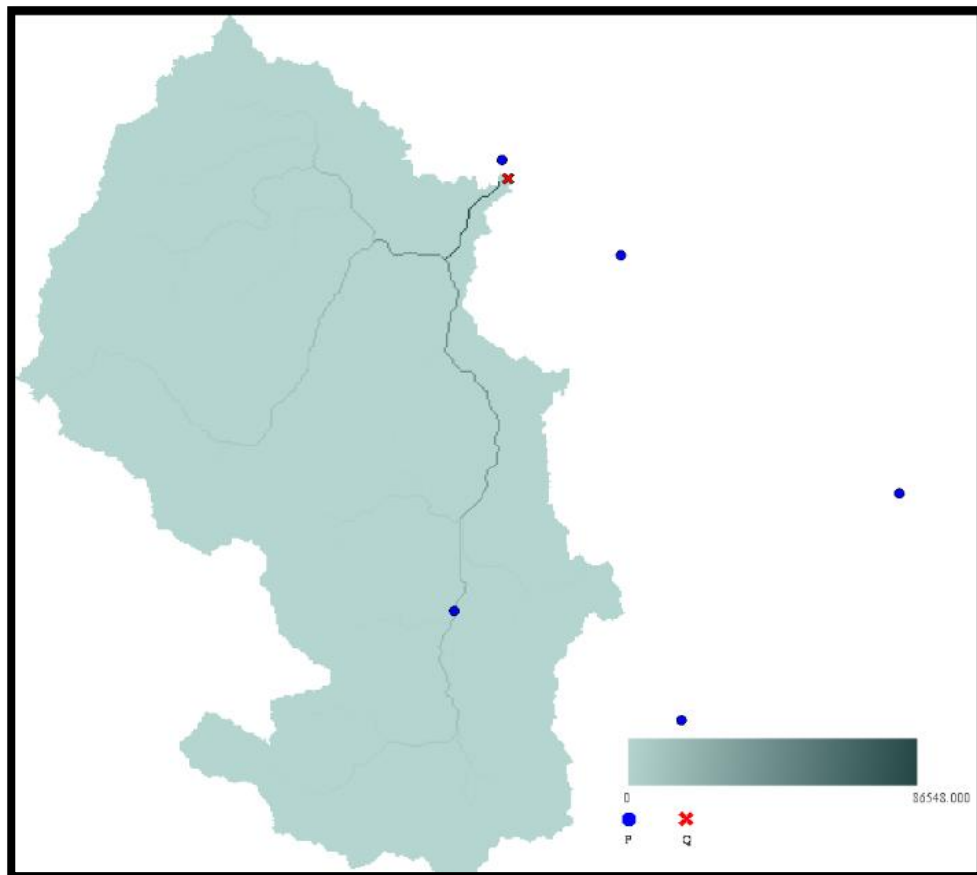
Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

d) Celdas de flujo

Las celdas de flujo, también conocidas como acumulación de flujo, representan el número de celdas aguas arriba que drenan hacia una celda en particular (Meléndez et al., 2021).

Figura 10

Celdas de flujo de la cuenca del río Ilave



Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

e) Almacenamiento estático del suelo

El almacenamiento estático del suelo se refiere a la capacidad del perfil edáfico para retener agua en sus poros sin que esta fluya ni percole inmediatamente (Francés et al., 2012).

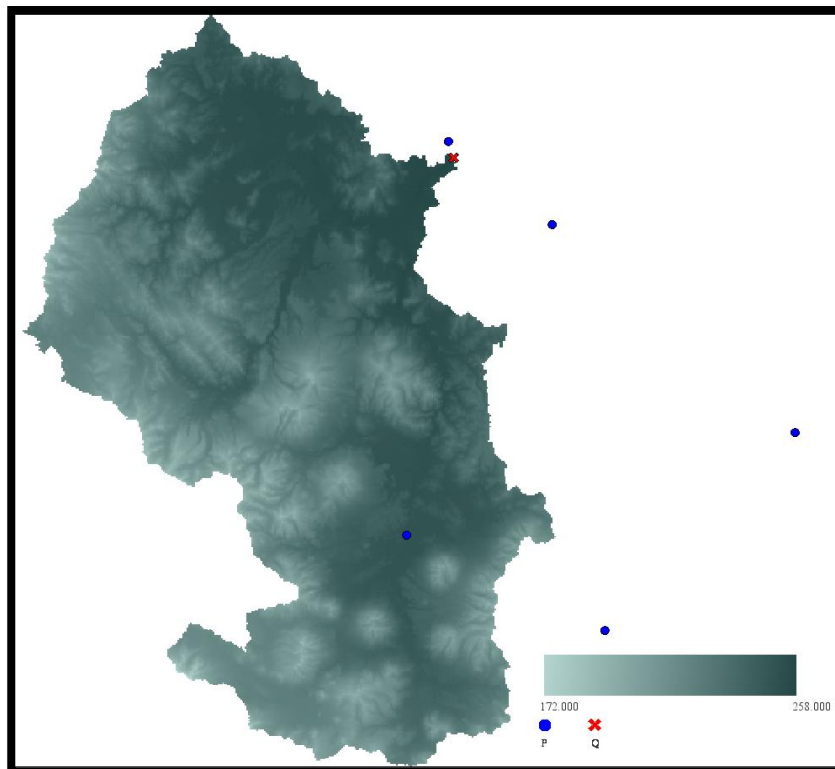
$$D_1 = \min \left\{ (X_6 + Y_0) \cdot \left(1 - \frac{H_1}{H_u \cdot FC_1} \right)^{P_1} ; H_u \cdot FC_1 - H_1 \right\}$$

Donde:

Y0 representa el aporte por fusión de nieve, H1 el contenido de agua del tanque T1, Hu representa la capacidad máxima del tanque T1 y p0 un exponente que determina cuando empieza a haber un excedente X2. Un exponente igual a cero ($p_1=0.0$) significa que para que haya un excedente X2 el tanque estático T1 tiene que haber superado su capacidad máxima. Un exponente superior a 0 significa que habrá un excedente antes de que se supere la capacidad máxima del tanque estático T1 (Francés et al., 2012).

Figura 11

Almacenamiento estático del suelo de la cuenca del río Ilave



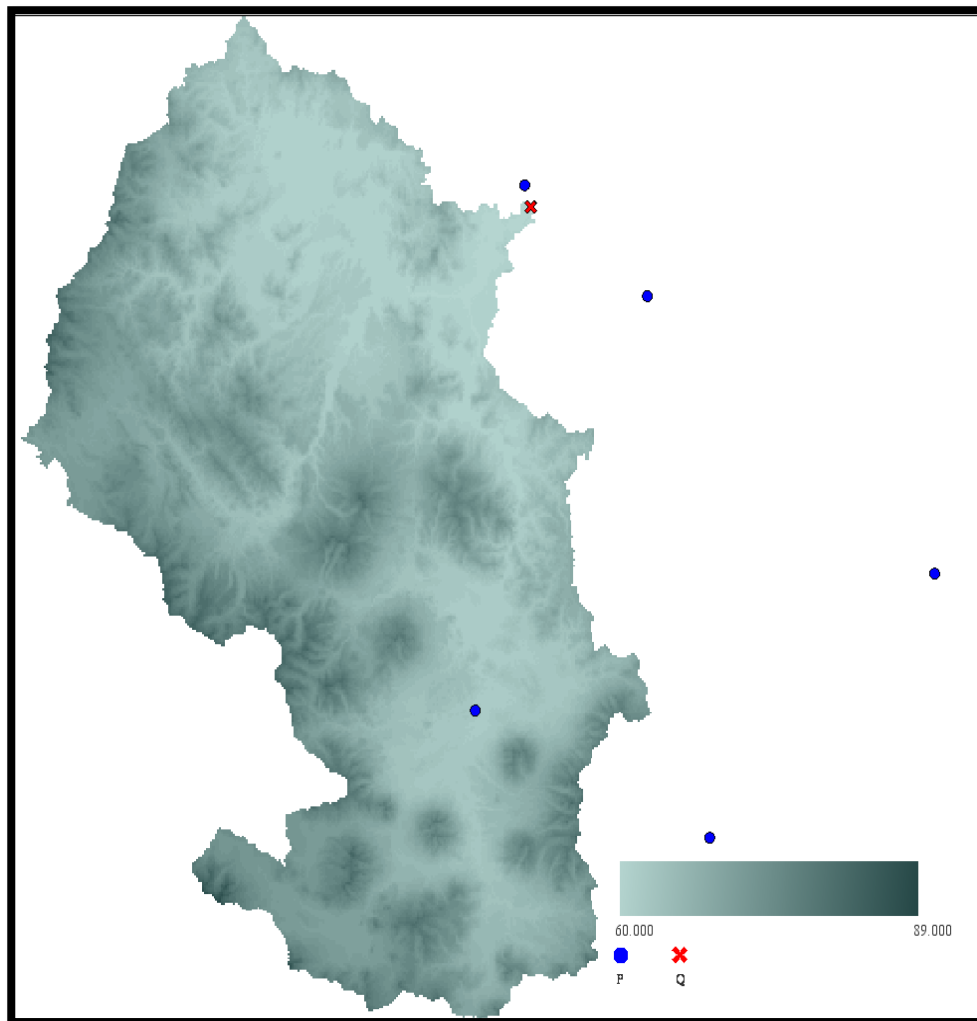
Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

f) Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración corresponde a la tasa máxima a la cual el agua puede ingresar al perfil del suelo desde la superficie, y se expresa comúnmente en milímetros por hora (mm/h) (Francés et al., 2012).

Figura 12

Capacidad de infiltración de la cuenca del río Ilave



Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

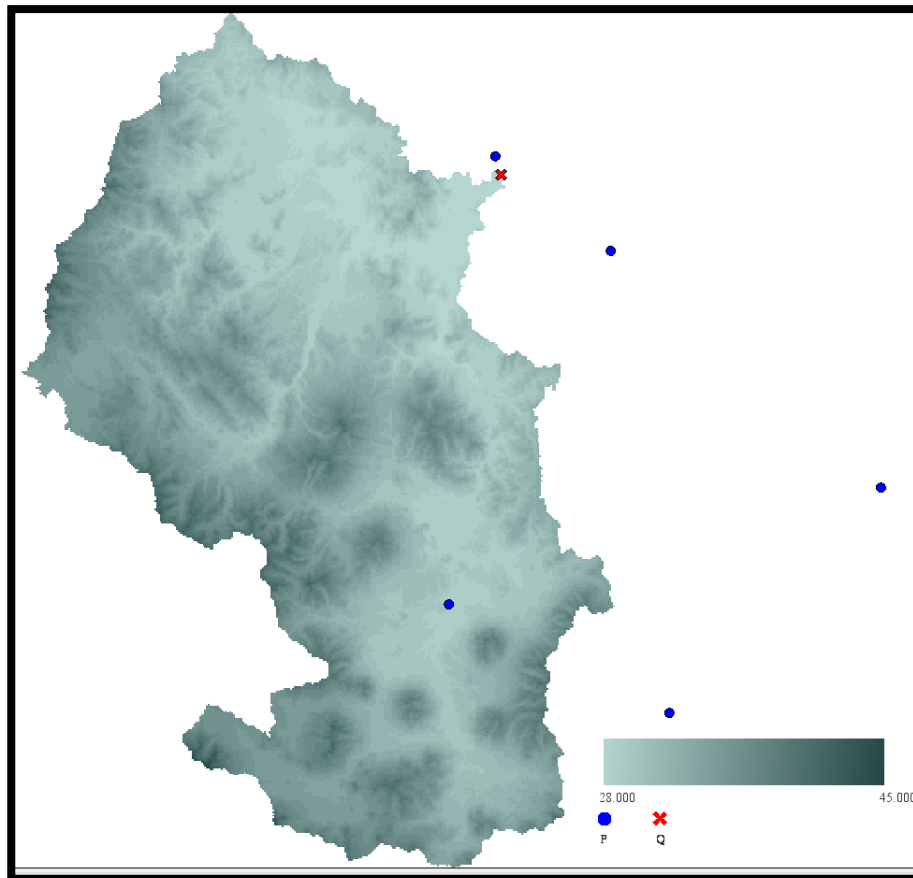
g) Capacidad de percolación

La percolación es el proceso mediante el cual el agua infiltrada continúa su movimiento hacia capas más profundas del suelo, contribuyendo a la recarga de acuíferos (Francés et al., 2012).

$$X_4 = \text{Min}[X_3, \Delta t \cdot k_p \cdot FC_5]$$

Figura 13

Capacidad de percolación de la cuenca



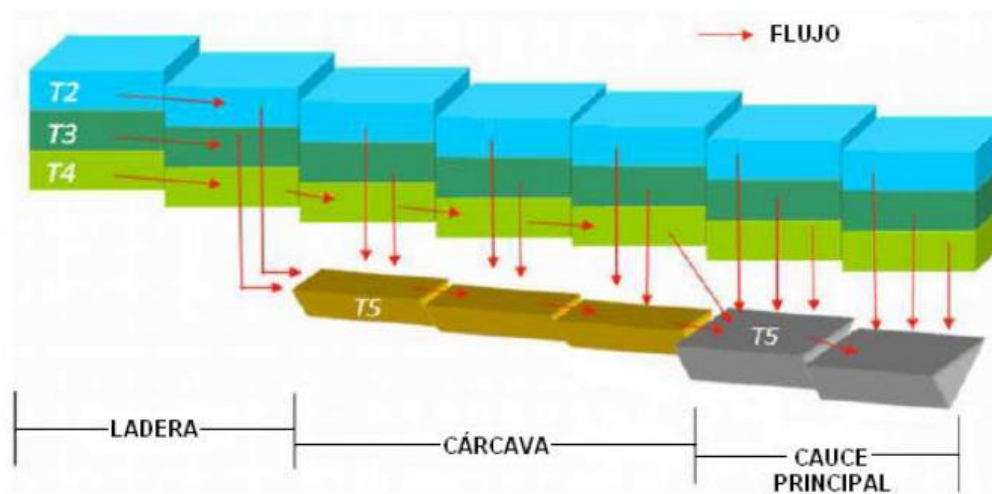
Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

h) Conductividad hidráulica interflujo

Este parámetro representa la facilidad con que el agua se desplaza lateralmente a través de los horizontes superiores del suelo, particularmente cuando se han saturado (Francés et al., 2012).

Figura 14

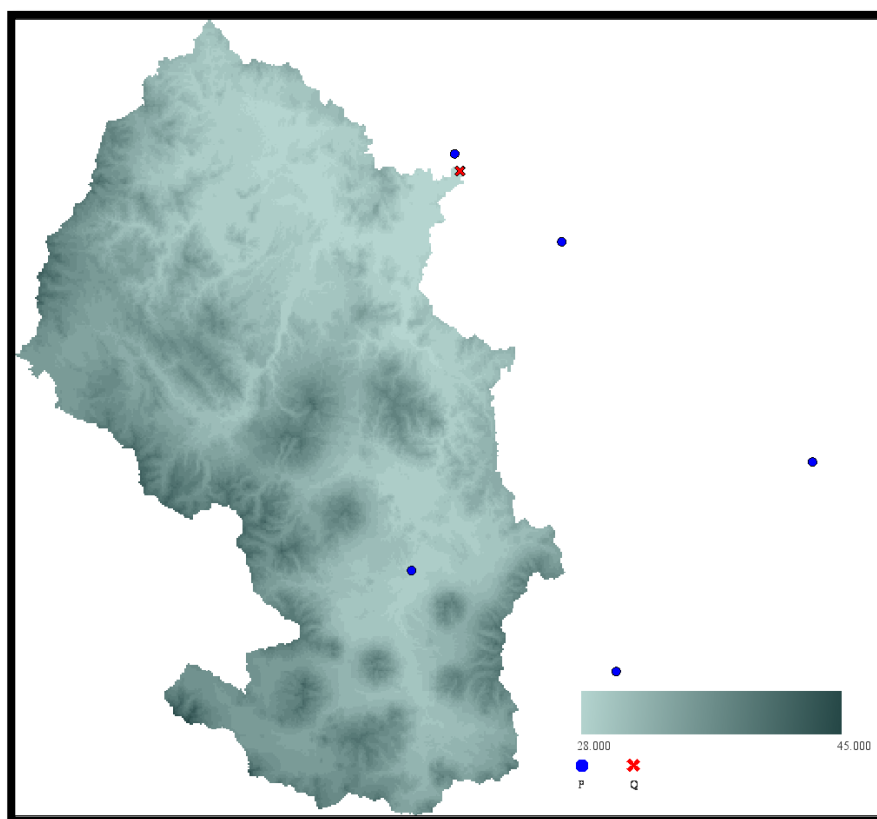
Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS



Fuente: (Francés et al., 2012).

Figura 15

Conductividad hidráulica interflujo de la cuenca del río Ilave



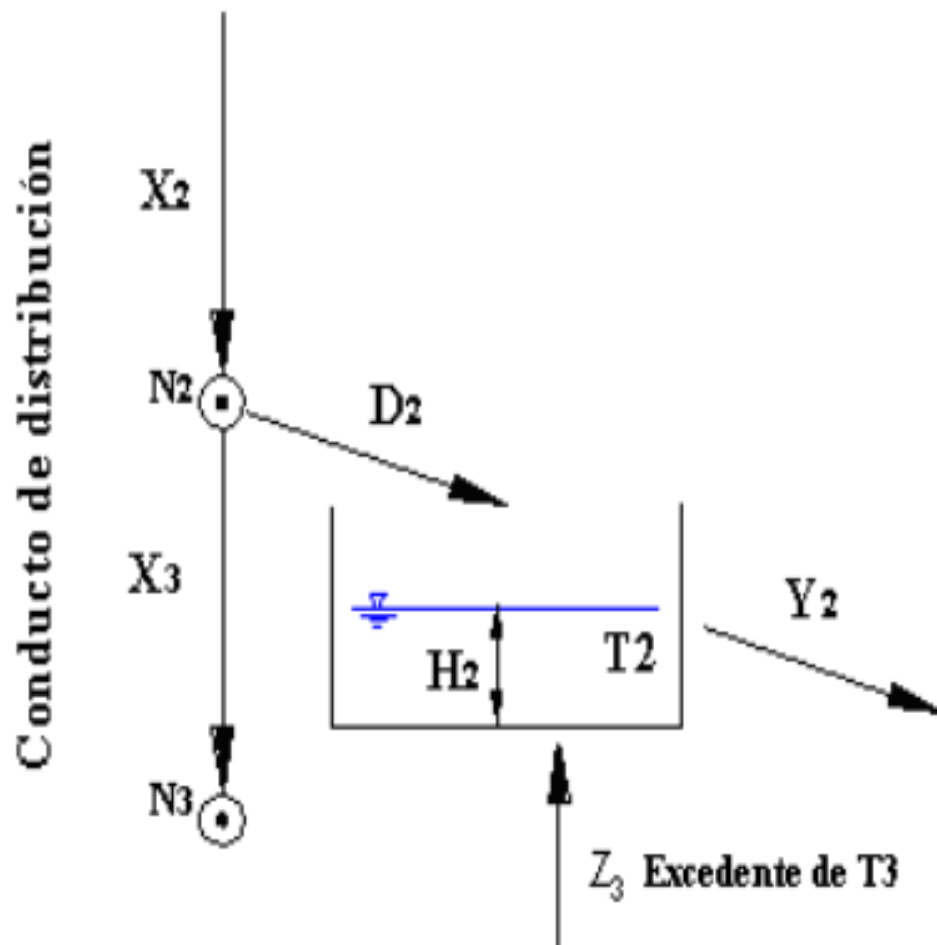
Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

i) Velocidad de ladera

La velocidad de ladera corresponde al ritmo con el cual el agua fluye sobre la superficie de terrenos inclinados (Francés et al., 2012).

Figura 16

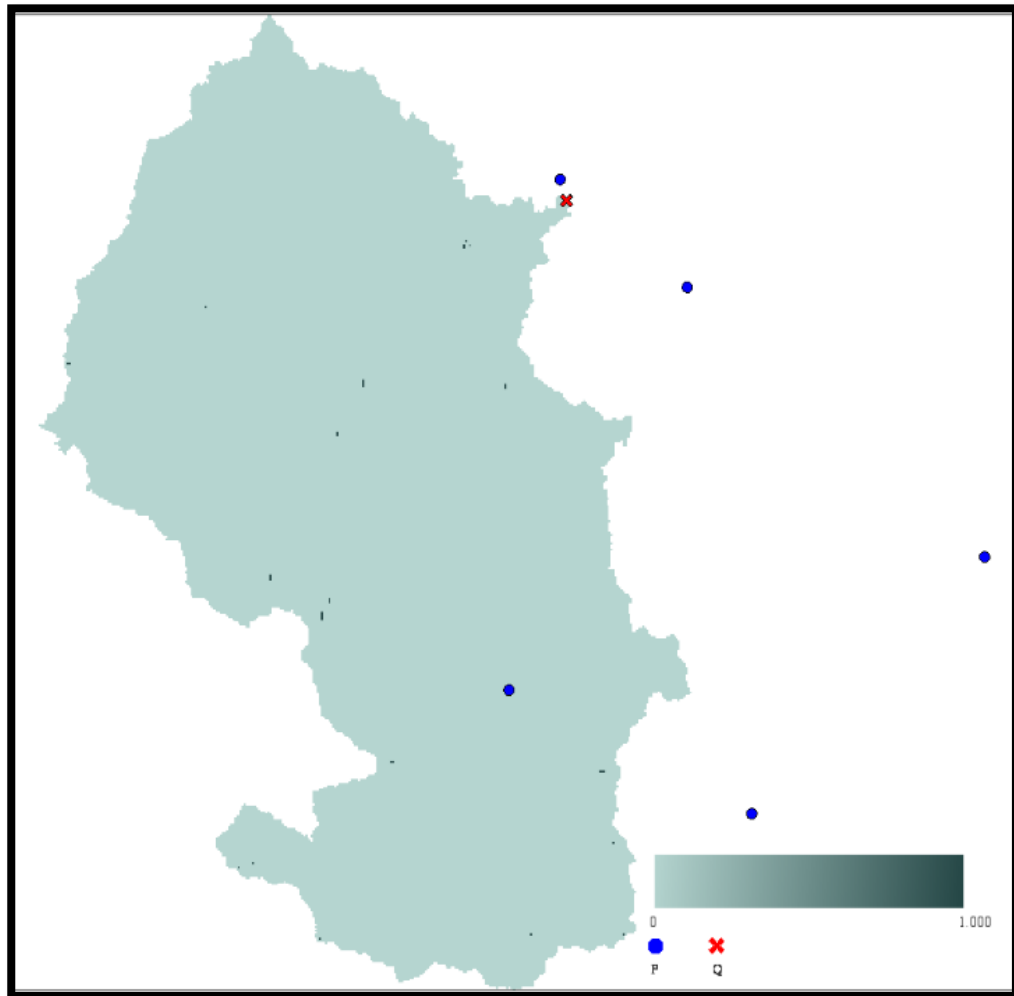
Esquema de almacenamiento de la superficie de la ladera



Fuente: (Francés et al., 2012)

Figura 17

Velocidad de ladera de la cuenca



Nota: Se observa los puntos de color azul son las estaciones utilizadas para este estudio y la x de color rojo es el punto de aforo del caudal (mapa obtenido del software TETIS).

3.7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Es como hacer un experimento para ver cómo pequeños cambios en los parámetros de ese modelo pueden alterar los resultados. Si un parámetro en particular hace que todo cambie mucho cuando varía, eso indica que el modelo es muy sensible a ese factor. Por otro lado, si el modelo sigue dando resultados parecidos a pesar de los cambios, eso muestra que es más robusto o menos sensible a esa variable. Este análisis es fundamental porque ayuda a identificar qué factores realmente importan y cuáles tienen

un menor impacto, lo que permite tomar decisiones más informadas y ajustar los modelos cuando es necesario (Gaceta et al., 2020).

Se aplicó un análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos del modelo (p. ej., conductividad hidráulica, capacidad de almacenamiento, coeficientes de escorrentía) para identificar cuáles influyen más significativamente en la generación de caudal.

3.8. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL MODELO

Se utilizarán las siguientes métricas estadísticas:

3.8.1. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Es una métrica ampliamente utilizada para evaluar la calidad de un modelo de simulación hidrológica (u otros modelos ambientales) en comparación con datos observados propuesta por Nash y Sutcliffe (1970).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2}$$

Donde:

- $Q_{obs,i}$: valor observado en el tiempo i .
- $Q_{sim,i}$: valor simulado por el modelo en el tiempo i .
- \bar{Q}_{obs} : promedio de los valores observados.
- n : número de observaciones

Donde se interpreta de la siguiente manera:

- $NSE = 1$: ajuste perfecto entre modelo y observaciones.

- NSE = 0: el modelo no es mejor que usar la media de los datos observados como predicción.
- NSE < 0: el modelo es peor que una predicción basada en el promedio.

3.8.2. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)

Es una métrica estadística utilizada para medir la diferencia entre los valores predichos por un modelo y los valores observados. Es una de las formas más comunes de evaluar la precisión de un modelo de predicción, especialmente en contextos como la hidrología, meteorología, aprendizaje automático y análisis ambiental (Chai & Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Donde:

- y_i : valor observado (real) en el tiempo i .
- \hat{y}_i : valor predicho por el modelo en el tiempo i .
- n : número total de observaciones

Donde su interpretación es de la siguiente manera:

- La RMSE siempre es no negativa (≥ 0).
- Un valor de RMSE cercano a 0 indica un buen ajuste del modelo.
- Tiene las mismas unidades que las variables evaluadas, lo que la hace fácilmente interpretable.
- Es sensible a los valores atípicos, ya que los errores se elevan al cuadrado.

3.8.3. Coeficiente de Determinación (R^2)

El R^2 indica el grado de ajuste del modelo a los datos observados. Se interpreta como la proporción de la varianza total de los datos observados que es explicada por el modelo. Su valor oscila entre 0 y 1, aunque en modelos mal ajustados puede tomar valores negativos cuando se extiende su definición (Legates & McCabe, 1999).

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{RES}}{SS_{TOT}} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

Donde:

- Y_i : valor observado
- \hat{Y}_i : valor predicho por el modelo
- \bar{Y} : media de los valores observados
- n : número total de observaciones

Donde su interpretación es de la siguiente manera:

Tabla 3

Valores de coeficiente de determinación

Desempeño del modelo	Valor
Despreciable	0 – 0.04
Débil	0.04 – 0.16
Moderado	0.16 – 0.49
Fuerte	0.49 – 0.8
Muy fuerte	0.8 - 1

Fuente: Moriasi et al. (2007).

3.8.4. Error porcentual absoluto (PBIAS)

El PBIAS mide el porcentaje de sobrestimación o subestimación de un modelo con respecto a los valores observados. Indica si, en promedio, el modelo tiende a sobreestimar (valores positivos) o subestimar (valores negativos) los resultados (Moriasi et al., 2007).

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs,i}}$$

Donde:

- $Q_{sim,i}$: valor simulado por el modelo en el tiempo i .
- $Q_{obs,i}$: valor observado en el tiempo i .
- n : número de observaciones.

Donde su interpretación es de la siguiente manera:

- PBIAS = 0: sin sesgo (ideal)
- PBIAS > 0: el modelo subestima (predice por debajo de lo observado)
- PBIAS < 0: el modelo sobrestima (predice por encima de lo observado)

3.8.5. Herramientas y software utilizados

- Modelo hidrológico TETIS
- ArcGIS para análisis geoespacial.
- R para análisis estadístico y validación de resultados.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE LA PRECIPITACIÓN A ESCALA DIARIA PARA LA CUENCA DEL RIO ILAVE

El análisis exploratorio de los datos de precipitación a través de los gráficos de calor, uno utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y otro con el coeficiente de correlación de Spearman, muestra la evaluación de la relación entre las precipitaciones registradas en las diferentes estaciones de la cuenca del río Ilave.

La Figura 18, con la finalidad de validar la coherencia espacial de las precipitaciones utilizadas como entrada para el modelo hidrológico TETIS, se evaluó la correlación de Spearman entre nueve estaciones pluviométricas ubicadas en el río Ilave y zonas aledañas.

La mayor correlación encontrada es entre las estaciones Ilave y Juli, con un valor de 0.785. Esta alta correlación indica una respuesta muy consistente entre ambas estaciones, lo cual sugiere que los eventos de lluvia registrados en Juli reflejan de manera significativa el comportamiento pluviométrico de Ilave. Por tanto, Juli se posiciona como una estación clave para alimentar el modelo hidrológico.

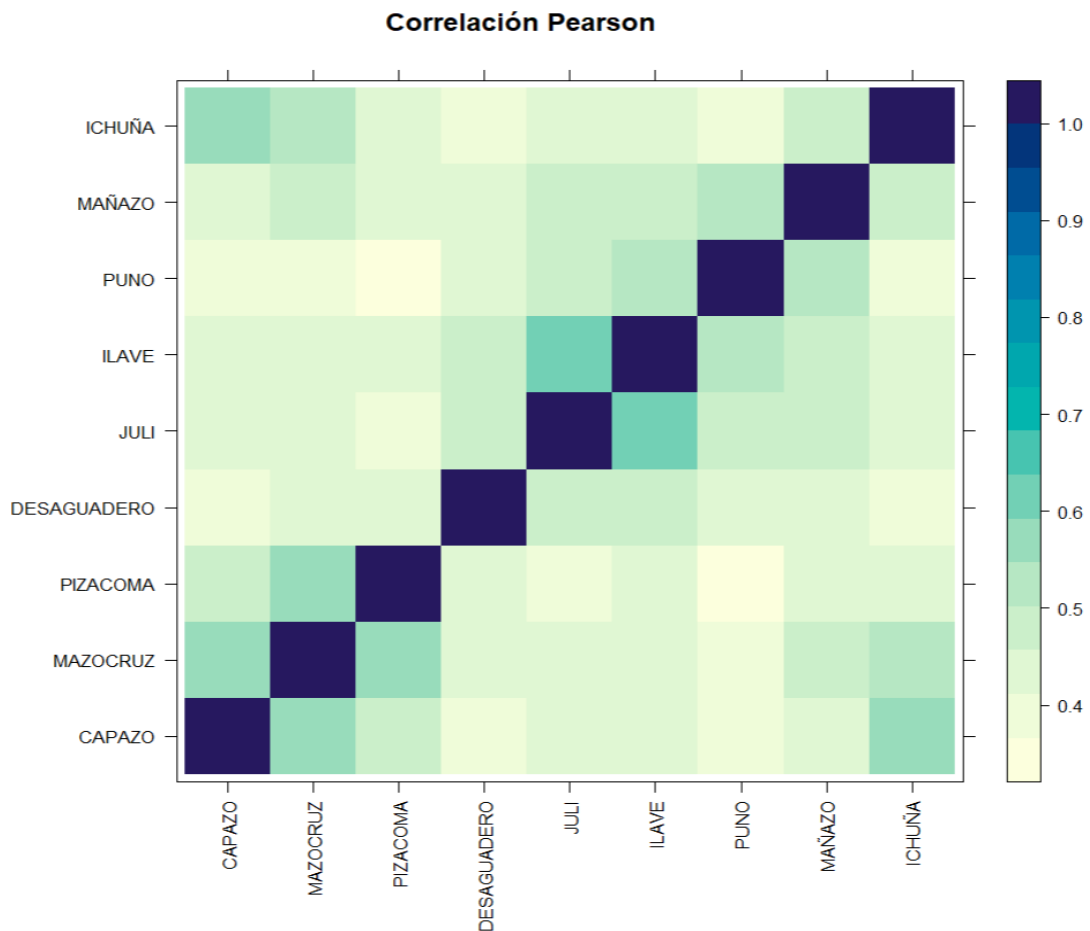
Asimismo, se observa una correlación fuerte entre Ilave y Puno (0.726), así como entre Ilave y Mañazo (0.672). Estos valores permiten considerar con alta confianza que ambas estaciones representan adecuadamente la dinámica de precipitaciones en Ilave, consolidando su valor dentro del análisis espacial de la cuenca.

Las correlaciones entre Ilave y Mazocruz (0.617) y Ilave y Desaguadero (0.642) muestran una relación moderadamente fuerte. Aunque estas estaciones no se ubican en el núcleo central de la cuenca, aportan información útil, especialmente para capturar el comportamiento pluviométrico en los bordes de la cuenca.

Finalmente, las correlaciones más bajas con Ilave corresponden a las estaciones de Ichuña (0.575) y Capazo (0.552). Si bien estos valores son menores, todavía representan una relación monótona moderada, lo cual permite su inclusión en el modelo hidrológico, aunque con menor peso al momento de la calibración donde se aprecia en la Figura 18 y Tabla 4.

Figura 18

Matriz de correlación de Pearson entre estaciones de la cuenca del río Ilave.



Nota: Correlación de Pearson de las estaciones de la cuenca del río Ilave.

4.1.1. Evaluación estadística de las precipitaciones

Para analizar la calidad de la simulación hidrológica obtenida con el modelo TETIS a partir de datos de precipitación diaria, se calcularon los siguientes indicadores de desempeño:

Tabla 4

Evaluación estadística de las precipitaciones

Indicador	Descripción	Resultados
NRMSE	Error cuadrático medio normalizado, mide la precisión relativa del modelo.	0,77
R	Coefficiente de correlación lineal simple.	0,97
R²	Grado de explicación de la varianza del caudal observado por el simulado.	0,95
PBIAS (%)	Porcentaje de sesgo en la simulación, idealmente cercano a cero.	28,5
Nash-Sutcliffe (NSE)	Eficiencia del modelo, muestra el grado de ajuste entre simulación y realidad.	0,219

Nota: Datos obtenidos, elaboración propia software R.

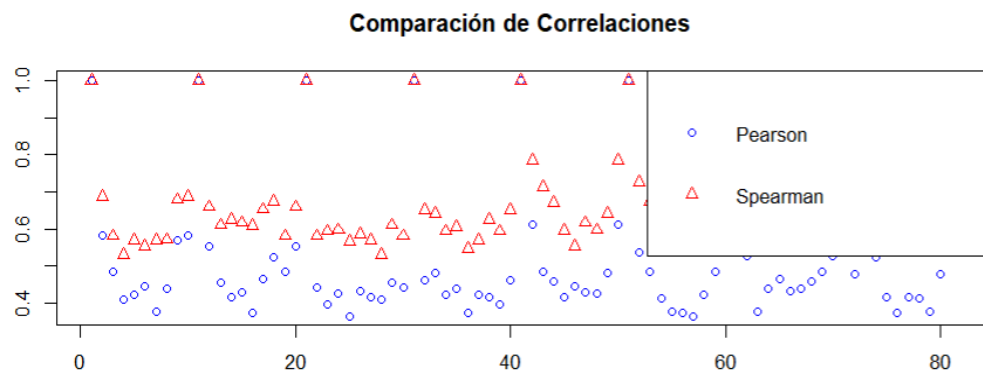
La Tabla 4, indica que aunque el modelo muestra muy buena correlación ($R = 0.97$) y ajuste global ($R^2 \approx 0.95$), el valor de $NSE = 0.219$ sugiere que el modelo no logra capturar adecuadamente los valores extremos o picos, siendo probablemente más preciso en condiciones normales. El PBIAS positivo (28.5%) confirma una tendencia a sobrestimar los caudales simulados, lo que podría deberse a una parametrización aún no del todo ajustada o al tipo de datos de precipitación empleados. El $NRMSE = 0.77$, aunque no excelente, es aceptable

para una escala diaria, sobre todo si se considera la complejidad de una cuenca andina como Ilave.

Finalmente, se muestra el gráfico de calor correspondiente, donde se representan visualmente los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman en la Figura 19.

Figura 19

Comparación de correlaciones



Nota: Comparación de correlaciones Pearson y Spearman.

4.2. RESULTADOS DE LA SENSIBILIDAD PARA LA RESPUESTA HIDROLÓGICA A ESCALA DIARIA PARA LA CUENCA DEL RIO ILAVE

Para evaluar la normalidad de los datos de caudal observados y simulados, se aplicó la prueba estadística de Shapiro-Wilk, la cual permite determinar si una muestra proviene de una población con distribución normal, un supuesto fundamental en muchos métodos estadísticos. Esta prueba establece como hipótesis nula que los datos siguen una distribución normal y busca evidencia para rechazarla.

Los resultados obtenidos mostraron un estadístico W de aproximadamente 0.85 para ambos conjuntos de datos, acompañado de un valor p extremadamente bajo (menor

a 2.2×10^{-6}). Este valor p indica que la probabilidad de que los datos se ajusten a una distribución normal es prácticamente nula, motivo por el cual se rechaza la hipótesis nula con un alto nivel de confianza. En consecuencia, se concluye que tanto los caudales observados como los simulados no presentan una distribución normal.

Este hallazgo es consistente con la naturaleza de las variables hidrológicas, que a menudo exhiben asimetrías, valores extremos y colas pesadas, características que dificultan el cumplimiento del supuesto de normalidad el cual se puede evidenciar en la tabla 5.

Tabla 5

Distribuciones de caudales observados y simulados

Aspecto	Resultado	Interpretación
Estadístico W	0.85077	Indica desviación de la normalidad
Valor p	$< 2.2e-6$	Muy significativo para rechazar H_0
Hipótesis nula	Datos normales	Rechazada
Conclusión	Datos no normales	Se debe considerar métodos no paramétricos o transformación

Nota: Distribuciones de caudales observados y simulados

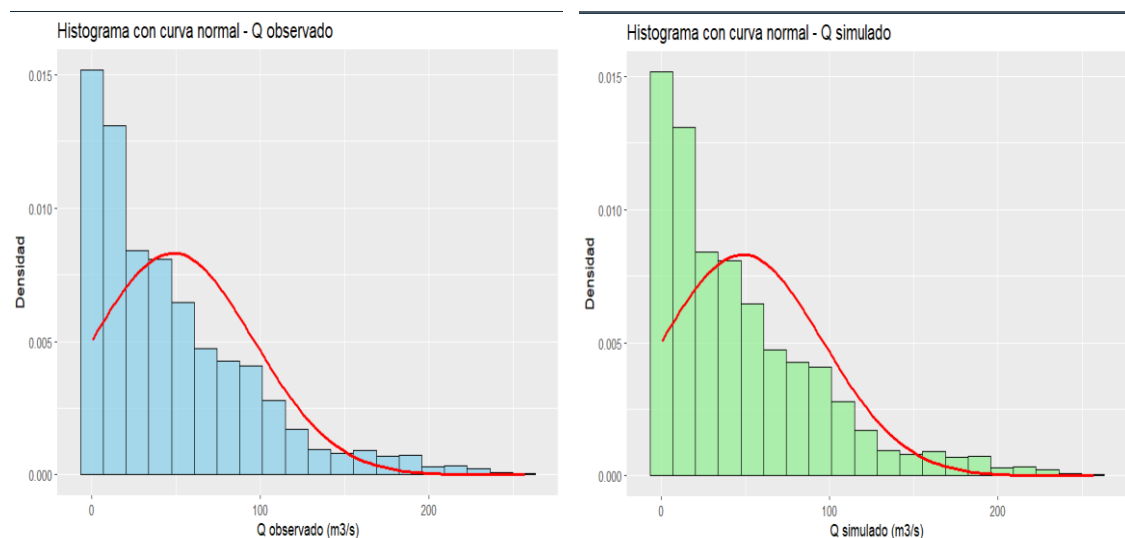
Al observar los histogramas de los caudales, tanto para los datos observados como para los simulados, es evidente que la mayoría de los valores se agrupan en la parte baja del eje horizontal, es decir, cerca de cero. A medida que los valores de caudal aumentan, la frecuencia con la que aparecen disminuye notablemente. Este patrón, donde la mayor parte de los datos se concentra en los valores más bajos y solo unos pocos alcanzan valores altos, es típico en registros hidrológicos y refleja una distribución con asimetría hacia la derecha.

La línea roja en cada gráfico representa cómo se comportaría una distribución normal ajustada a estos datos. Sin embargo, se puede notar que la forma real de los datos difiere bastante de esa curva teórica: mientras que la normalidad implicaría una distribución más equilibrada y simétrica alrededor de la media, aquí la “cola” derecha es mucho más extensa, mostrando que los eventos de caudal alto, aunque poco frecuentes, sí existen y se alejan del comportamiento esperado bajo una distribución normal.

En conclusión, la comparación visual entre los histogramas y la curva normal deja claro que ni los caudales observados ni los simulados siguen una distribución normal. Esta apreciación gráfica está en sintonía con los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, que también indicó una desviación significativa respecto a la normalidad. Por lo tanto, para analizar estos datos de manera adecuada, es preferible aplicar transformaciones o recurrir a métodos estadísticos que no requieran el supuesto de normalidad.

Figura 20

Histogramas de caudales observados y simulados



Nota: Resultados obtenidos por el software R.



Para analizar la calidad de la simulación hidrológica obtenida con el modelo TETIS a partir de datos de precipitación diaria, se calcularon los siguientes indicadores de desempeño:

El (Error medio) $ME = 23.19$ y (Error absoluto medio) $MAE = 34.94$ donde indican que, en promedio, el modelo sobrestima los valores observados en aproximadamente ($23.2 \text{ m}^3/\text{s}$), y que las desviaciones absolutas promedio son elevadas ($34.9 \text{ m}^3/\text{s}$), lo que sugiere una tendencia sistemática a la sobreestimación.

Indica que la (Raíz del error cuadrático medio) $RMSE = 62.46$ y (Error cuadrático medio normalizado) $NRMSE = 172.5\%$ en donde $RMSE$ es muy alto, lo que indica una gran dispersión de los errores. Al normalizarlo ($NRMSE$), se observa un valor superior al 100%, lo que implica que la variabilidad del error es mayor que la de los propios datos observados, lo cual es indicativo de un modelo con escasa precisión.

Donde la (Eficiencia de Nash – Sutcliffe) $NSE = -1.98$, (Eficiencia de Nash – Sutcliffe modificada) $mNSE = -1.15$, (Raíz de eficiencia de Nash – Sutcliffe) $rNSE = -29$ por lo que, estos valores negativos implican que el modelo es menos eficiente que una predicción usando simplemente la media de los datos observados. En otras palabras, el modelo no capta la dinámica hidrológica de la cuenca.

La (Relación del error cuadrático medio con la desviación estándar de las observaciones) $RSR = 1.73$: el valor es mayor a 1, lo cual se traduce en un mal ajuste, pues valores cercanos a 0 indican un modelo con buen ajuste.

Vemos la (Eficiencia de Kling - Gupta) $KGE = -0.81$: también negativo, refuerza la conclusión de que el modelo no logra representar adecuadamente el balance entre correlación, variabilidad y sesgo.



Donde la (Eficiencia volumétrica) $VE = -1.24$: negativa, confirma un déficit en la eficiencia volumétrica del modelo, es decir, la cantidad total simulada difiere significativamente del volumen observado.

El (sesgo porcentual) $PBIAS = 148.9\%$: indica una sobreestimación extrema por parte del modelo. Idealmente, este valor debe estar cerca de 0, y valores mayores al $\pm 25\%$ se consideran inaceptables.

Por lo que el (coeficiente de correlación) $r = 0.01$ y (Coeficiente de determinación) $R^2 = -1.98$: casi nula correlación entre valores observados y simulados. Un R^2 negativo no tiene sentido físico en regresión lineal (generalmente se restringe entre 0 y 1), lo cual indica probablemente una desviación severa o malformación del modelo.

También (R^2 Ajustado por sesgo) $bR^2 = -0.8$: este valor negativo denota una falta total de representatividad estadística del modelo, incluyendo sesgos importantes.

El (Coeficiente de determinación) $d = 0.18$, $md = 0.21$, $rd = -7.41$: los valores de índice de concordancia de Willmott y sus versiones modificadas son muy bajos (idealmente deberían estar cerca de 1). Estos valores sugieren una muy baja capacidad del modelo para reproducir los valores observados en la cuenca.

La (Desviación estándar relativa) $rSD = 1.26$: indica que la desviación estándar de los datos simulados es mayor que la de los observados, lo cual sugiere una variabilidad exagerada por parte del modelo. Los mismos que se puede evidenciar en la Tabla 6 y la Figura 21.

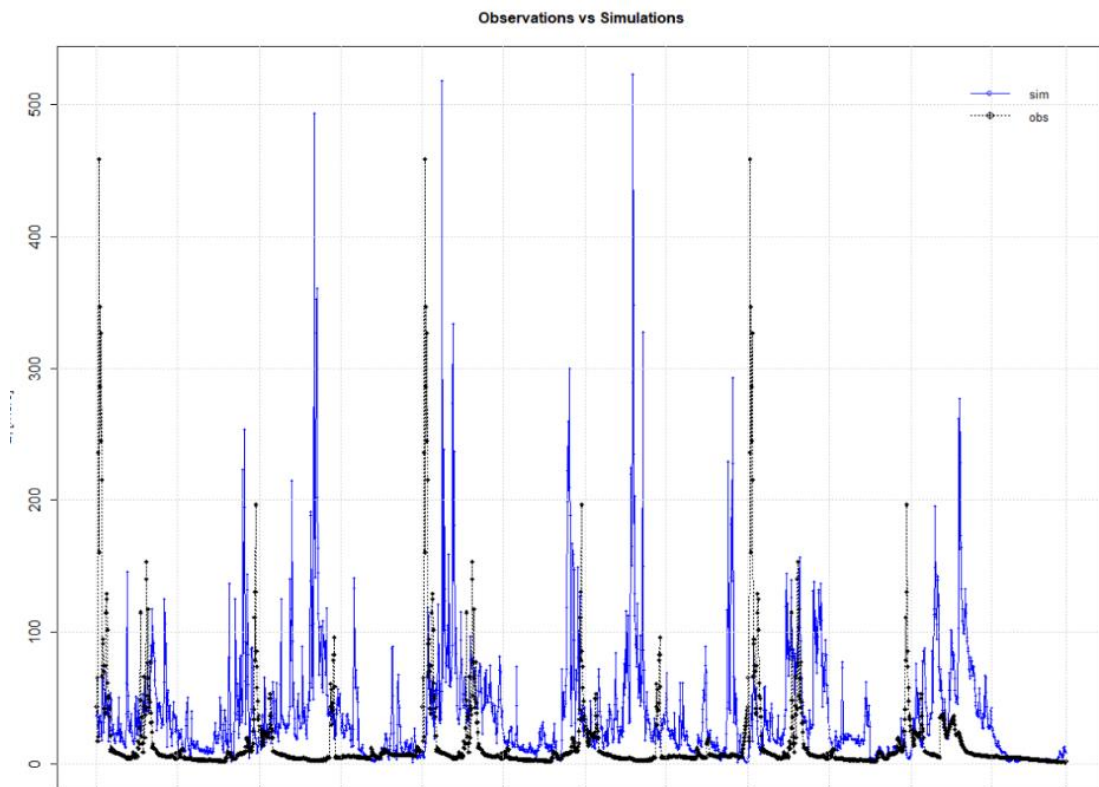
Tabla 6*Evaluación estadística del modelo hidrológico TETIS*

Indicador	Descripción	Resultados
ME	Error medio	23.19
MAE	Error absoluto medio	34.94
RMSE	Raíz del error cuadrático medio	62.46
NRMSE	Error cuadrático medio normalizado	172.5
PBIAS	Sesgo porcentual	148.9
RSR	Relación del error cuadrático medio con la desviación estándar de las observaciones	1.73
Rsd	Desviación estándar relativa	1.26
NSE	Eficiencia de Nash-Sutcliffe	-1.98
Mnse	Eficiencia de Nash-Sutcliffe modificada	-1.15
Rnse	Raíz de la eficiencia de Nash-Sutcliffe	-29.68
D	Coefficiente de determinación	0.18
Md	Desviación media	0.21
Rd	Residuos	-7.41
R	Coefficiente de correlación	0.01
R2	Coefficiente de determinación	-1.98
Br2	R ² Ajustado por Sesgo	-0.8
Kge	Eficiencia de Kling-Gupta	-0.81
VE	VE	-1.24

Nota: Resultados obtenidos por el software R.

Figura 21

Caudales observados y caudales simulados



Nota: Caudales obtenidos por el modelo TETIS.

Los indicadores estadísticos obtenidos reflejan un bajo desempeño del modelo hidrológico a escala diaria en la cuenca del río Ilave. Muchos de los coeficientes estándar comúnmente utilizados en calibraciones, como el Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), el Root Mean Square Error (RMSE), el Percent Bias (PBIAS) y el Kling-Gupta Efficiency (KGE), muestran valores negativos o excesivamente alejados de los umbrales aceptables.

4.2.1. Respuesta hidrológica a escala mensual para la cuenca del río Ilave

Se presentan indicadores estadísticos utilizados para evaluar la calidad de la simulación hidrológica. A continuación se explica cada uno de los indicadores con sus respectivas descripciones y resultados:



NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency): Este indicador evalúa la eficiencia de un modelo hidrológico comparando las predicciones del modelo con los datos observados. Un valor de NSE cercano a 1 indica una excelente predicción, mientras que valores negativos sugieren que el modelo es peor que una simple media de los datos. En este caso, el valor obtenido es -2.17, lo que indica que el modelo presenta un desempeño deficiente.

RMSE (Root Mean Square Error): El error cuadrático medio es una medida de la diferencia entre los valores observados y los predichos. Un valor más bajo de RMSE indica un modelo más preciso. El valor 44.02 es relativamente alto, lo que confirma que el modelo tiene errores considerables en las predicciones.

PBIAS (Percent Bias): Este indicador muestra el sesgo porcentual de las predicciones del modelo. Un valor cercano a 0 sugiere que el modelo no tiene sesgo, mientras que valores positivos o negativos indican sobreestimaciones o subestimaciones, respectivamente. El resultado de 15.16 indica que el modelo tiende a sobrestimar los valores de salida.

R^2 (Coefficient of Determination): Este valor mide qué tan bien las predicciones del modelo se ajustan a los datos observados. Un valor cercano a 1 sugiere un buen ajuste, mientras que valores cercanos a 0 indican un ajuste pobre. El valor de -0.79 refleja que el modelo tiene un ajuste muy bajo, lo que refuerza la idea de que no es adecuado.

KGF (Kling-Gupta Efficiency): Este indicador es una métrica que evalúa la eficiencia de los modelos en términos de magnitudes, distribución y sincronización de los eventos. El valor de -2.17 nuevamente señala que el modelo

presenta un mal desempeño general donde se puede ver todos estos datos en la Tabla 7 y la Figura 22.

Tabla 7

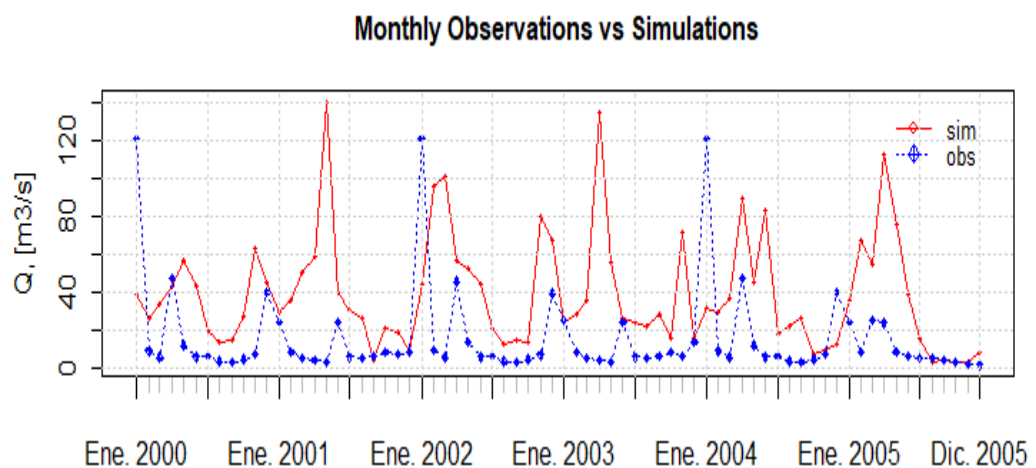
Caudales observados y simulados mensualmente

Indicador	Descripción	Resultados
NSE	Eficiencia de Nash-Sutcliffe	-2.17
KGE	Eficiencia de Kling-Gupta	-0.79
R2	Coefficiente de Determinación	-2.17
RMSE	Raíz del Error Cuadrático Medio	44.02
PBIAS	Sesgo Porcentual	151.6

Nota: Resultados obtenidos por el software R.

Figura 22

Caudales observados y caudales simulados mensualmente



Nota: Resultado de caudales observados y simulados obtenidos por el software TETIS.

Los números reflejan que el modelo tiene varias limitaciones y no es muy preciso. Los valores negativos en el NSE y en el R^2 , así como el error alto en el RMSE, indican que las predicciones hechas por el modelo están bastante alejadas

de los datos reales observados. Además, el sesgo positivo en el PBIAS sugiere que el modelo tiende a sobrestimar ciertos resultados.

4.3. DISCUSIÓN A LOS RESULTADOS

En esta investigación, se utilizó el modelo TETIS para la modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave, con el objetivo de analizar la relación entre la simulación y la sensibilidad del modelo utilizando datos de precipitación diaria. El análisis exploratorio de los datos de precipitación reveló correlaciones fuertes entre las estaciones, especialmente entre Juli e Ilave ($r = 0.785$), lo que permitió seleccionar datos confiables para el modelo. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Zubieta et al. (2018), quienes también destacaron la importancia de las mediciones pluviométricas en la simulación de caudales en la cuenca del río Ilave, obteniendo un rendimiento de 0.95 al usar datos observacionales de precipitación. Además, el análisis de la correlación entre estaciones, como Ilave y Puno (0.726), refleja una dinámica espacial significativa que refuerza la importancia de considerar varias estaciones para representar adecuadamente la variabilidad pluviométrica.

Sin embargo, a pesar de una correlación global aceptable ($R = 0.97$, $R^2 = 0.95$), los indicadores de desempeño del modelo TETIS, como NSE (0.219), PBIAS (28.5%) y NRMSE (0.77), indicaron una sobreestimación de los caudales simulados, especialmente en eventos extremos. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Zavala (2025), que reportaron una simulación aceptable de caudales diarios con el modelo TETIS, pero también señalaron un desempeño imperfecto en la calibración en la cuenca del río Zarumilla, Tumbes. Además, la sensibilidad del modelo mostró deficiencias importantes, como lo evidencian los valores negativos de NSE (-1.98) y KGE (-0.81), sugiriendo que el modelo no capta adecuadamente la dinámica hidrológica de la cuenca.



Este comportamiento es similar al observado por Tapia (2016), quien encontró un buen desempeño en la calibración ($NSE = 0.81$) pero destacó la necesidad de ajustes en la modelación para mejorar la simulación en condiciones extremas. Así, los hallazgos de esta investigación reafirman la necesidad de realizar ajustes en la calibración del modelo TETIS, con un enfoque especial en la adaptación de los parámetros a las características específicas de la cuenca del río Ilave y las condiciones de cambio climático, tal como sugieren estudios previos como el de Orozco et al. (2022) y Ticona (2016).



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el modelo hidrológico TETIS, al simular la respuesta hidrológica de la cuenca del río Ilave con datos de precipitación a escala diaria, presenta importantes limitaciones en términos de precisión y ajuste. A pesar de una alta correlación entre algunas estaciones pluviométricas, los indicadores estadísticos revelan que el modelo tiende a sobrestimar los caudales, con valores negativos en coeficientes clave como el NSE, R^2 y KGE. Estos hallazgos indican que el modelo no es adecuado para capturar la dinámica hidrológica de la cuenca en su totalidad.

SEGUNDA: La sensibilidad del modelo frente a la variación de parámetros y su impacto en la respuesta hidrológica, los resultados obtenidos evidencian una sobreestimación significativa en la simulación de caudales, con valores negativos en indicadores clave como el NSE (-1.98) y un PBIAS del 148.9%, lo que sugiere que el modelo no es capaz de reflejar fielmente las dinámicas de la cuenca en su totalidad. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de realizar ajustes en los parámetros de calibración del modelo, para mejorar su capacidad predictiva y adaptarlo mejor a las condiciones específicas de la cuenca del río Ilave.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Para mejorar la simulación hidrológica de la cuenca del río Ilave, se recomienda recalibrar el modelo TETIS, ajustando los parámetros que han mostrado ser inconsistentes, especialmente en eventos extremos. Es crucial usar un conjunto de datos más extenso y representativo para mejorar la precisión de las simulaciones, considerando las características particulares de las cuencas altoandinas.

SEGUNDA: Se sugiere implementar técnicas de modelado más sofisticadas, como el uso de modelos híbridos o de múltiples escalas, para capturar con mayor precisión la dinámica hidrológica en condiciones extremas y mejorar la capacidad de respuesta ante variaciones en las precipitaciones diarias.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alruhaymi, A. Z., & Kim, C. J. (2021). Study on the Missing Data Mechanisms and Imputation Methods. *Open Journal of Statistics*, 11(04), 477–492. <https://doi.org/10.4236/ojs.2021.114030>
- ANA. (2009). *Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del rio Ilave. II*, 198. <https://sinia.minam.gob.pe>
- ANA. (2021). AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. *Codigo De Conducta Eitica De Los Servidores Publicos*, 2, 32–57.
- Anjum, M. N., Irfan, M., Waseem, M., Leta, M. K., Niazi, U. M., Rahman, S. U., Ghanim, A., Mukhtar, M. A., & Nadeem, M. U. (2022). Assessment of PERSIANN-CCS, PERSIANN-CDR, SM2RAIN-ASCAT, and CHIRPS-2.0 Rainfall Products over a Semi-Arid Subtropical Climatic Region. *Water (Switzerland)*, 14(2), 0–21. <https://doi.org/10.3390/w14020147>
- Armas Costa, R. J., Macias M., D., & Bernal B, R. A. (2016). The theory of the conjuntos T applied to the development of the competition of mathematical modeling. *Revista ...*, 24, 133–143. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.24.a14>
- Autoridad Nacional del Agua de Perú. (2019). Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica. *Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos de Perú*, 377. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4713>
- Beneyto, C., Aranda, J. A., Benito, G., & Francés, F. (2019). Metodología basada en generadores meteorológicos para la estimación de avenidas extremas. *Ingeniería Del Agua*, 23(4), 259. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.12153>
- Cabanillas Barbacil, D. (2020). *Calidad de datos*.
- Calderon, D., & Lemus, L. (2016). Guía metodológica para el reprocesamiento de datos y la ejecución del modelo hidrológico TETIS. *Universidad Santo Tomas*, 1–33. <http://www.ust.cl/>
- Cárdenas Tuncar, J. F. (2020). Modelo hidrológico distribuido Tetis para la



- determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río yacus, Jauja - Junín. *Repositorio Institucional - UPLA*, 1–160. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/135>
- Castillo Salgado, F. (2023). *Evaluación de la Incertidumbre de la Precipitación en un Modelo de Simulación Hidrológica y su Aplicación a la Cuenca del Rio Combeima, Municipio de Ibagué- Departamento del Tolima*.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., Mays, L. W., & Ven Te Chow, David R. Maidment, L. W. M. (1988). *Applied Hydrology*. http://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf
- Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2011). Investigación fundamentos y metodología. In *Prentice Hall*. <https://josedominguezblog.files.wordpress.com/2015/06/investigacion-fundamentos-y-metodologia.pdf>
- Escamilla, V., Puertes, C., & Francés, F. (2017). Capacidades del modelo hidrológico TETIS. *Jornadas de Ingeniería Del Agua*, 14. http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2017/wp-content/uploads/ponencias/tema_B/b21.pdf
- Feng, L., Nowak, G., O'Neill, T. J., & Welsh, A. H. (2014). CUTOFF: A spatio-temporal imputation method. *Journal of Hydrology*, 519(PD), 3591–3605. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.012>
- Francés García, F., Velez Upegui, J. J., Munera Estrada, J. C., Medici, C., & Real Llandera, J. (2012). Modelo TETIS. Manual de usuario y modelo conceptual. *Universidad Politécnica de Valencia*, 150. http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2014_recursos_cpv/es_def/adjuntos/ANEJO_I.pdf
- Gaceta, R., Jos, K., Rivero, G., Aguilar, L. L., & Rinc, J. C. (2020). *Análisis de*



- sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos*. 21(1), 44–64.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26994.66248>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptisa Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*.
- Hidráulicos, I. N. de R. (2017). *Manual de operaciones*.
- Huaman Aguirre, R. E. (2018). Respuesta hidrológica distribuida mediante precipitación por satélite TRMM en la cuenca río Mantaro. *Repositorio Institucional - UNH*, 167. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1802>
- Jaramillo Robledo, Á. (2005). La Precipitación. In *Clima Andino y Café en Colombia* (p. 196). http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbe.co.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Legates, D. R., & McCabe, G. J. (1999). Evaluating the use of goodness of fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35(1), 233–241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
- Lujano, E., David Sosa, J., Lujano, R., & Lujano, A. (2020). Evaluación del desempeño de Modelos hidrológicos GR4J, HBV y SOCONT para el pronóstico de caudales medios diarios en la cuenca del Río Ramis, Perú. *Aaaaaa*, 27(2), 2020–2189. <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- Meléndez Saldaña, D., Ramos Fernández, L., Velásquez Bejarano, T., & Altamirano Gutiérrez, L. (2021). Simulación con un modelo hidrológico distribuido de tipo conceptual a escala diaria en una cuenca semiárida del río Lurín, Perú. *Idesia (Arica)*, 39(1), 17–26. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292021000100017>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Ochoa Tocachi, B. F., Cuadroz Adriazola, J., Arapa Guzmán, E., Aste Cannock, N.,



- Ochoa Tocachi, E., & Bonnesour, V. (2022). *Guía de modelación hidrológica para la infraestructura natural*. 1–148.
- Orozco, I., Ramírez, A. I., & Francés, F. (2019). Calibración de un modelo lluvia escorrentía combinando la optimización manual y automática para un sistema de alta montaña. *Acta Universitaria*, 29, 1–15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2187>
- Orozco Medina, I., Aguilera Rico, H. A., Martínez Bárcenas, A., & Pineda Capacho, P. A. (2022). Evaluación del impacto de la urbanización y el cambio climático sobre la recarga de aguas subterráneas y el balance hidrológico en la subcuenca del río Turbio, Guanajuato. *Acta Universitaria*, 32, 1–14. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3485>
- Palomino Zamora, H., Ramos Fernández, L., & Francés Garcia, F. (2016). *Efecto del cambio climático en la hidrología, usando un modelo distribuido en la cuenca Chancay - Huaral Perú*. 10.
- Pianosi, F., & Wagener, T. (2018). Distribution based sensitivity analysis from a generic input output sample. *Environmental Modelling and Software*, 108, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.07.019>
- Puy, A., Lo Piano, S., & Saltelli, A. (2020). A sensitivity analysis of the PAWN sensitivity index. *Environmental Modelling and Software*, 127(February), 104679. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104679>
- Quintana Villa, D. Y. (2024). Modelamiento hidrológico ditribuido empleando el producto pisco precipitación en la cuenca del río Ichu - Huancavelica. *Universidad Peruana Los Andes*, 92. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6246>
- Rafael Miñope, W. F. (2024). *Modelamiento de precipitación escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque*.
- Ramírez Solano, L. M. (2012). *Análisis de la implementación de un modelo hidrológico distribuido con información estándar en España*.



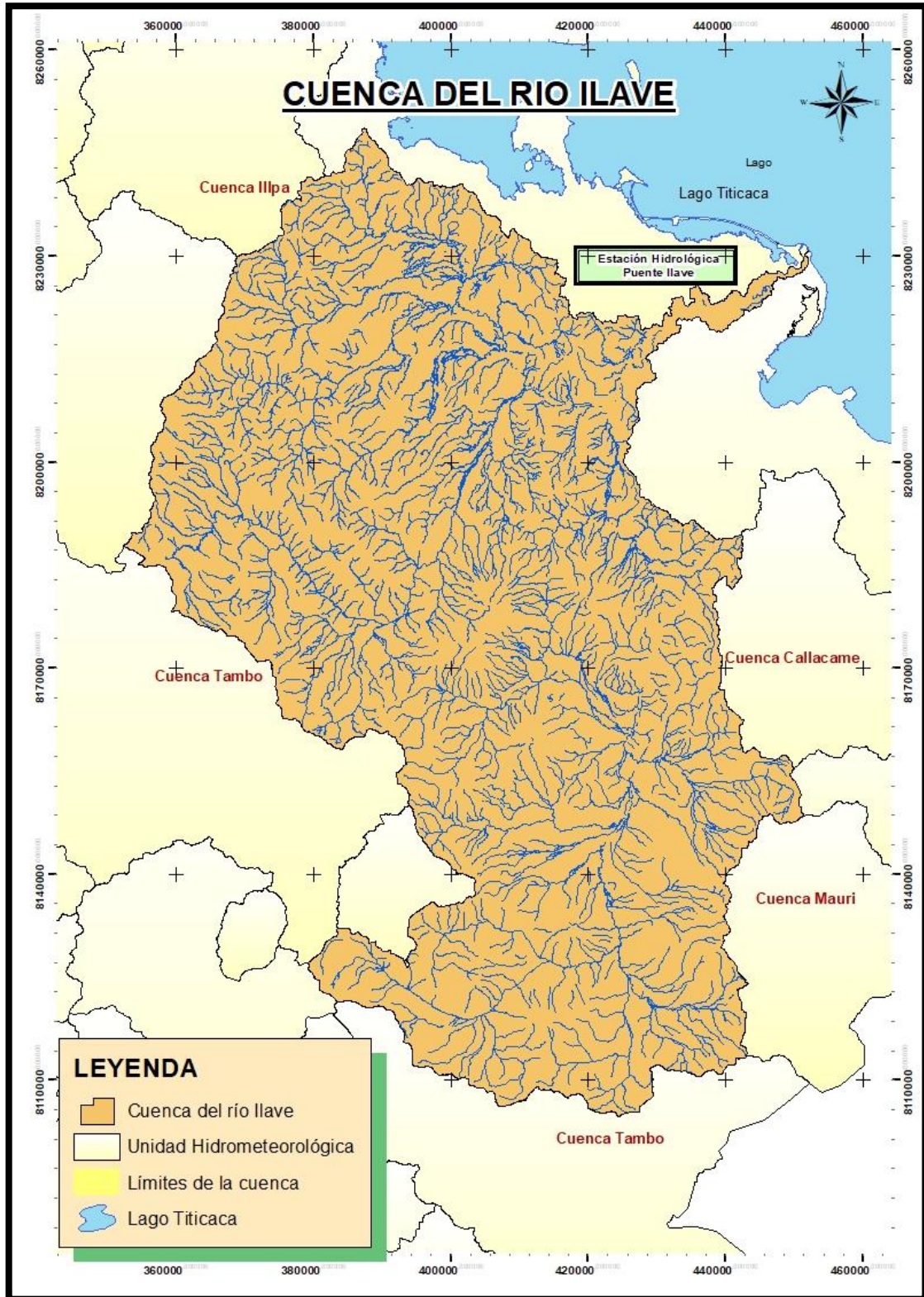
- Rios Pacheco, R. (2020). Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido Tetis en el ámbito regional de la demarcación hidrográfica del Júcar utilizando información estándar. *Universidad Zaragoza*, 1–45.
- Sánchez Almodóvar, E. (2022). Análisis de eventos extremos de precipitación en la provincia de Alicante (1981-2020). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 94. <https://doi.org/10.21138/bage.3325>
- Sánchez San Román, F. J. (2022). Precipitaciones Concepto. Tipos. *Hidrología Superficial Y Subterránea*, 440. <http://hidrologia.usal.es.xn--pg-mia.1>
- SENAMHI. (2021). *Boletín Regional de Puno - Enero 2021*. <http://www.senamhi.gob.pe/>
- SENAMHI. (2024). *Boletín Regional Puno*. 03. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/04701SENA-136.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2018). Manual de Hidrometría. *Dirección de Hidrología (DHI), Subdirección de Predicción Hidrológica (SPH)*, 1–93. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-924.pdf>
- Tachikawa, Y., & Tanaka, T. (2020). *User Manual for Distributed Hydrological Model*. 1–19. <https://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/products/1K-DHM/document/1K-DHM-event-ver410.pdf>
- Tapia Alvarado, A. P. (2016). *Balance hídrico usando un modelo hidrológico distribuido en la unidad hidrográfica río pindo, provincias de Loja y el Oro, Ecuador*. 10–12. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2131/L02-C389-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ticona Mamani, A. C. (2016). *Modelación hidrológica de escenarios futuros de caudales medios con la aplicación del modelo hidrológico weap en la cuenca del río Ilave - Puno*.
- Venturini, V., & Krepper, C. (2017). Caracterización de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones de la cuenca del río de La Plata. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(6), 63–75. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-05>



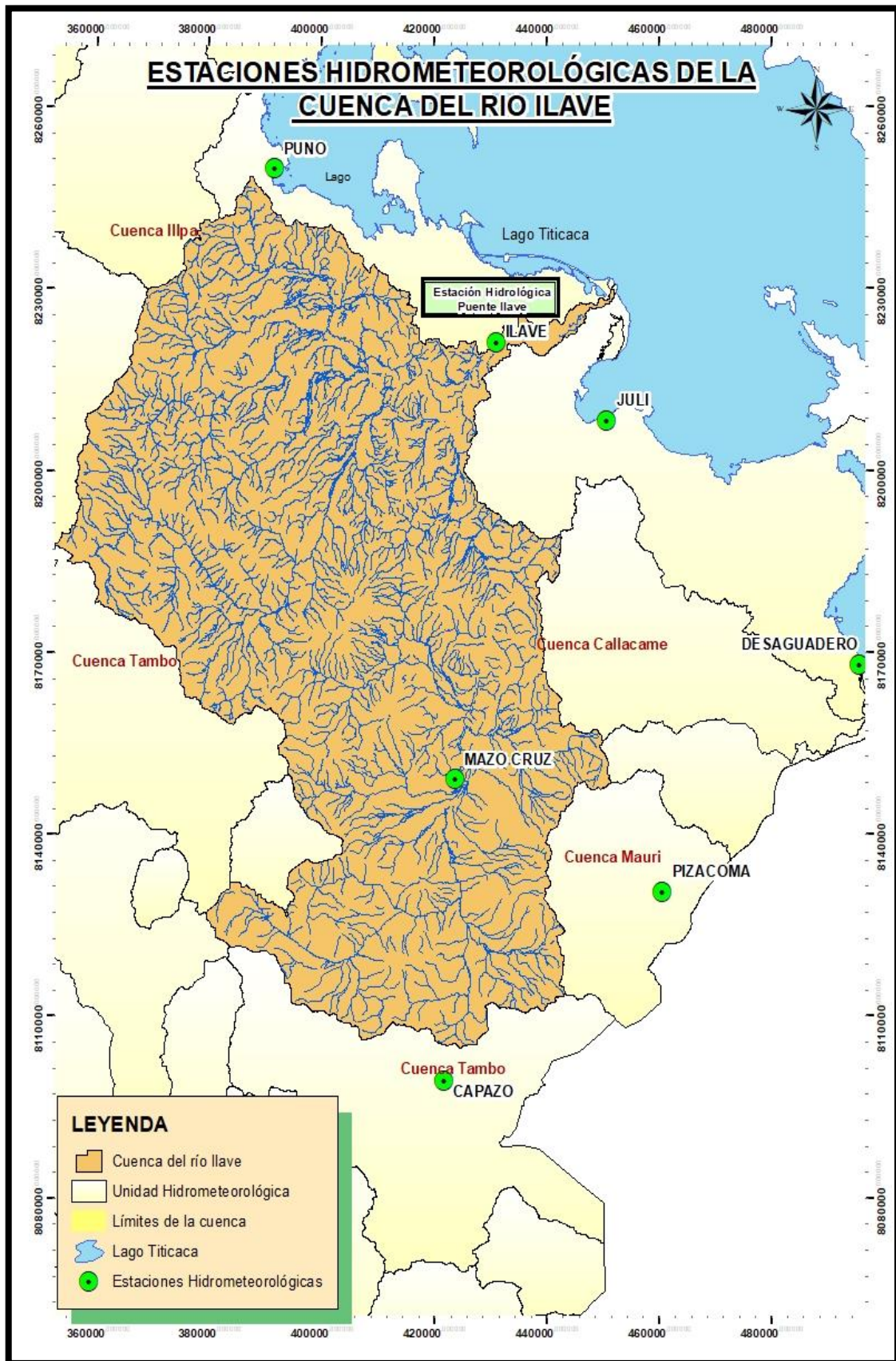
- Volpi, E., Mancini, C. P., & Fiori, A. (2024). What can we learn from long hydrological time-series? The case of rainfall data at Collegio Romano, Rome, Italy Elena. *Journal of Hydrology* X, 23(March), 100176. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2024.100176>
- Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., Soruco, A., Villacis, M., Yarleque, C., Elison Timm, O., Condom, T., Salzmann, N., & Sicart, J. E. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth-Science Reviews*, 176(518), 195–213. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.019>
- Zavala Ariadel, E. J. (2025). *Modelamiento hidrológico distribuido TETIS para estimar eventos extremos en la cuenca del Río Zarumilla, Tumbes.*
- Zorrilla Marcos, Y. (2024). *Generación de caudales medios mensuales mediante el modelo Gr2m para el análisis de tendencia.* 28, 26–36.
- Zubieta, R., Laqui, W., & Lavado, W. (2018). Modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave a partir de datos de precipitación observada y de satélite, periodo 2011 - 2015, Puno, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(5), 85–101. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-04>
- Zuo, D. D., Hou, W., Zhang, Q., & Yan, P. C. (2022). Sensitivity analysis of standardized precipitation index to climate state selection in China. *Advances in Climate Change Research*, 13(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.11.004>

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación hidrográfica de la Cuenca del río Ilave



Anexo 2. Ubicación de las estaciones Hidrometeorológicas.





Anexo 3. Datos del modelo TETIS V.9.0.

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DE TIPO CONCEPTUAL
MODELO DE SIMULACIÓN - TETIS V.9.0**

**DESARROLLADO EN:
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA
TESIS DE LUZ MARIA QUISPE JINEZ**

DATOS DEL MODELO TETIS EN FORMATO COLUMNA

Directorio de trabajo : c:\

Evento de Octubre 31 - 12 de 2020 en la cuenca Ilave (Evento de Calibración)

	Número de datos	Intervalo temporal
G	7305	1440

	Fecha de inicio del episodio	
	dd-mm-aaaa	hh:mm
F	01/01/2000	00:10

RESUMEN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS ESTACIONES

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN

	NOMBRE_EST	X	Y	Z
P	P001	421403	8100084	4423
P	P002	423739	8149192	3980
P	P003	460646	8130989	3930
P	P004	496073	8168755	3833
P	P005	450842	8208468	3830
P	P006	431503	8224327	3874
P	P007	391617	8250022	3825
	NOMBRE_EST	X	Y	Z
Q	Q001	432448	8221200	3840

SERIES TEMPORALES

Dt(min)	P001	P002	P003	P004	P005	P006	P007	Q001
P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	Q(m3/s)	
1440	11.6	2.6	4.1	5.7	13.9	15.3	3	43.4
2880	0.2	6.8	6.2	0	1.4	0.5	0	65.45
4320	0.1	1.6	0	0	0	0	0	16.95
5760	0	0	0	0.4	0.2	2.5	1.2	20.3
7200	0	2	2	6.9	23	23.6	19	236.33
8640	0	0.1	0	0.7	9.5	4.7	2	458.65
10080	0	0	0	5.4	1.1	5.4	15.1	160.45



11520	7.9	3	0	7.5	20	18.6	9	346.77
12960	24.8	1.6	14.7	3.7	4.2	9.4	0.1	285.81
14400	2.8	6.8	6.6	4.2	7.4	19.5	12.7	244.83
15840	3.8	2.6	4.1	0	0	3.3	11.9	326.81
17280	1.8	6.6	0	0	3.5	3.3	3.1	215.56
18720	6.6	0.2	3.3	5.8	0	1.2	0	66.45
20160	3.2	0	0	1.2	15.3	9.2	4.5	90.95
21600	1.8	9.4	11	13.3	6.7	23.7	9.8	94.23
23040	3.2	10.6	9.5	24.5	17	15.8	12.1	74.37
24480	1.2	3.2	7.1	9.8	0	1.5	1.1	70.3
25920	11.5	0.4	3.3	0	17.1	12.8	2.7	41.69
27360	4.4	1	5.6	5.3	15	4	6.4	38.17
28800	2.5	0.6	0	0	0	0	0	38.15
30240	1.6	0.6	11.4	8.4	6.3	4	0.2	74.47
31680	7.6	6	0	2.8	5.3	13.3	5.3	114.38
33120	0.2	3.8	0	18.8	5.3	8.5	0.4	129.09
34560	4	0.2	9.8	0	1.1	1.4	0.3	124.75
36000	21.6	12.2	3.6	9.7	7.8	4.5	12.2	101.65
37440	13.8	4.4	2.6	0.6	18.2	4.8	17.1	61.56
38880	5.6	3	11.6	5.3	14.3	7.1	1.4	51.45
40320	9	25.8	18.3	33.5	17.2	26.1	2	49.38
41760	1.1	27.4	29.2	6	7.4	3.8	0.6	41.72
43200	6.5	22	38.7	4	15.8	9.3	6.5	35.61
44640	7.3	15	5.9	18.6	21.3	12.8	7.4	21.29
46080	20.1	0.6	1.1	0	5.9	5	17.4	10.84
47520	0.4	0.8	6	0	2	11	20.7	9.8
48960	0	3.8	3.6	0	4.7	9.4	1.8	11.87
50400	0	1	0.6	0	3.6	1	16.6	11.79
51840	0	0	0	0	4.4	0.5	1.1	10.93
53280	6.8	2	0	1.5	7.4	3.6	0.9	10.25
54720	1.9	0.6	1.2	0	4	1.1	0	9.12
56160	5.5	0.2	0	7.6	0	0	1.4	10
57600	3.3	13.2	0.8	6.4	9.8	2.6	8.2	9.27
59040	16.7	2.6	1.8	1.4	10.6	14.5	18.6	9.13
60480	1.1	1.4	0	8.2	2	8.3	14.5	8.5
61920	3.8	0.01	0	0.5	0	2.7	1.9	8.19
63360	1.3	5.6	0	11.6	6.9	6.6	0.7	8.31
64800	0.7	1	0	1.6	9.3	3.1	10.4	8.75
66240	0.7	2	0	1.2	0.2	0.6	15.3	8.2
67680	0.8	1.7	4.1	0.3	21.8	5.4	12.4	7.91
69120	5.2	3	2.4	0	4.3	4.6	1	7.94
70560	4.6	1	0	18.4	15.2	1.6	0	7.81
72000	0.5	0.1	0	2.7	15.3	18.4	31.6	7.74
73440	13.7	16.8	14.9	17.2	12	3.9	0	7.71
74880	5.8	7	2.6	6.4	4	0	0.5	7.54
76320	6.2	14	13.5	6.7	30.6	15	3.4	7.41
77760	7.7	10	4.3	16.7	23.4	15	11	7.4
79200	1.6	5.4	8.2	18	11.3	4.1	6.1	7.03
80640	0	1.6	2.7	3	18.2	8.8	9.1	6.68



82080	11.7	26	21	0.4	2.7	0	0	6.54
83520	1.1	8.8	8	3.5	2.2	1.8	0	6.57
84960	1.8	1.4	0	12.1	1.9	2.5	5.2	6.95
86400	7.7	4.2	2.6	0.3	2.6	10	0.2	6.38
87840	1.3	3	2.8	0.3	0	0	1.3	6.23
89280	3.9	0.6	0	2.5	2.8	2.9	2.6	5.94
90720	6.5	2.6	0	0	1.6	0	0	6.02
92160	0.9	0	0	1.5	0.5	3	0.4	5.899
93600	10.4	7	3.6	0	1	1.5	2.9	5.251
95040	28.5	4	11.5	8.1	10.6	6.6	8.6	4.836
96480	22.3	6.8	11.2	9.3	20.9	2.4	9	4.735
97920	6.1	3.4	15.4	12.8	16.4	21.1	9.7	4.304
99360	7.2	10.6	15.3	14.6	19.4	27.6	13.5	4.235
100800	0	1	12	0.4	3.1	10.9	13.2	4.002
102240	11.7	7.4	12	9.4	9.8	4.5	7.8	5.576
103680	0	3	5.3	12.4	4	14.6	5.2	4.68
105120	0	0	0	0	0	18.5	4.1	4.316
106560	0	0	1.7	0	0.2	2.5	13.5	3.955
108000	0	0	0	0	0	0	0	3.959
109440	0	0	0	0	0	0	0	3.81
110880	0	0	0	0	0.01	0	0	3.924
112320	0	0.9	0	0	2.2	0	3.3	4.062
113760	0	2.8	0	0	0	0.5	0	5.173
115200	8.2	0	0	0	4.9	1.5	0	4.769
116640	5.9	0.8	0	0	22.8	1	0	4.704
118080	5.3	1.6	0	0	4.7	6.2	6.4	8.946
119520	3.2	0.8	0	0.5	7.7	10.3	1.8	6.749
120960	1.8	0.6	0	0	0.5	0	1.8	6.636
122400	10.7	0	0	0	0	0	0	5.044
123840	5.9	4.8	2.3	0	0	0	0	4.953
125280	0	1	0	0	1.6	0	0	6.531
126720	0	0.8	0	0	0	0	0	5.579
128160	0	0	2.7	0	2.8	0	0	5.477
129600	0	0.6	0	0	0	0	0	7.01
131040	0	0	0	0	0.9	0	0	6.302
132480	0.5	0	0	0	2.6	0	0	5.009
133920	0	0	0	0	6	0	0	11.971
135360	9.5	0.2	0	0	0	0	0	17.282
136800	0	0	0	0	4.2	0	0	11.291
138240	1.3	0	0	0	0.7	2	0	11.746
139680	0	0	0	0	0	0	0	14.939
141120	0	0	0	0	1.7	0	0	27.13
142560	0	1.2	0	0	0.6	0	0	114.834
144000	0.7	0	0	0	0	0	0	48.343
145440	0	0	0	0	0	0	0	35.4
146880	0	0	0	0	0	0	0	20.826
148320	0	0	0	0	0	0	0	15.715
149760	0	0	0	0	0	9.2	0	14.761
151200	0	0	0	0	0	0	0	8.998



152640	0	0	0	0	0	0	14.9	15.763
154080	0	0.8	2.6	0	0.9	1.2	1.9	66.327
155520	0	0	0	0	0	0	0	43.853
156960	0	0	0	0	0	0	0	19.878
158400	0	0	0	0	0	0	0	37.168
159840	2.8	0	0	0	0	0	0	41.632
161280	0	17.8	3.6	0	0	2	22.2	140.223
162720	0	2.6	0	0	0	0	1.3	153.094
164160	0	0.3	0	0	0	0	0	76.334
165600	0	0	0	0	0	0	0	51.414
167040	0	0	0	0.5	0	0	0	117.241
168480	0	0	0	0	0	0	0	64.988
169920	0	0	0	0	0	0	0	49.099
171360	0	0	0	0	0	0	0	42.763
172800	0	0	0	0	0	0	0	77.099
174240	0	0	0	0	0	0	0	46.683
175680	0	0	0	0	0	0	0	38.28
177120	0	0	0	0	0	0	0	31.087
178560	0	0	0	0	0	0	0	31.332
180000	0	0	0	0	7	1.6	0	24.168
181440	0	0	0	0	0	0	0	12.522
182880	0	0	0	0	3.3	0	0.4	14.957
184320	0.9	0.6	1.5	0	0	0	0	12.324
185760	0	0	0	0	0	0	0	11.824
187200	0	0	0	0	0	0	0	11.656
188640	0	0	0	0	0	0	0	11.619
190080	0	0	0	0	0	0	0	11.473
191520	0.5	2.6	0	0	0.4	3.3	0	11.055
192960	0.7	1.4	0	0	0	0	0	10.78
194400	1.7	1.8	0	0	0	0	0	8.899
195840	0	0	0	0	0	0	0	8.552
197280	0	0	0	0	0	0	0	8.366
198720	0	0	0	0	0.2	0	0	7.711
200160	0	0	0	0	0	0	0	7.076
201600	0	0	0	0	0	0	0	6.654
203040	0	0	0	0	0	0	0	6.94
204480	0	0	0	0	0	0	0	7.035
205920	0	0	0	0	0	0	0	6.725
207360	0	0	0	0	0	0	0	6.541
208800	0	0	0	0	0	0	0	6.561
210240	0	0	0	0	0	0	0	6.498
211680	0	0	0	0	0	0	0	6.37
213120	0	0	0	0	0	0	0	6.317
214560	0	0	0	0	0	0	0	6.262
216000	0	0	0	0	0	0	0	6.173
217440	0	0	0	0	0	0	0	6.059
218880	0	0	0	0	0	0	0	5.999
220320	0	0	0	1.3	0.7	0.3	0	5.929
221760	0	0	0	0	0	0	0	5.67



223200	0	0	0	0	0	0	0	5.308
224640	0	0	0	0	0	0	0	5.28
226080	0	0	0	0	0	0	0	5.24
227520	0	0	0	0	3.3	0	0	5.202
228960	0	0	0	1.5	2	0.6	0	5.141
230400	0	0	0.7	4.4	4.3	2.2	0.6	5.11
231840	0	1.2	0	2.2	4	1	0.3	5.162
233280	0	0	0	0	0	0.3	1.4	5.35
234720	0	0	0	0	0	0	0	5.438
236160	0	0	0	0	0	0	0	5.304
237600	0	0	0	0	0	0	0	5.458
239040	0	0	0	0	0	0	0	5.764
240480	0	0	0	0	0	0	0	5.979
241920	0	0	0	0	0	0	0	5.668
243360	0	0	0	0	0	0	0	6.171
244800	0	0	0	0	0	0	0	6.504
246240	0	0	0	0	0	0	0	5.738
247680	0	0	0	0	0	0	0	5.714
249120	0	0	0	0	0	0	0	5.131
250560	0	0	0	0	0	0	0	5.014
252000	0	0	0	0	0	0	0	4.869
253440	0	0	0	0	0	0	0	4.218
254880	0	0	0	0	0	0	0	3.904
256320	0	0	0	0	0	0	0	4.116
257760	0	0	0	0	0	0	0	7.821
259200	0	0	0	0	0	0	0	4.342
260640	0	0	0	0	0	0	0	4.239
262080	0	0	0	0	0	0	0	3.949
263520	0	0	0	0	0	0	0	3.886
264960	0	0	0	0	0	0	0	7.357
266400	0	0	0	0	0	0	1.1	8.776
267840	0	0	0	0	0	0	0	8.384
269280	0	0	0	0	0	0	0	7.402
270720	0	0	0	0	0	0	0	7.189
272160	0	0	0	0	0	0	0	5.623
273600	0	0	0	0	0	0	0	5.146
275040	0	0	0	0	0.01	0	0	10.019
276480	0	0	0	0	0	0	0	11.586
277920	0	0	0	0	0	0	0	10.834
279360	0	0	0	0	0	0	0	10.686
280800	0	0	0	0	0	0	0	10.669
282240	0	0	0	0	0	0	0	4.296
283680	0	0	0	0	0	0	0	4.296
285120	0	0	0	0	0	0	0	4.296
286560	0	0	0	0	0	0	0	4.296
288000	0	0	0	0	0	0	0	3.756
289440	0	0	0	0	0	0	0	3.756
290880	0	0	0	0	0	0	0	3.756
292320	0	0	0	0	0	0	0	3.756



293760	0	0	0	0	0	0	0	3.756
295200	0	0	0	0	0	0	0	3.756
296640	0	0	0	0	0	0	0	3.756
298080	0	0	0	0	0	0	0	3.756
299520	0	0	0	0	0	0	0	3.756
300960	0	0	0	0	0.6	9.3	0	3.756
302400	0	0	0	0	0	0	3.1	3.756
303840	0	0	0	0	0	0	0	4.296
305280	0	0	0	0	0	0	0	4.296
306720	0	0	0	0	0	0	0	3.756
308160	0	0	0	0	0	0	0	3.756
309600	0	0	0	0	0	0	0	3.277
311040	0	0	0	0	0	0	0	3.277
312480	0	0	0	0	0	0	0	3.277
313920	0	0	0	0	0	0	0	3.277
315360	0	0	0	0	0	0	0	3.277
316800	0	0	0	0	0	0.2	0	3.277
318240	0	0	0	0	0	0	0	3.277
319680	0	0	0	0	0	0	0	3.277
321120	0	0	0	0	0	0.7	6	3.277
322560	0	0	0	0	0	0	0.6	3.277
324000	0	0	0	0	0.2	0	0.8	3.277
325440	0	0.6	2.8	0	5.1	0.2	1.4	3.277
326880	0	0	0	0	0.2	0.2	0	2.853
328320	0	0.4	4.6	0.7	4	3.4	8	2.853
329760	0	0	0	0	0	0	0	2.853
331200	0	0	0	0	0	0	0	2.853
332640	0	0	0	0	0	0	0	2.853
334080	0	0	0	0	0	0	0	2.853
335520	0	0	2.2	0.2	6	0	1.1	2.853
336960	0	0.2	0	0	0.9	0.2	0	3.277
338400	0	0	0	0.5	0.3	0	0	3.277
339840	0	0	0	0	0	0	0	2.853
341280	0	0	0	0	0	0.6	0	2.853
342720	0	0	0	0	0.3	0.9	0	2.853
344160	0	0	0	0	0	0	0	2.853
345600	0	0	0	0	0	0	0	3.277
347040	0	0	0	0	0	0	0	3.277
348480	0	0	0	0	0	0	0	2.853
349920	0	0	0	0	0	0	0	2.853
351360	0	0	0	1.5	0	0	0	2.48
352800	0	0	0	0	0	0	0	2.48
354240	0	0	0	0	0	0	0	2.48
355680	0	0	0	0	0	0	0	2.48
357120	0	0	0	0	0	0	0	2.48
358560	0	0	0	0	0	0	0	2.48
360000	0	0	0	0	0	0	0	2.48
361440	0	0	0	0	0	0	0	2.48
362880	0	0	0	0	0	0	0	2.853



364320	0	0	0	0	0	0	0	3.277
365760	0	0	0	0	0	0	0	3.277
367200	0	0	0	0	0	0	0	3.277
368640	0	0	0	0	0	0	0	3.277
370080	0	0	0	0	0	0	0	2.579
371520	0	0	0	0	0	0	0	2.579
372960	0	0	0	0	0	0	0	2.435
374400	0	0	0	0	0	0	0	2.435
375840	0	0	0	0	0	0	0	2.435
377280	0	0	0	0	0	0	0	2.435
378720	0.4	0	0	0	0	0	6.2	2.435
380160	0	0	0	0	0	0	0	2.435
381600	0.5	0	0	0	0.2	0.4	4.4	2.297
383040	0	0.6	2	4.8	1	2.8	4	2.297
384480	0	0	0	0	0	0	0	2.297
385920	0	0	0	0	0	0	0	2.297
387360	0	0	0	0	0	0	0	2.297
388800	0	0	0	0	0	0	0	2.297
390240	0	0	0	0	0	0	0	2.297
391680	0	0	0	0	0	0	0	2.297
393120	0	0	0	0	0	0	0	2.297
394560	0	0	0	0	0	0	0	2.165
396000	0	0	0	0	0	0	0	2.165
397440	0	0	0	0	0	0	0	2.165
398880	0	0	0	0	0	0	0	2.165
400320	0	0	0	0	0	0	0	2.165
401760	0	0	0	0	0	0	0	2.165
403200	0	0	0	0	0	0	0	2.039
404640	0	0	0	0	0	4.5	0	2.039
406080	0.4	10.4	2.3	0.3	4.3	4.5	3.2	2.039
407520	4.8	0.8	0	1.2	0.9	1.2	5.3	2.039
408960	5.8	4.6	9.9	13.2	16	18	31.4	2.039
410400	0.2	0.4	3.6	0.9	2.6	4.5	29.4	2.039
411840	0	0	0	0	1.3	0	2.1	2.039
413280	0	0	0.01	1.6	3.5	3.4	1.5	1.836
414720	1.6	3.2	2.8	7.6	3.3	2.6	13.5	1.737
416160	0	0	0	1.9	5.4	0.5	1	1.75
417600	0	0.1	0	0	0	0.8	0	2.017
419040	0	0	0	0	0	0	0	4.385
420480	0.4	0.4	0	8	2.7	2.4	0.1	3.907
421920	0.8	0	2.7	2.2	4.9	0	1.6	4.383
423360	0.3	2	1.8	14	11.3	2.5	0	7.539
424800	5.3	6.4	1.5	3.6	0	0	2.5	9.103
426240	0	0	0.01	0.7	5.5	0.5	1.2	7.881
427680	0	0	0	0	0	0	0	8.033
429120	0	0	0	0	0	0	0	8.186
430560	0	0	0.01	0	0	0	0	8.342
432000	0	0	0	0	0.5	3.5	2.6	8.033
433440	0	0	0	0	0	1.7	0	7.582



434880	0	0	0	0	0	0.9	0.4	6.451
436320	0	0	0	0	0	0	0	5.065
437760	0	0	0	0	0	0	0	4.497
439200	0	0	0	0	0	0	0	4.388
440640	0	0	0	0	0	0	0	4.281
442080	0	0	0	0	0	0	0	4.175
443520	0	0	0	0	0	0	0	4.071
444960	0	0	0	0	0	0	0	4.071
446400	0	0	0	0	0	0	0	4.071
447840	0	0	0	0	0	0	0	4.071
449280	0	0	0	0	0	0	0	3.968
450720	0	0	0	0	0	0	0	3.968
452160	0	0	0	0	0	0	0	3.968
453600	0	0	0	0	0	0	0	6.674
455040	0	0	0	0	0	0	0	6.674
456480	0	0	0	0	0	0	0	6.674
457920	0	0	0	0	0	0	0	7.02
459360	0	0	0	0	0	0	0	7.02
460800	0	0	0	0	0	0	0	7.02
462240	0	0	0	0	0	0	0	7.02
463680	0	0	0	0	0	0	0	7.381
465120	0	0	0	0	0	0	0	7.755
466560	0	0	0	0	0	0	0	8.144
468000	0	0	0	0	0	0	0	8.144
469440	0	0	0	0	0	0	0	8.144
470880	0	0	0	0	0	0	0	7.755
472320	0	0	0	0	0	0	5	7.381
473760	0	0	0	42.7	0	0	0	7.755
475200	0	0	0	0	0	0	0	8.144
476640	0	2	0	0	0	0	0	8.549
478080	0.2	0.1	0	1.2	0	0	0	8.144
479520	1.5	0	0	0	0	0	0.2	8.144
480960	0	0.8	0	10	1.3	1	2.1	8.549
482400	0	5	0	9.6	0.6	0	6.6	9.404
483840	0	0	0	0	0	0	0	12.942
485280	0	0	0	0	0	0	0	18.178
486720	0	0	0	0	0	0	0	19.716
488160	0	0.3	0.8	0.9	0	0	0.6	18.178
489600	0.3	0.1	1.6	10.4	9.3	5	3.2	17.446
491040	0.2	0.2	1.2	2.7	0	0.5	1.6	16.737
492480	0.2	0	14.8	0	1.4	0.3	6.6	15.386
493920	5.3	3.2	19	16.9	9	12	7.6	11.84
495360	6.7	8	4.6	12.1	15.8	8.4	1.2	9.857
496800	0	7.6	0	2.5	0.6	18	1.9	9.404
498240	0	0	0	0	0	0	0	9.857
499680	0	0	0	0	0	0	0	10.326
501120	0	0	0	0	0	0	0	9.857
502560	0	0	0	0	0	0	0	9.857
504000	0	0	0	0	0	0	0	12.942



505440	0	2.2	0	0	4.6	6.5	3.4	15.386
506880	1.9	1.6	0	0	0	0	0.8	24.468
508320	0.3	0	0	3.6	24.8	20.3	1.5	33.55
509760	0	1	0	0	0	0	0	41.405
511200	6.6	20.2	0.1	0	4.9	0	0	110.803
512640	6.1	0	0	0	0	0	7.2	78.468
514080	1.3	11.4	0	5.2	3.6	0	0.8	130.464
515520	1.5	0	0	0	0	0.3	0.3	196.453
516960	0	0.4	0.6	0	0	0	1	85.747
518400	2.2	0	0	0	5.7	0	0	73.891
519840	0	0.2	1.4	10.1	2.6	0	0	57.632
521280	7.6	0.8	0	2.8	12.4	13.3	0.5	47.395
522720	13.2	6.6	7.5	13	7.8	1.9	2.6	33.55
524160	2.3	0.8	10.9	14	5.2	6.6	13.3	36.025
525600	15	15	25	7.8	4.3	4.2	14.9	33.55
527040	0	2.6	2.7	2.9	7.5	12.5	0	28.999
528480	12.8	6	1.9	5.3	15.4	5.7	5.8	24.947
529920	5.8	9.8	14	0	2.9	0	0.3	26.913
531360	21.1	20.8	17.3	6.3	1.5	11.7	1	24.947
532800	27.8	7	10.3	12.6	10.1	22.5	18.6	22.211
534240	1.6	1.7	17.9	4.7	6.2	25.7	7.1	19.716
535680	13.6	3.2	10.8	10.3	8	11	1.9	16.737
537120	2.2	0	8.8	19.4	8.4	11.1	11.8	13.522
538560	0.3	9.8	17	8.2	8.4	5.4	8.2	14.744
540000	3.4	14.4	2.8	0.3	0.6	1.8	8.3	18.178
541440	9.7	13	13.4	1.8	17.2	15.6	7.9	23.095
542880	18.2	21.2	19.9	17.3	14.7	18.3	17.3	24.267
544320	4.1	12.2	2.6	29.2	12.1	8.9	10.3	23.907
545760	0	2.6	6.6	11.1	2.5	4.6	0	23.275
547200	4.1	15.8	8.9	26.2	18.7	7.9	2.8	22.519
548640	0	7	7.4	18.4	21.9	9	3.4	21.714
550080	0	1.6	4.8	4.9	17.2	26.7	11.9	20.896
551520	0	4	2.3	18.7	6.5	3.5	2.5	20.487
552960	0	0	9.3	0.7	0.2	3.8	25.7	21.125
554400	14.6	8.6	7.4	11.2	22.9	36.2	1.5	23.281
555840	39.6	25.8	22.9	35.2	22.4	6.6	2.4	22.048
557280	5.8	0	6	1.2	15.2	9.9	16.2	19.809
558720	4.6	4.8	15.9	1	12.2	3	23.3	24.064
560160	5.2	4.8	18.4	11.5	7.8	5.2	14.8	49.494
561600	5.5	5.4	25.5	5.7	15.6	3.6	0	52.945
563040	12.1	16	13.3	25.5	1.2	14	3.5	36.603
564480	15.3	23	9.7	11.9	19.1	14.8	15.7	29.76
565920	18.8	9.2	5.4	14.8	6.1	2	3	26.647
567360	0	4.4	5.7	20.6	7.5	3	9.3	24.602
568800	0	5	2.3	0	9.7	0.1	1.5	20.078
570240	0	0	3.2	3.3	1.9	3.1	14	20.078
571680	20.6	10.4	5.6	2.7	9.9	4.2	0.8	9.403
573120	0	0.1	0	0	9.5	10.2	7.5	9.403
574560	7	0	0	0	7.9	10.8	3.9	9.403



576000	16.5	2.4	0	7.5	1.7	13.6	1.5	8.779
577440	2.1	2.8	0	0	4	0	9.4	8.779
578880	0.3	3.2	0	0	2.6	0	6.2	8.779
580320	0	0	0	0	6.7	4.7	0	8.19
581760	0	0	0	0	0.2	1.1	5	8.19
583200	0.4	0	0	0.8	0	0	0.6	8.19
584640	5.9	4.8	0	0	0	0	0	8.19
586080	8.2	0.6	4.3	42.5	2.9	11	9.3	8.19
587520	9.4	4	7.4	0	2.7	0.5	0.8	7.634
588960	9.6	3	7	17.8	1.6	3.2	5.4	7.634
590400	23.8	20.8	18.9	0	5.5	2.9	2.2	7.634
591840	12.8	19	18.1	16.5	22.4	9.2	37.7	7.634
593280	17.4	3.8	19.4	14	16	10.9	5.8	7.634
594720	21.4	11.2	18.3	11	7.5	5.5	2.2	7.11
596160	13.5	22	17.8	9.3	8.3	18.6	19.2	7.11
597600	2.6	7.2	18.8	58.6	27	25.7	21.8	7.11
599040	34.4	24	41.7	52	38.4	24.7	18.4	7.11
600480	0	5.6	10.7	4.9	11.5	9.3	6.4	7.11
601920	0	0.2	0	11.4	1.2	5.6	1	7.11
603360	3.2	0	0	1	1.6	4.9	0.6	6.617
604800	13.8	1.8	0	1.6	4.9	3.3	3.7	6.617
606240	17.7	7.4	0	17.9	12.4	9.5	10.1	6.617
607680	11.2	12.4	7.7	7.5	0.2	1.8	1.7	6.617
609120	13.2	8.6	12.5	1.9	25.5	18.2	3.3	6.617
610560	15.2	14.4	12.5	2	9.9	7.5	16.8	6.152
612000	4.5	4.8	11.4	0	19.8	19.1	14.1	6.152
613440	13.7	6.6	4.2	0	16.3	3	12.8	5.715
614880	1.7	3.4	9.4	40.4	4.5	2	21.8	5.715
616320	2.1	22.3	0.6	9.8	35.2	8.3	16.8	5.305
617760	6.7	0.4	0	0	0.3	0.3	0	5.305
619200	0	0	4.9	11.7	2.8	0	8.3	5.305
620640	16.4	4	2.4	9.9	5	11	5.6	4.919
622080	8.1	7.6	0.4	1.8	15.9	9.1	22.6	4.919
623520	3.2	0	0	0	2.7	0	3.6	4.919
624960	4.5	11	0	5	0.8	1.2	2	4.919
626400	0	3.2	1.7	9.5	20.5	9.4	12	4.557
627840	12.2	0.6	1.1	8.6	11.9	8.4	8.7	4.557
629280	4.4	4.8	2.7	0	14.9	13	6.2	4.557
630720	0	0	1.4	0	0.2	21.4	7.2	4.557
632160	10	6	4.8	6.6	17.7	14	9.3	4.557
633600	8.4	11.2	7.8	11.1	32.9	26.5	39.4	4.218
635040	0.2	4.2	6.2	1	35.6	6.7	1	4.218
636480	10.9	12.6	2.6	10.3	5.3	0.5	0	4.218
637920	7.6	8.4	0	0	1.8	0	4	4.218
639360	7.7	0	0	0	0	0	0.9	4.218
640800	6.5	1	21.1	7.2	6.8	7.2	2.5	4.218
642240	7.4	0.8	1.3	0	0.5	1.7	5.4	3.899
643680	0	0	0	0	0	0	0	3.899
645120	0	0	0.2	0	1.2	11.2	0.3	3.899



646560	0	0	0	4	3.5	5	0.9	3.899
648000	0	6.2	2.3	0	2.9	0	9	3.899
649440	0	2	4.4	0	0	2.1	9.7	3.899
650880	0	0	0	0	0	0.2	0	3.899
652320	0	0	12.6	0	0.4	0	3.2	3.899
653760	1.3	0	0	0	0	0	10.7	3.899
655200	1.2	0	0	0	0	0	0.2	3.9
656640	0.5	0	0	0	0	0	0	4.101
658080	0	0	0	0	0.4	0	0	4.072
659520	0.6	0	0	0	1.9	3.5	0	3.95
660960	0.5	0	0	0.8	1	0.9	1.8	3.941
662400	0	0	3.9	0	0	0	0	3.902
663840	0	1.6	4.8	0	4.1	0.5	17	3.952
665280	13.9	17.4	0	5.7	4.9	11.2	5.7	3.937
666720	6.5	0.8	6.4	2.5	7	7.1	3.7	4.15
668160	2	8.8	0	0	10.2	1.7	4.1	4.422
669600	5.1	2.4	0	0	3.1	0.3	6.4	4.612
671040	6.1	0	0	7.1	12.2	11.5	10.1	4.46
672480	0	0	0	0	0	0	0	4.274
673920	0.4	0	0	0	1.8	0	12.2	4.023
675360	0.2	0	0	0	2.1	0	0	4.01
676800	0	0	0	0	0	0	0	3.911
678240	0	0	0	0	1.5	0	0	3.902
679680	0	0	0	0	0	0	0	3.811
681120	0	0	0	0	0	0	0	3.724
682560	2.1	0	0	0	0	0	0	2.82
684000	0	0	0	0	0	0	0	2.82
685440	0	0	0	0	0	0	0	3.063
686880	0	0	0	0	0	0	0	3.063
688320	0	0	0	0	0	0	0	3.063
689760	0	0	0	0	0	0	0	2.82
691200	0	0	0	0	0	0	0	2.82
692640	0	0.01	0	0	0	0	0	2.82
694080	0	0	0	0	4.7	2.8	0.3	2.82
695520	0	0.4	0	0	0.4	3.1	7.2	2.82
696960	0	0	0.01	0	2.1	1.5	0.3	2.593
698400	0	2.2	1.4	1.4	0	0	1	2.593
699840	0	0	0	0	0	0	0	2.593
701280	0.037	0	0	0	0	0	0	2.593
702720	0.994	2.4	0	0	0.4	0	0	2.593
704160	0.037	0	0	0	0	0	0	2.593
705600	0.037	0	0	0	0	0	0	2.593
707040	2.651	2.4	0	0	3.3	1.5	0.6	2.593
708480	0.147	0	0	0	0.4	0	0	2.593
709920	0.037	0	0	0	0	0	0	2.82
711360	0.037	0	0	0	0	0	0	2.82
712800	0.037	0	0	0	0	0	0	2.59
714240	0.037	0	0	0	0	0	0	2.59
715680	0.062	0	0	0	0.3	0	0	2.38



717120	0.037	0	0	0	0	0	0	2.38
718560	1.571	0	0	0	2.9	1	8.4	2.38
720000	0.034	0	0	2	0.4	0	0.2	2.38
721440	0.037	0	0	0	0	0	0	2.59
722880	0.037	0	0	0	0	0	0	2.59
724320	0.037	0	0	0	0	0	0	2.59
725760	0.264	0	0	0	0	0	3	3.083
727200	0.039	0	0	1.2	0.2	0	0	2.899
728640	0.037	0	0	0	0	0	0	2.814
730080	0.037	0	0	0	0	0	0	2.663
731520	0.037	0	0	0	0	0	0	2.597
732960	0.037	0	0	0	0	0	0	2.711
734400	0.037	0	0	0	0	0	0	2.719
735840	0.037	0	0	0	0	0	0	3.679
737280	0.037	0	0	0	0	0	0	3.475
738720	0.037	0	0	0	0	0	0	3.09
740160	0.037	0	0	0	0	0	0	3.009
741600	0.037	0	0	0	0	0	0	2.932
743040	0.037	0	0	0	0	0	0	2.953
744480	0.037	0	0	0	0	0	0	3.242
745920	0	0	0	0	0	0	0	4.64
747360	0	0	0	0	1.4	0	0	5.417
748800	0	0	0	0	0	0	0	5.161
750240	0	0	0	0	0	0	0	4.565
751680	0	0	0	0	0	0	0	4.369
753120	0	0	0	0	0	0	0	4.631
754560	0	0	0	0	0	0	0	4.623
756000	0	0	0	0	0	0	0	60.816
757440	0	0	0	0	0	0	0	43.569
758880	0	0	0	0	0	0	0	56.291
760320	0	0	0	0	0	0	0	29.755
761760	0	0	0	0	0	0	0	41.11
763200	0	0	0	0	0	0	0	40.388
764640	0	0	0	0	0	0	0	45.977
766080	0	0	0	0	0	0	0	78.478
767520	0	0	0	0	0	0	0	82.475
768960	0	0	0	3.1	0	0	0	95.586
770400	0	0	0	0	0	0	0	58.503
771840	0	0	0	0	0	0	0	4.937
773280	0	0	0	0	0	0	0	4.937
774720	0	0	0	0	0	0	0	4.937
776160	0	0	0	0	0.5	0.1	2.2	4.937
777600	0	0	0	0	0	0	0	4.937
779040	0	0	0	0	0	0	0	4.937
780480	0	0	0	0	0	0	0	4.562
781920	0	0	0	0	0	0	0	4.562
783360	0	0.6	4.6	4.4	0	0	0	4.562
784800	3.1	0	0	0	0	0	0	4.562
786240	0	0	0	0	0	0	0	4.562



787680	0	0	0	0	0	0	0	4.562
789120	0.037	0	0	0	0	0	0	4.562
790560	0.037	0	0	0	0	0	0	4.562
792000	0.037	0	0	0	0	0	0	4.562
793440	0.037	0	0	0	0	0	0	4.562
794880	0.53	0	0.4	11.9	9.5	4.5	0	4.562
796320	0.379	0	0	0	2.6	8	0	5.034
797760	0.033	0	0	2.9	0.2	0	0	5.764
799200	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
800640	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
802080	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
803520	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
804960	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
806400	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
807840	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
809280	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
810720	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
812160	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
813600	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
815040	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
816480	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
817920	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
819360	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
820800	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
822240	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
823680	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
825120	0.057	0	0	0	0.01	0	0	5.337
826560	0.539	0	0	0	0.4	2.5	0	5.337
828000	0.037	0	0	0	0	0	0	5.337
829440	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
830880	0.037	0	0	0	0	0	0	6.219
832320	0.037	0	0	0	0	0	0	5.764
833760	0	0	0	0	0	0	0	5.337
835200	0	0	0	0	0	0	0	5.337
836640	0	0	0	0	0	0	0	5.337
838080	0	0	0	0	0	0	0	5.337
839520	0	0	0	0	0	0	0	5.337
840960	0	0	0	0	0	0	0	5.337
842400	0	0	0	0	0.01	0	1.2	4.937
843840	0	0	0	0	0	0	0	4.937
845280	0	0	0	0	0	0	0	4.937
846720	0	0	0	0	0	0	0	4.937
848160	0	0	0	0	0	0	0	4.937
849600	0	0	0	0	0	0	0	4.937
851040	0	0	0	0	0	0	0	4.937
852480	0	0	0	0	0.01	0	0	4.937
853920	0	0	0	0	0	0	1.2	4.937
855360	0	1.4	0	4.6	10.3	6.7	7	4.562
856800	0	0	0	0	2.5	0.6	0	4.562



858240	0	0	0	0	0	0	0	4.562
859680	0.2	0.6	3.8	6.9	12.6	8.6	2.3	4.562
861120	1.8	3.2	1.8	9.2	5.3	4	0.8	4.562
862560	0	1.2	0	0	0	0	0	4.562
864000	0	0	0	0	0.2	4	0	4.562
865440	0	0	0	0	0	0	0	4.562
866880	0	0	0	0	0	0	0	4.562
868320	0	0	0	0	0	0	0	4.211
869760	0	0	0	0	0	0	0	4.211
871200	0	0	0	0	0	0	0	4.211
872640	0	0	0	0	0	0	0	4.211
874080	0	0	0	0	0	0	0	4.211
875520	0	0	0	0	0	0	0	4.211
876960	0	0	0	0	0	0	0	4.211
878400	0	0	0	0	0	0	0	4.211
879840	0	0	0	0	0	4.8	0	4.211
881280	0	0	0	7.7	4.4	1.9	0.8	4.211
882720	0	0	0	9.7	0.8	0.8	8	4.211
884160	0.3	0	0	0	0.8	1.4	1.6	4.211
885600	0.1	0	1.8	0	0	0	0	4.211
887040	0	0	0	0	0	0	0	5.764
888480	0	0	0	0	0	0	0	11.835
889920	0	0	0	0	0	0	0	11.055
891360	0	0	0	0	0	0	2.2	9.623
892800	0	0	0	0	0	0	0.6	8.349
894240	0	0	0	0	0.5	0	0	7.767
895680	0	0	0	0.6	0	0	1.5	7.219
897120	0	0	0	0	0	0	0	6.703
898560	0	0	0	0	0	0	0	5.764
900000	0	0	0	0	0	0	0	5.337
901440	0	0	0	0	0	0	0	5.337
902880	0	0	0	0	0	0	0	5.337
904320	0	0.2	0	0	0.6	0	3.2	4.937
905760	0	0	0	0	3.6	0.2	0	4.937
907200	0	0	0	0	0	0	8.4	4.937
908640	0	0	0	0.5	0.2	0.8	0.8	4.937
910080	0	0	0	0	0	0	0	4.562
911520	0	0	0	0	2.4	2.1	0	4.562
912960	0	0	0	0	0	0	0	4.562
914400	0	0	0	0	0	0	0	4.562
915840	0	0	0	0	0	0	0	4.562
917280	0	0	0	8.5	3.3	0.2	0	4.562
918720	0	0	0	1.7	2.2	0	0	4.562
920160	0	0	0	0	0	0	0	7.45
921600	0	0	0	0	0	0	0	8.446
923040	0	0	0	0	0	0	11.8	8.088
924480	0	0	0	0	0.2	0.6	6.9	7.731
925920	0	0	0	0	0	1.7	9.3	7.373
927360	0	0	0	12.8	23.1	27.7	0.9	8.343



928800	3.3	1.8	4.6	7.6	12.6	14.5	9.6	9.312
930240	1.2	0	0	0	0	0	0	10.282
931680	0	0	0	0	0	0	0	11.251
933120	0	0	0	0	0	0	0	10.38
934560	0	0	0	0	0	0	0	9.51
936000	0	0	0	3	1.1	3	4.6	8.639
937440	0	0	0	1	0	0	0	8.73
938880	0	0	0.01	0	0	0	0	8.821
940320	0	0	0	0	2.5	0	0	8.911
941760	0	0	0	0	0	0	0	9.002
943200	0	0	0	0	0	0	0	8.689
944640	0	0	0	0	0	0	0	8.377
946080	0	0	0	0	0	0	0	8.064
947520	0	0	0	0	0	0	0	7.952
948960	0	0	0	0	0	0	0	7.839
950400	0	0	0	0	0	0	0	7.727
951840	0	0	0	0	0	0	0	7.614
953280	0	0	0	0	0	0	3	7.416
954720	0	0	0	0	0	0	0	7.218
956160	0	0	0	0	0	0	0	7.02
957600	0.1	0	0	0	0	0	2.7	6.941
959040	1.2	0	0	0	0.4	0	3.2	6.862
960480	0	0	0	0	0	0	0.4	6.783
961920	0	0	0	0	0	0	0	6.704
963360	0	0	0	0	17.7	0	2	6.714
964800	0	12	6.1	4.2	10.1	10.5	14	6.723
966240	1.3	1	0.2	5.7	2.9	11	9	6.733
967680	0	0	0	0	0	0	0	6.743
969120	0	0	0	0	0	0	0	6.753
970560	0	0	0	0	0	0	0	6.762
972000	0	0	0	0	0	0	0	6.772
973440	0	0	0	0	0	0	0	6.782
974880	0	0	0	0	4.6	1.2	23	6.791
976320	0	0.6	0	1.2	0	0	11	6.801
977760	0	0	0	0	0	0.5	0.8	6.811
979200	0	0	0	0	0.5	0	0	6.821
980640	0	0	0	0	0	0	0	6.83
982080	0	0	0	0	0	0	0	6.84
983520	0	0	0	0	0	0	0	6.85
984960	0	0	0	0	0	0	0	6.859
986400	0	0	0	0	0.3	0	0	6.869
987840	0	0	0	0	0.5	0	0	6.879
989280	0	0	0	0	0	0	0	6.889
990720	0	0	0	0	0	0	0	6.898
992160	0	0	0	0	0	0	0	6.908
993600	0	0	0	0	0	0	0	6.918
995040	0	0	0	0	0	0	0	6.927
996480	0	0	0	0	0	0	0	6.937
997920	0	0	0	0	0	0	0	6.947



999360	0	1.2	0	0	0	0	0	6.956
1000800	3.3	5	11.5	0.6	0.6	0	0	6.966
1002240	3.1	0.1	0	0	0	0.4	7	6.976
1003680	0.7	2.3	0	0	2	19.1	0.8	6.986
1005120	0.2	2.2	9.9	0	1.9	1.6	4.6	6.995
1006560	0.6	2	1.1	4.2	0.5	0	0	7.005
1008000	0	0	0	0.3	0	0	0	7.015
1009440	0	0	0	0	0	0	0	7.024
1010880	0	0	0	0	0	1	0	7.034
1012320	0	0	0	0	0	0	0	7.044
1013760	0	0	0	0	2.9	0	0	7.054
1015200	0	0	0	0	0	0	0	7.063
1016640	0	0	2.3	0.6	0	0	0	7.073
1018080	0	0.2	0	4	0.5	0.8	12	6.863
1019520	0	1.4	2.2	6.8	0	0	3	6.652
1020960	0	0	0	0	4.5	0.5	0	6.442
1022400	0	0	0	0	0	0	0	6.231
1023840	0	0	0	0	0	0	0	6.18
1025280	0	0	0	0	0	0	0	6.128
1026720	0	1	0	0.2	1.1	0.4	0	6.077
1028160	15.2	0.4	0	0	0.3	2.4	0	6.178
1029600	3.1	1.2	6.1	3.8	24.3	30.8	5.6	6.28
1031040	11.8	6.4	0.8	30.7	1.5	5.1	23.3	6.381
1032480	2.7	9	9.9	15.3	27.2	17.9	8.5	6.482
1033920	0.6	1.2	3	7.6	6.2	11.5	4.2	8.703
1035360	0	0	0	0	1.9	0.8	2.2	10.923
1036800	0	0	0	0	0.3	1.2	0.5	13.144
1038240	0	0	0	0	0	0	0	12.3
1039680	0	4	4.1	10.2	3.7	16.8	0	11.457
1041120	0	1.4	1.4	6.2	2.4	4.6	7.8	10.613
1042560	0.4	0.8	0	0	0.3	0	4.2	9.769
1044000	0	0	0	0	1.2	0	3.7	9.586
1045440	0	0	0	0	0	0	0	9.402
1046880	0	0	0	0	0	0	0	9.219
1048320	0	0	2	8.2	36.8	11.3	6	9.314
1049760	0	0	6.1	2	1.1	1.8	0	9.41
1051200	0	0	0	0	0	0	0	9.505
1052640	0	0	0	0	0	0	0	9.6
1054080	0	0.4	4.9	0	0	0	0	43.4
1055520	0	0	19.7	7	0.7	2	8.3	65.45
1056960	0	0	0	0	0.8	0.1	1.2	16.95
1058400	0	0	0.8	0	0	0	3.2	20.3
1059840	0	0	0.6	0	14.7	0.9	0.8	236.33
1061280	0	0	0	3	0.3	0	0	458.65
1062720	0	0	0	0	0	0	0	160.45
1064160	0	0	0	0	0	0	0	346.77
1065600	0	0	0	1.3	0	4	5.8	285.81
1067040	1.3	3.8	11.9	1.1	8.3	10.3	25.7	244.83
1068480	0	0	0	0.5	0	8.2	0	326.81



1069920	0	0.2	0.2	0	5.1	0.8	0	215.56
1071360	0	0	0	0	0.3	0.7	0	66.45
1072800	0	0	0	0	14.9	7.1	0	90.95
1074240	5.4	2	0.6	2.2	1	0	0.5	94.23
1075680	0	0	0	2.2	11.2	5.6	5.4	74.37
1077120	0	2.8	4.3	31.8	19	26.8	36.1	70.3
1078560	1.5	5.6	22.4	12.5	9.8	4.9	5.8	41.69
1080000	0	0.6	10.7	8.4	6	2.4	2.4	38.17
1081440	0	14	0	11.6	2.1	4	2.9	38.15
1082880	0	0	0.3	6.9	5.6	7.1	6.8	74.47
1084320	0.6	6.2	0	3.3	10.2	3.5	4.4	114.38
1085760	11.9	0.3	0	2.2	1.4	5	0.3	129.09
1087200	9.2	0.9	0.4	4.6	1.5	1.5	2.2	124.75
1088640	15.4	13.6	6.3	0	0	0	0.5	101.65
1090080	2.2	4.6	1.4	0	0	0	0	61.56
1091520	3.1	0	0	2.3	1.1	0.6	0	51.45
1092960	1.1	0	0	5	1.1	0.4	11.3	49.38
1094400	10.5	11.6	0	1.6	0	5.4	2.4	41.72
1095840	1.5	1.2	1.2	0	19.4	2	1.8	35.61
1097280	24.4	2.6	0	0	11.3	4.9	1.8	21.29
1098720	9.5	6.8	3.2	4.5	14.3	29.1	5	10.84



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Luz María Quispe Jinez,
identificado con DNI 72536672 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Topográfica y Agrimensura

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Modelación hidrológica de la cuenca Ilave a partir de la escala
temporal diaria con la simulación del modelo hidrológico
distribuido TETIS”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios-escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de julio del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Luz Maria Quispe Jinez,
identificado con DNI 72536672 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Topográfica y Agrimensura,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Modelación hidrológica de la cuenca Ilave a partir de la
escala temporal diaria con la simulación del modelo
hidrológico distribuido TETIS ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de julio del 20 25


FIRMA (obligatoria)



Huella