

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA UNIDAD  
HIDROGRÁFICA DEL RÍO YACUS, JAUJA - JUNÍN**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. JOSÉ FERNANDO CÁRDENAS TUNCAR.**

**Línea de investigación Institucional:**

Salud y gestión de la salud.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**Huancayo – Perú  
2020**

Mg. Henry Gustavo Pautrat Egoavil.

**Asesor**

### **Dedicatoria**

- (A mi madre Reyna por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, y muchos de mis logros se lo debo a usted).

José Fernando Cárdenas Tuncar.

### **Agradecimiento**

- A (todos mis colaboradores, a mis formadores por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro para optar una afable titulación profesional)

José Fernando Cárdenas Tuncar.

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Ruben Dario Tapia Silguera

---

ING. Carlos Gerardo Flores Espinoza.

---

Mg. Carlos Enrique Palomino Daviran

---

ING. Alcides Luis Fabian Brañez.

---

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales.  
Secretario docente

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>15</b>
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación y sistematización del problema	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. Justificación	17
1.3.1. Práctica o social	17
1.3.2. Metodológica	17
1.4. Delimitaciones	17
1.4.1. Espacial	17
1.4.2. Temporal	18
1.4.3. Económica	18
1.5. Limitaciones	18
1.6. Objetivos	19
1.6.1. Objetivo general	19
1.6.2. Objetivos específicos	19
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>20</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes	20
2.1.1. Antecedentes internacionales	20
2.1.2. Antecedentes nacionales	22
2.2. Marco conceptual	24
2.2.1. Modelo hidrológico	24
2.2.2. Modelo distribuido TETIS	26
2.2.3. Calibración y validación	27
	vi

2.2.4. Alcances y limitaciones del modelo distribuido TETIS	27
2.2.5. Demanda del recurso hídrico	28
2.3. Definición de términos	36
2.4. Hipótesis	36
2.4.1. Hipótesis general	36
2.4.2. Hipótesis específicas	36
2.5. Variables	37
2.5.1. Definición conceptual de la variable	37
2.5.2. Definición operacional de la variable	37
2.5.3. Operacionalización de la variable	38
<b>CAPITULO III</b>	<b>39</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>39</b>
3.1. Método de investigación	39
3.2. Tipo de investigación	39
3.3. Nivel de investigación	39
3.4. Diseño de investigación	40
3.5. Población y muestra	40
3.5.1. Población	40
3.5.2. Muestra	40
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3.6.1. Técnicas	40
3.7. Procesamiento de la información	41
3.7.1. Procesamiento de datos del modelo hidrológico TETIS	41
3.8. Técnicas y análisis de datos	46
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>47</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>47</b>
4.1. Modelo hidrológico TETIS para el cálculo de la oferta hídrica	47
4.1.1. Cálculo de la oferta hídrica	47
4.2. Cálculo de la demanda hídrica	53
4.2.1. Cálculo de la demanda del agua	53
4.3. Balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus	61
4.3.1. Balance del recurso hídrico	61

<b>CAPÍTULO V</b>	<b>63</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>63</b>
5.1. Modelo hidrológico TETIS para el cálculo de la oferta hídrica	63
5.2. Cálculo de la demanda hídrica	64
5.3. Balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus	65
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO N° 02: DATOS DE SENAMHI DE LA ESTACIÓN JAUJA</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO N° 03: PANEL FOTOGRÁFICO</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO N° 04: MAPAS</b>	<b>86</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencias de los sistemas de riego.	30
Tabla 2. Factor MF para la evapotranspiración potencial de Hargreaves.	33
Tabla 3. Coeficientes de cultivos (kc) para cultivos anuales.	35
Tabla 4. Operacionalización de las variables.	38
Tabla 5. Valores de la precipitación media de la estación Jauja.	48
Tabla 6. Valores de la temperatura media según la estación Jauja.	49
Tabla 7. Caudal mensual generado.	52
Tabla 8. Temperatura mínima, máxima y media en el área de estudio.	53
Tabla 9. Humedad media en el área de estudio.	54
Tabla 10. Precipitación media y precipitación efectiva en el área de estudio.	55
Tabla 11. Cultivos de mayor área de producción.	57
Tabla 12. Valores de Kc de los cultivos correspondientes al área de estudio.	57
Tabla 13. Evapotranspiración potencial de acuerdo a Hargreaves.	58
Tabla 14. Requerimiento de agua para cultivos mensualmente en m <sup>3</sup> .	59
Tabla 15. Demanda del recurso hídrico.	60
Tabla 16. Balance hídrico del río Yacus.	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.	18
Figura 2. Clasificación de modelos hidrológicos.	25
Figura 3. Esquema conceptual del ciclo hidrológico en el modelo TETIS.	26
Figura 4. Precipitación media en el área de estudio.	48
Figura 5. Valores de la temperatura media según la estación Jauja.	49
Figura 6. Fichero de entrada con información para el modelo TETIS.	50
Figura 7. Caudal generado por el modelo hidrológico TETIS.	51
Figura 8. Variación de la oferta hídrica del río Yacus.	53
Figura 9. Temperatura media en el área de estudio.	54
Figura 10. Humedad media en el área de estudio.	55
Figura 11. Precipitación media y precipitación efectiva en el área de estudio.	56
Figura 12. Evapotranspiración potencial.	58
Figura 13. Variación de la demanda hídrica del río Yacus.	60
Figura 14. Balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus.	62

## RESUMEN

En esta investigación se contempló el problema general: ¿Cuál es el resultado de aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín?, el objetivo general: Aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín, y la hipótesis fue: De la aplicación del modelo hidrológico TETIS en la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín, se tiene que existe recurso suficiente para su almacenamiento.

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, con un nivel descriptivo - explicativo y un diseño no experimental; la población correspondió a la unidad hidrográfica del río Yacus, ubicado en la provincia de Jauja del departamento de Junín y no se utilizó la técnica de muestreo, sino el censo, dado que la muestra correspondió a la totalidad de la población, en este caso la unidad hidrográfica del río Yacus.

La conclusión principal fue que, se aplicó el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, obteniéndose una oferta deficiente en comparación a la demanda agrícola, siendo posible almacenar 20.35 Mm<sup>3</sup> que no se emplean durante las épocas de lluvia.

**Palabras clave:** Modelo hidrológico TETIS, oferta hídrica, demanda hídrica, balance hídrico.

## ABSTRACT

In this research, the general problem was considered: What is the result of applying the TETIS hydrological model to determine the water balance of the hydrographic unit of the Yacus River, Jauja - Junín? the general objective: To apply the TETIS hydrological model to determine the water balance of the hydrographic unit of the Yacus river, Jauja - Junín, and the hypothesis was: From the application of the TETIS hydrological model in the determination of the water balance of the hydrographic unit of the Yacus river, Jauja - Junín, there must be sufficient resource for its storage.

The research method was scientific, the type of research was applied, with a descriptive-explanatory level and a non-experimental design; the population corresponded to the hydrographic unit of the Yacus River, located in the province of Jauja in the department of Junín and the sampling technique was not used, but rather the census, given that the sample corresponded to the entire population, in this case the hydrographic unit of the Yacus River.

The main conclusion was that, the hydrological model TETIS was applied to determine the water balance of the hydrographic unit of the Yacus River, obtaining a deficient supply in comparison to the agricultural demand, being possible to store 20.35 Mm<sup>3</sup> that are not used during the rainy seasons.

**Keywords:** TETIS hydrological model, water supply, water demand, water balance.

## INTRODUCCIÓN

La tesis titulada: Modelo hidrológico distribuido Tetis para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín, nace de la problemática que, durante los últimos años se presenta una escasez del recurso hídrico que es necesario para el riego de cultivo en distintos lugares de la sierra central, debido a ello se realiza esta investigación para poder contrarrestar dicha situación que se presenta en muchas poblaciones en el Perú; de acuerdo a ello, la investigación presenta como objetivo el aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín; donde se calculó la oferta hídrica con la aplicación del software TETIS para generar el modelo hidrológico, luego se determinó la demanda hídrica en cultivos necesario para finalmente hallar el balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus.

Esta investigación está conformada por cinco capítulos, los cuales son descritos a continuación:

En el Capítulo I, se da a conocer el problema de investigación, y se compone por planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, justificación, delimitación, limitaciones y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se da a conocer el marco teórico, donde se describe los antecedentes, el marco conceptual, la definición de términos, la hipótesis y variables de la investigación.

En el Capítulo III, se presenta la metodología empleada en la investigación, donde se detalla el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, también se da a conocer la población, muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de información, el procesamiento de la información, y las técnicas y análisis de datos.

En el Capítulo IV, se muestran los resultados que se obtuvieron teniendo en cuenta el problema de la investigación, también los objetivos y la hipótesis.

En el Capítulo V, se presenta la discusión de resultados en función de los resultados obtenidos en la investigación.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

Bach. José Fernando Cárdenas Tuncar.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad el recurso hídrico está sufriendo una gran presión, debido a la gran demanda que existe, ya sea para consumo poblacional, agrícola u otro tipo de uso. Esta situación es agravada cuando no existe un adecuado control en el consumo o no existe un adecuado estudio de la real oferta y demanda que cada actividad económica requiere.

De acuerdo a Gana (2019) cerca del 70 % de la superficie del planeta es de agua; pero de ese porcentaje solo 2.5 % es agua dulce, y de esta solo un 0.4 % es aprovechable por el hombre; si bien este porcentaje pequeño abastece a la población actual, su uso no controlado para ciertas actividades puede generar un desbalance que favorezca a solo un actividad; por ejemplo en Chile cerca del 73 % del agua disponible en su territorio es consumido por la agricultura, 12 % por la industria, 9 % por la minería y 6 % para consumo humano; lo que genera conflictos en épocas en las que la lluvia no satisface a la actividad económica de mayor consumo.

En el Perú, este recurso también está siendo afectado debido al incremento de la necesidad humana de satisfacer sus actividades

económicas, lo que se traduce en sobre explotación de este recurso, creando un desbalance entre las principales actividades económicas y el consumo para la población (Ordoñez, 2011).

En el departamento de Junín y a nivel nacional a pesar de contar con una institución competente como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y sus Autoridades Locales de Agua (ALA) para la administración de los recursos hídricos, no se cuenta con valores explícitos de la cantidad de los mismos en las principales cuencas y menos aún de las unidades hidrográficas que la conforman. A esto se suma que existe un gran desbalance entre sectores que hacen uso del recurso hídrico, generando conflicto en los meses de estiajes, esto según Álvalos et al. (2013).

Por ello, resulta imprescindible estimar la cantidad real de agua que se genera en una cuenca mediante herramientas de programación como el software TETIS; por su factibilidad de modelar o estimar el recurso hídrico considerando varios factores como la evapotranspiración, precipitación, etc. para finalmente proponer estrategias que ayuden a mejorar las situaciones actuales y eviten futuros conflictos por este importante recurso.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el resultado de aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿De qué manera el modelo hidrológico TETIS determina la oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín?
- b) ¿Cuál es la demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín?



## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Práctica o social**

Con la presente investigación se da solución a la problemática del desconocimiento de la cantidad de recurso hídrico disponible en la unidad hidrográfica del río Yacus, en la provincia de Jauja del departamento de Junín, así como su dinámica; esto con la estimación de la oferta hídrica mediante el modelo hidrológico TETIS y la demanda hídrica por riego, considerando datos meteorológicos de la estación meteorológica Jauja. Asimismo, esta información servirá a las autoridades competentes para la toma de decisiones concerniente al uso racional de los recursos hídricos; además, que permitirá la proyección de infraestructura hidráulica para agua potable o riego.

### **1.3.2. Metodológica**

La presente investigación aplicó una metodología en base al modelo hidrológico distribuido TETIS para la determinación de la oferta y demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus; además se menciona cada uno de los componentes requeridos para su aplicación; por lo tanto, servirá a futuras investigaciones que requieran la aplicación de este modelo hidrológico bajo escenarios distintos.

## **1.4. Delimitaciones**

### **1.4.1. Espacial**

La investigación se desarrolló en la unidad hidrográfica del río Yacus, que involucra los distritos de Paca, San Pedro de Chunan, Yauli, Molinos, Apata, Masma Chicche, Huamalí, Masma, Julcan, Ataura, Huertas, Jauja, Yauyos, Ataura y Pancán; todos de la provincia de Jauja, departamento de Junín.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.  
Fuente: Google Earth (2019).

### **1.4.2. Temporal**

La investigación se ejecutó durante los meses de noviembre del 2019 hasta junio 2020.

### **1.4.3. Económica**

Esta investigación se realizó con recursos propios, no se contó con financiamiento externo.

## **1.5. Limitaciones**

La principal limitación que se presentó en el desarrollo de la investigación correspondió a la escasa información que se tiene del sector y al aspecto económico; no obstante, se recurrió a fuentes secundarias referente a la unidad hidrográfica del río Yacus en cuanto a sus

características geológicas, biológicas y ambientales que se requirió para la investigación.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar mediante el modelo hidrológico TETIS la oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín.
- b) Establecer la demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Ríos (2017) desarrolló la investigación: “Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS en el ámbito regional de la demarcación hidrográfica del Júcar utilizando información estándar” para obtener el grado de máster en ingeniería hidráulica y medio ambiente, considerando como población y muestra a la confederación hidrográfica del Júcar y un tipo de investigación aplicada. Estableció como objetivo principal el extrapolar la calibración de cuencas aforadas a cuencas no aforadas, mediante la modelación hidrológica distribuida y con información estándar, dentro de un estudio regional. La investigación consideró cuatro aspectos: implementación de los fenómenos kársticos en un modelo regional, análisis del desfase temporal de los datos hidrometeorológicos, la transferencia de los FCs del modelo TETIS a cuencas no aforadas y por último la influencia del flujo subterráneo en la extrapolación de la calibración. De los resultados obtenidos indica, que puede llevarse a cabo el

traslado de los factores correctores de cuencas aforadas a cuencas no aforadas o con serie de datos incompletos, solo si las características hidroclimáticas son similares. En general al no ser el modelo TETIS un modelo específico de acuíferos, es más difícilmente extrapolable el reparto del flujo subterráneo entre el flujo conectado y no conectado, por lo que para la estimación de este flujo es necesario combinar TETIS con un modelo de acuíferos como MODFLOW.

Francés y Bussi (2014) realizaron el artículo científico: “Análisis del impacto del cambio climático en el ciclo de sedimentos de la cuenca del río Ésera (España) mediante un modelo hidrológico distribuido”, considerando como población a la cuenca del río Ésera y muestra a tres puntos de batimetría en mencionada cuenca, esto bajo un tipo de investigación aplicada. Para lo cual aplicaron el modelo distribuido del ciclo hidrológico y de sedimentos TETIS en la cuenca del río Ésera (España) con el objetivo de analizar el efecto del cambio climático sobre la dinámica de los sedimentos en la cuenca y en el aterramiento del embalse de Barasona que la drena. Para analizar los efectos del cambio climático usaron como entrada del modelo las series de precipitación y temperatura del proyecto PRUDENCE para los escenarios climáticos actual y futuros A2 y B2. De los resultados de las simulaciones con TETIS llegaron a que las aportaciones de caudal tenderán a disminuir en el futuro, consecuencia directa de la disminución de la precipitación, la mayor evapotranspiración potencial y la menor humedad del suelo en la cuenca, por otra parte, el transporte de sedimentos tiende a disminuir para el escenario A2 y a aumentar para el escenario B2; esto se muestra en las tasas de aterramiento del embalse de Barasona, en el que para el escenario B2 no se prevén modificaciones relevantes con respecto a la situación del clima actual, mientras que para el escenario A2 proyecta una vida útil más larga.

Ramírez (2012) realizó la investigación: “Análisis de la implementación de un modelo hidrológico distribuido con información estándar en España” para obtener el grado de master en ingeniería y medio ambiente, la población y muestra correspondió a la cuenca del río Ésera, todo ello bajo un tipo de investigación aplicada. El objetivo principal fue la aplicación de un modelo hidrológico distribuido llamado TETIS para predecir y analizar la respuesta hidrológica en cuencas hidrográficas españolas con escasez de datos y aprovechando información estándar. Los datos fundamentales fueron series de datos meteorológicos, datos de suelo y cobertura de suelo e información sobre la hidrografía de la cuenca. Para la aplicación del modelo TETIS en las cuencas de los ríos Ésera, Siurana y Júcar desarrolló una nueva propuesta metodológica, que combina la hidrología con el aprovechamiento de información estándar, de libre acceso y disponible online. Los resultados que obtuvo los comparó para cada escenario simulado realizando diferentes análisis estadísticos para conocer el grado de incertidumbre asociado entre los valores observados frente a los simulados, de acuerdo a ello determinó que los resultados óptimos se esperan de los modelos donde se tenga mayor densidad de información hidrometeorológica lo cual ayuda a distribuir mejor la entrada de precipitación. Además, que los conjuntos de datos interpolados y mapas globales se están acercando a una resolución estándar y que pueden ser utilizados para predicciones hidrológicas en las regiones donde existen datos dispersos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Huamán (2018) realizó la investigación: “Respuesta hidrológica distribuida mediante precipitación por satélite TRMM en la cuenca del río Mantaro” para obtener el grado de ingeniero civil considerando como población y muestra a la cuenca del río

Mantaro bajo un tipo de investigación aplicada. Optó como objetivo el determinar el desempeño del modelo distribuido en la respuesta hidrológica mediante precipitación obtenida por satélite Tropical Rainfall Mapping Mission (TRMM) en la cuenca del río Mantaro y el determinar la incidencia de los factores de almacenamiento estático, evaporación, infiltración, escorrentía, percolación, interflujo, flujo subterráneo profundo, flujo base, y velocidad de flujo en la respuesta hidrológica distribuida a través del proceso de calibración. Para ello usó del modelo distribuido TETIS, a partir del producto 3B42 (precipitación diaria) del satélite TRMM, distribuidos en 26 celdas, consideradas como estaciones sintéticas dentro de 18 279.0 km<sup>2</sup> de área; asimismo, el control de caudales observados, consideró de la estación hidrométrica Mejorada, la misma que cuenta con información diaria de caudales, perteneciente a Electroperú. Los resultados a los que llegó fueron evaluados de acuerdo al coeficiente Nash-Sutcliffe mediante la etapa de calibración, dando un valor de 0.7825, el mismo que califica al modelo TETIS como muy bueno y de esta manera.

Tapia (2016) desarrolló la investigación: “Balance hídrico usando un modelo hidrológico distribuido en la unidad hidrográfica río Pindo, provincia de Loja y El Oro, Ecuador” para obtener el grado de magister scientiae en gestión integral de cuencas hidrográficas, consideró como población y muestra a la unidad hidrográfica del río Pindo, provincia de Loja y El Oro en Ecuador, todo ello bajo un tipo de investigación aplicada. Para lo cual aplicó a escala diaria el modelo distribuido de simulación lluvia-escorrentía TETIS que considera la precipitación, temperatura, caudal, tipo de cobertura, características y morfología del suelo para generar información de procesos como: intercepción, infiltración, evapotranspiración, percolación, interflujo y flujo base, todo ello con el objetivo de conocer la disponibilidad hídrica del río Pindo. Para esto consideró los procesos del ciclo hidrológico

relacionados con la cantidad de agua realizando simulaciones en el periodo 1975 a 2008, y análisis de frecuencia de caudales, además analizó la variabilidad climática para establecer la influencia en la variabilidad hidrológica en el río Pindo. Para calibrar el modelo consideró los índices Nash–Sutcliffe (E), RSR y error en volumen (Ev), mostrando resultados de rendimiento muy buenos, lo que le permitió corregir parámetros para conseguir información adecuada de los procesos hidrológicos que se desarrollan en el río Pindo. Del análisis de sensibilidad muestra que la infiltración e interflujo afectan directamente el proceso de escorrentía total, siendo el interflujo el mayor flujo de salida en la zona de estudio. Una vez calibrado y validado el modelo procedió a la simulación en la zona alta y baja del río Pindo, los resultados presentan mayor precipitación, infiltración, escorrentía directa e interflujo en la zona alta y en la zona baja mayores valores de evapotranspiración y flujo base. En cuanto a la influencia de variabilidad climática señala que, las estaciones de la zona alta y baja del río Pindo no presenta variabilidad hidrológica, pues estos resultados podrían atribuirse a que la unidad de estudio esta amortiguando los cambios producidos.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Modelo hidrológico**

Para evaluar la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica, es necesario la elaboración de un esquema por el cual se represente simplificada este sistema real, a ello se denomina modelo; este modelo puede ser utilizado para reconstruir eventos pasados o predecir los futuros; entonces, un modelo hidrológico es una herramienta para entender y representar el comportamiento de los sistemas hidrográficos y prever condiciones diferentes a las observadas (Tapia, 2016).



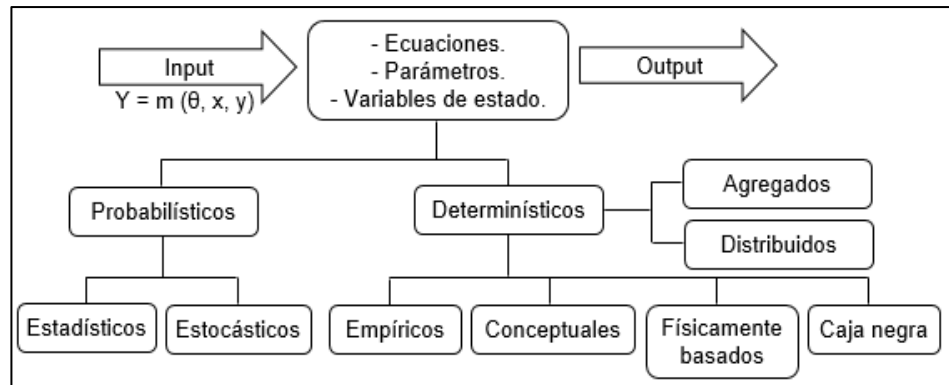


Figura 2. Clasificación de modelos hidrológicos.  
Fuente: Ramírez (2012).

Según Tapia (2016), los modelos se clasifican de acuerdo a diferentes criterios, tal como se muestra en la Figura 2, ya sea por las ecuaciones utilizadas:

- Modelos probabilísticos. - Se basan en las leyes del azar o probabilidad, son de tipo estadísticos y estocásticos. Los estadísticos tratan con ejemplos observados y los modelos estocásticos con la estructura del azar observada en ciertas series hidrológicas temporales.
- Modelos determinísticos. - Vienen establecidos por leyes físicas consideradas como exactas y que explican toda su variabilidad.

A su vez, los modelos determinísticos se clasifican en cuatro subgrupos (Tapia, 2016):

- Modelos empíricos, estimación por tablas, presenta problemas de extrapolación.
- Conceptuales, con cierto grado de simplificación.
- Físicamente basados, con parámetros medibles directamente.
- Caja negra, cuando no es posible la estimación de parámetros, calibración imprescindible y problemas de extrapolación.

## 2.2.2. Modelo distribuido TETIS

Fue desarrollado por el Instituto de ingeniería del agua y medio ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia con el propósito de conseguir la mejor forma posible de la respuesta hidrológica producida por la precipitación de lluvia o nieve, considerando los diferentes procesos físicos involucrados (Ramírez, 2012). Este modelo representa a la cuenca hidrográfica en una malla de celdas que están conectadas entre sí por la distribución topográfica, de modo que cada celda tiene un valor afiliado para los distintos parámetros necesarios para una adecuada caracterización; incorpora adecuadamente la variabilidad espacial de los ciclos hidrológicos y su base conceptual, necesita de partida datos observados para permitir su calibración, en la Figura 3 se muestra el modelo conceptual vertical del modelo TETIS (Ramírez, 2012).

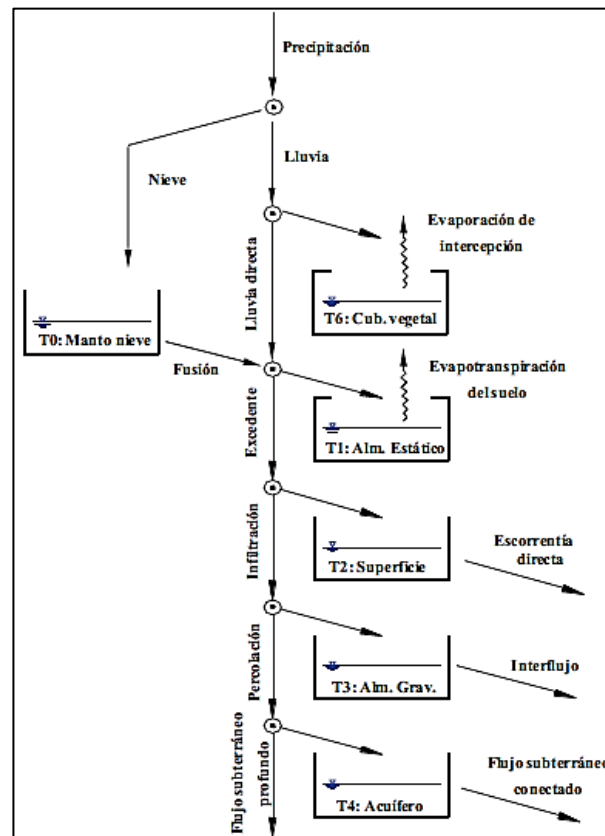


Figura 3. Esquema conceptual del ciclo hidrológico en el modelo TETIS. Fuente: Francés y Bussi (2014)

### **2.2.3. Calibración y validación**

Es un proceso que compara los valores observados (estaciones de medición) y los valores simulados, que corresponde a los resultados del modelo; entonces es la intensidad de relación entre ambos grupos de datos, tratando de que coincidan los simulados y los observados. El modelo TETIS presenta dos opciones para la calibración en la producción y traslación de la escorrentía, el proceso manual y el proceso automático (Damián y Huamán, 2017).

Es dable mencionar que, la calidad de resultados de un modelo lluvia - escorrentía, depende de:

- Calidad de datos de entrada.
- Estructura de modelo.
- Proceso de calibración.

### **2.2.4. Alcances y limitaciones del modelo distribuido TETIS**

Según Huamán (2018) tiene los siguientes alcances:

- Por ser distribuido, puede presentar la variabilidad de parámetros y climas.
- Es capaz de aprovechar gran cantidad de información de parámetros y variables, cuando exista información disponible.
- Puede modelar eventos puntuales y realizar modelamiento continuo.
- Considera procesos kársticos (acción de la nieve, laminación de embalses y sedimentos) todos juntos en un mismo modelo.
- Tiene en cuenta el flujo sub-superficial.

- Se puede obtener resultados parciales para un mejor análisis.
- Los procesos que contemplan el modelo TETIS son: producción de escorrentía, fusión de nieve, laminación de embalse, traslación a lo largo de los cauces y sub modelo de sedimentos.

Según Huamán (2018) tiene las siguientes limitaciones:

- Puede ser costoso adquirir información para los ingresos de datos.
- Escasez de información distribuida a nivel de celda.
- Depende de otras herramientas como ArcGis o Qgis, editores de Texto, hojas de cálculo, etc.
- Puede tomar más tiempo que otros modelos convencionales en la generación de inputs y en el proceso de la simulación.
- Para la traslación de la escorrentía en los cauces una sola metodología incorporada (onda cinemática).
- No considera infraestructura hidráulica.
- Solo considera una metodología para la generación de escorrentía.

## **2.2.5. Demanda del recurso hídrico**

### **Métodos de riego**

En la actualidad existen tres métodos de riego diferenciados en la forma de aplicación del agua sobre el suelo, los cuales son: superficial, aquel método donde el agua es aplicado sobre la superficie del suelo; presurizado, el cual realiza la conducción a presión del agua empleando tuberías, hasta un emisor en el punto

de aplicación; y subsuperficial, siendo el método que aplica el agua por debajo de la superficie del suelo (G. Hernández, 2017).

### **Eficiencia del sistema de riego (Efr)**

Se denomina a la relación entre la cantidad de agua proporcionada por la bocatoma y la empleada por las plantas, eficiencia de un sistema de riego, dicha cantidad de agua es captada de una fuente natural de un sistema de riego, luego se trasladará por medio de un canal principal, para luego ser derivada por un canal de distribución y al final, se derivará el agua de tal modo que, la parcela para algún cultivo del productor agrario, se beneficiará de esta. Finalmente se determinará características del caudal captado en la bocatoma, cuánta agua de esta es empleada para el riego del cultivo, y por eso es de gran importancia calcular la eficiencia de riego a fin de obtener la demanda de agua por ser un factor determinante que se requiere en un proyecto de riego en el cálculo de la demanda hídrica de todo el proyecto de riego (DGIAR, 2015).

$$Efr = Efc \times Efd \times Efa \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Efc : eficiencia de conducción.

Efd : eficiencia de distribución.

Efa : eficiencia de aplicación.

### **Eficiencia de conducción (Efc)**

Se evalúa la pérdida de agua que es el resultado de pasar desde la bocatoma hasta el final del canal principal mediante este (DGIAR, 2015):

$$Efc = \frac{\text{Caudal que llega al final del Canal principal} + \sum \text{Caudales de distribución}}{\text{Caudal de agua que entra al canal principal}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

## Eficiencia de distribución (Efd)

La eficiencia de distribución se determina a partir de la pérdida que se produce entre la entrega de agua a los usuarios para una zona de riego y la toma lateral del canal principal, es decir se requiere todos los canales de distribución de 1er, 2do, 3er, etc., orden, los cuales sirven para distribuir el agua hacia las parcelas o chacras de los usuarios (DGIAR, 2015).

La ecuación para determinar la eficiencia de un canal de distribución:

$$Efd = \frac{\text{Caudal que llega al final del Canal de Distrib.} + \sum \text{Caudales de los laterales}}{\text{Caudal de agua que entra al canal lateral}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

## Eficiencia de aplicación (Efa)

La eficiencia de aplicación de riego se refiere a la cantidad de agua útil usado en el cultivo que sobra en el suelo después de realizar la actividad de riego, todo esto en función agua total que se aplicó. En su mayoría es medido en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros que se aplica.

La eficiencia es afectada por la superficie de la parcela, por ello tiene una relación proporcional que se muestra en la siguiente ecuación cuando se tiene varias parcelas (DGIAR, 2015):

$$Efa = \frac{A_1 \times Er_1 + A_2 \times Er_2 + \dots + A_n \times Er_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

An : Área de parcela.

Er : Eficiencia de riego en parcela.

Tabla 1. Eficiencias de los sistemas de riego.

Sistema de riego	Eficiencia
Inundación	0.4
Aspersión	0.7
Goteo	0.9

Fuente: Manual de riego del Ministerio de Economía y Finanzas – 2003 (Nuñez y Hurtado, 2015).

## Evapotranspiración real del cultivo (ETc)

De manera simplificada la evapotranspiración llega a ser la adición entre la evaporación y transpiración de las plantas.

La evapotranspiración es complicada de medir directamente en campo. Pero, se puede determinar con mediciones de parámetro ambientales que resultan de la medición con aparatos específicos. Los cálculos de balance de agua permiten evaluar las cantidades de agua que se agregan y la cantidad de agua disponible en el suelo en la zona radicular de manera diaria o en un determinado tiempo. Debido a tal dificultad de obtener las mediciones precisas, la ET<sub>o</sub> se llega a calcular con los datos climatológicos obtenidos de las estaciones meteorológicas. (Steduto et al., 012).

## Cálculo de la evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial puede ser determinada mediante métodos directos o indirectos, donde en este último se considera datos meteorológicos incluyendo ecuaciones de balance de energía; no obstante, se cuenta el método de Hargreaves que relaciona los siguientes (Quispe, 2005):

$$ETP = MF.TMF.CH.CE \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

ETP es la evapotranspiración potencial en mm/mes, MF es el factor mensual de latitud que se obtiene de acuerdo a la Tabla 2, TMF es la temperatura media mensual en °F, CH es el factor de corrección por la humedad relativa, HR es la humedad relativa media mensual (%), CE es el factor de corrección por altitud de la zona de estudio.

$$CH = 0.166(100 - HR)^{0.5}, \text{ para } HR > 64\% \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$CH = 1, \text{ para } HR < 64\% \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$CE = 1.00 + \frac{(0.04 * E)}{2000} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$CF = C^{\circ} + \frac{9}{5} + 32 \quad (\text{Ecuación 9})$$



Tabla 2. Factor MF para la evapotranspiración potencial de Hargreaves.

Latitud Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	2.288	2.117	2.354	2.197	2.137	1.990	2.091	2.218	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.321	2.134	2.357	2.192	2.106	1.956	2.050	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.486	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.993	2.150	2.240	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.980	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.205	2.363	2.117	1.980	1.820	1.976	2.103	2.226	2.422	2.371	2.420
7	2.478	2.221	2.363	2.095	1.969	1.785	1.893	2.078	2.210	2.433	2.397	2.467
8	2.496	2.237	2.362	2.081	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.261	2.380	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.832	1.844	1.754	1.970	2.180	2.470	2.497	2.610
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.808	1.719	1.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.484	2.543	2.875
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.588	2.708
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.730
16	2.734	2.339	2.327	1.914	1.660	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.353	2.311	1.867	1.590	1.391	1.504	1.780	2.088	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.368	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859
20	2.835	2.377	2.293	1.818	1.529	1.318	1.431	1.719	2.056	2.512	2.691	2.889

Fuente: Quispe (2005).

## **Evapotranspiración máxima del cultivo (ET<sub>x</sub>)**

Según Steduto et al. (2012) los procedimientos para determinar la ET<sub>x</sub>, bajo condiciones estándar, se basaron en las guías de la FAO para calcular los requerimientos de agua en los cultivos (ET<sub>c</sub>), y el componente ET<sub>x</sub> de la ecuación, equivalente a ET<sub>c</sub>, los cuales son calculados a partir del producto de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) por el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), como muestra la siguiente ecuación:

$$ET_x = K_c ET_o \quad (\text{Ecuación 10})$$

## **Coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>)**

Es la proporción entre la demanda de agua del cultivo mantenido a niveles óptimos (ETA) y la demanda del cultivo de referencia (ETP) (Baldomero, 2009):

Tabla 3. Coeficientes de cultivos (kc) para cultivos anuales.

Cultivo	Días desde siembra a cosecha														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Papa	0.18	0.23	0.30	0.40	0.53	0.70	0.84	0.94	1.01	1.05	1.07	1.04	0.95	0.80	0.50
Maíz choclo	0.26	0.30	0.35	0.42	0.51	0.62	0.73	0.83	0.91	0.97	1.01	1.02	1.00	0.93	0.80
Haba en verde	0.24	0.30	0.36	0.44	0.54	0.67	0.77	0.86	0.93	0.96	0.99	1.00	0.96	0.88	0.76
Arveja verde	0.30	0.34	0.40	0.48	0.60	0.71	0.80	0.87	0.93	0.96	0.97	0.97	0.94	0.86	0.77
Trigo	0.25	0.36	0.50	0.65	0.78	0.90	0.98	1.04	1.09	1.11	1.12	1.08	0.98	0.94	0.51
Col	0.18	0.23	0.31	0.41	0.53	0.66	0.76	0.85	0.93	0.96	0.98	0.97	0.94	0.85	0.72
Acelga	0.17	0.21	0.28	0.38	0.51	0.64	0.82	0.91	0.97	1.01	1.02	0.99	0.91	0.78	-
Cebolla	0.28	0.34	0.42	0.52	0.62	0.71	0.78	0.84	0.84	0.91	0.92	0.92	0.90	0.85	0.74
Espinaca	0.18	0.22	0.32	0.48	0.71	0.92	1.04	1.06	1.06	0.94	0.73	-	-	-	-
Lechuga	0.21	0.28	0.37	0.50	0.67	0.82	0.91	0.96	0.96	0.91	0.79	-	-	-	-
Zanahoria	0.34	0.41	0.51	0.60	0.70	0.81	0.90	0.97	1.03	1.07	1.09	1.09	0.96	0.96	0.80

Fuente: Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos (Baldomero, 2009).

## 2.3. Definición de términos

- **Ciclo hidrológico:** Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación (Najarro, 2015).
- **Escorrentía:** Corresponde al agua proveniente de la precipitación que excede a la capacidad de retención superficial, fluye por diversos caminos hacia la red de drenaje, se mide y evalúa en algún sitio de interés del cauce como escorrentía o escurrimiento (Mamani, 2015).
- **Evapotranspiración:** Proceso por el cual incluye la evaporación del agua desde los cuerpos de agua, suelo desnudo y superficies vegetales, la evaporación del agua contenida en las hojas (transpiración) y la sublimación del hielo en superficies nevadas (León, 2017).
- **Unidad hidrográfica:** Sistema o ámbito geográfico que se delimita por las divisorias de aguas, donde se da el ciclo hidrológico e interactúan los factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales los mismos que varían en el tiempo (Díaz, 2017).

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

De la aplicación del modelo hidrológico TETIS en la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín, se tiene que existe recurso suficiente para su almacenamiento.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Con el modelo hidrológico TETIS la oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín, presenta una disminución en los meses de estiaje.
- b) La demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja – Junín, corresponde en mayor escala a la demanda agrícola.

## 2.5. Variables

### 2.5.1. Definición conceptual de la variable

**Variable independiente (X): Modelo hidrológico TETIS.** – Representa a la cuenca hidrográfica en una malla de celdas que están conectadas entre sí por la distribución topográfica, de modo que cada celda tiene un valor afiliado para los distintos parámetros necesarios para la caracterización (Ramírez, 2012).

**Variable dependiente (Y): Balance hídrico.** – Es la cantidad de recurso hídrico en una determina unidad hidrográfica que resulta de la diferencia de la oferta y demanda hídrica (Díaz, 2017).

### 2.5.2. Definición operacional de la variable

**Variable independiente (X): Modelo hidrológico TETIS.** – Se determinó considerando los parámetros morfométricos, hidrometeorológicos, uso de suelo y demanda agrícola.

**Variable dependiente (Y): Balance hídrico.** – Se determinó la oferta hídrica con el modelo hidrológico distribuido TETIS y la demanda hídrica por riego.

### 2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla 4. Operacionalización de las variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable independiente</b> <b>(X):</b> Modelo hidrológico distribuido TETIS	Modelo hidrológico distribuido TETIS	Elevación digital y dirección de flujo
		Acumulación de flujo y pendiente
		Almacenamiento estático
		Flujo de agua
		Cobertura vegetal
		Infiltración
		Percolación
<b>Variable dependiente</b> <b>(Y):</b> Balance hídrico	Oferta hídrica	Conductividad hidráulica
		Pérdidas del acuífero
<b>Variable dependiente</b> <b>(Y):</b> Balance hídrico	Demanda hídrica	Metros cúbicos por mes
		Metros cúbicos por mes

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

El método de investigación fue el científico pues comprendió un conjunto de postulados, reglas y normas para el estudio y la solución de los problemas de investigación, que son institucionalizados por la denominada comunidad científica reconocida (Bernal, 2006).

#### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue la aplicada, porque se utilizó los conocimientos adquiridos en las ciencias básicas, para comprender mejor la influencia de determinadas condiciones de forma teórica (Del Cid, Sandoval y Sandoval, 2007).

#### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación fue el nivel descriptivo - explicativo, pues se describió la variable de estudio, las dimensiones e indicadores de la misma y se determinó la causalidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de investigación fue no experimental, siendo así que, que no se manipuló intencionalmente la variable de estudio (R. Hernández et al., 2014).

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población correspondió a la unidad hidrográfica del río Yacus, la que involucra los distritos de Paca, San Pedro de Chunan, Yauli, Molinos, Apata, Masma Chicche, Huamali, Julcán, Ataura, Huertas, Jauja, Yauyos y Pancán todos de la provincia de Jauja y departamento Junín.

#### **3.5.2. Muestra**

No se utilizó la técnica de muestreo, sino el censo, dado que la muestra correspondió a la totalidad de la población, en este caso la unidad hidrográfica del río Yacus, que involucra los distritos de Paca, San Pedro de Chunan, Yauli, Molinos, Apata, Masma Chicche, Huamali, Julcán, Ataura, Huertas, Jauja, Yauyos y Pancán todos de la provincia de Jauja y departamento Junín.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas**

**Observación directa.** - Se realizó la observación de las características físicas de la unidad hidrográfica del río Yacus, tal como la topografía, el uso de suelos y demás.

**Análisis de documentos.** - Se recopiló información para la aplicación del modelo hidrológico distribuido TETIS tal como información meteorológica, cartográfica, entre otros.



### **3.7. Procesamiento de la información**

El procesamiento de la información se realizó por medio de matrices de tabulación y gráficos; lo cual fue procesado en base a los paquetes computacionales que ofrece Microsoft Office, software TETIS y ArcGIS.

#### **3.7.1. Procesamiento de datos del modelo hidrológico TETIS**

Para realizar el procesamiento de datos del modelo hidrológico TETIS se requieren diferentes ficheros que contienen información acerca de los parámetros geomorfológicos necesarios para realizar la propagación de flujo o información de características meteorológicas de la zona estudiada, donde los ficheros de mapas se obtienen a partir de información de mapas que son procesados previamente empleando un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS o QGIS) y, el fichero de entrada se obtiene a partir de la información proporcionada por las Estaciones meteorológicas o hidrológicas cercanas a la zona de estudio.

#### **Configuración de mapas para el modelo TETIS**

El modelo hidrológico TETIS requiere de ciertos mapas que se obtienen a partir de un procesamiento de información en el programa ArcGIS. Los necesarios para esta investigación son los siguientes:

- Mapa de modelo de elevación digital en msnm.
- Mapa de pendientes en m/m.
- Mapa de dirección de flujo.
- Mapa de celdas acumuladas.
- Mapa de almacenamiento estático del suelo en mm.
- Mapa de capacidad de infiltración en mm/hr.
- Mapa de percolación en mm/hr.

- Mapa de conductividad hidráulica interflujo en mm/hr.
- Mapa de conductividad hidráulica de acuífero en mm/hr.
- Mapa de capacidad de pérdida al acuífero profundo en mm/hr.
- Mapa de velocidad de ladera en m/s.

El programa requiere del formato ANSI/ASCII para que pueda procesar la información, debido a ello se empleó el programa ArcGIS para realizar la exportación a dicho formato cuya extensión es “.asc” (GIMHA, 2018).

### **Mapas de elevación digital**

Para obtener los mapas de elevación digital se debe realizar un tratamiento para rellenar los espacios que puedan causar errores durante la generación de los mapas de dirección y acumulación de flujo (Calderon y Lemus, 2016).

Para realizar los mapas de elevación digital se empleó las herramientas de ArcHydro, el cual permitió realizar la delimitación de la unidad hidrográfica del río Yacus, y a su vez, permitió obtener los mapas de: modelo de elevación digital, dirección de flujo, celdas acumuladas.

Para la generación del mapa de pendientes se empleó el modelo de elevación digital y la herramienta 3D Analyst/Raster\_Surface\_Slope en ArcGIS para poder generar el raster correspondiente, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de almacenamiento estático (Hu)**

De acuerdo a Huamán (2018), el almacenamiento estático proviene de la cantidad de agua que a partir de una cuenca, se elimina debido a la evapotranspiración. Por ello existe una gran

influencia de la cobertura vegetal y la temperatura del ambiente en este mapa.

El mapa se obtuvo a partir de la interpolación de acuerdo a las relaciones empíricas empleadas, donde:

- Para una altura de 5000 msnm se obtiene 200 mm de tanque de almacenamiento.
- Para una altura de 2000 msnm se obtiene 350 mm de tanque de almacenamiento.

Realizando la interpolación a partir del modelo de elevación digital, se obtuvo el mapa de almacenamiento estático, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de capacidad de infiltración (Ks)**

De acuerdo a Huamán (2018), la capacidad de infiltración se calcula a partir del agua que se desplaza desde la superficie hacia el interior del suelo, por ello el agua infiltrada viene a ser la escorrentía directa.

Para obtener unos datos más precisos, lo ideal es realizar el estudio para ver los datos de infiltración de la zona de estudio, pero debido a la gran extensión que esta posee puede llegar a ser muy costoso y requiere un periodo más largo.

Por ello, el mapa se obtuvo a partir de la interpolación en función a la siguiente relación:

- Para una altura de 5000 msnm se obtiene 80 mm/hr para suelo poroso, con zonas de recarga acuífera.
- Para una altura de 2000 msnm se obtiene 30 mm/hr para valles con suelos arcillosos, con menor capacidad de infiltración.

Realizando la interpolación a partir del modelo de elevación digital, se obtuvo el mapa de capacidad de infiltración, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de capacidad de percolación (Kp)**

De acuerdo a Huamán (2018), la capacidad de percolación tiene una dependencia directa de las características geomorfológicas de la cuenca donde, dependiendo del tipo de roca o sedimento, se ve el desplazamiento del agua a través de la primera capa superficial hacia el acuífero.

El mapa se obtuvo a partir de la interpolación utilizando la siguiente relación recomendada:

- Para una altura de 5000 msnm se obtiene 40 mm/hr para suelo poroso, con zonas de recarga acuífera.
- Para una altura de 2000 msnm se obtiene 10 mm/hr para valles con suelos arcillosos, con menor capacidad de infiltración.

Realizando la interpolación a partir del modelo de elevación digital, se obtuvo el mapa de capacidad de percolación, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de conductividad hidráulica interflujo (Kss)**

Según Calderon y Lemus (2016), recomienda que al no tener información del parámetro de conductividad hidráulica interflujo, se puede usar la siguiente relación:

$$K_s = K_{ss}$$

Realizando la comparación a partir de la capacidad de infiltración, se obtuvo el mapa de conductividad hidráulica interflujo, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de conductividad hidráulica de acuífero (Ksa)**

Según Calderon y Lemus (2016), recomienda que al no tener información del parámetro de conductividad hidráulica de acuífero, se puede usar la siguiente relación:

$$K_p = K_{sa}$$

Realizando la comparación a partir de la capacidad de percolación, se obtuvo el mapa de conductividad hidráulica de acuífero, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de capacidad de pérdida al acuífero profundo (Ksp)**

Según Calderon y Lemus (2016), recomienda que al no tener información del parámetro de conductividad hidráulica de acuífero, se puede usar la siguiente relación:

$$0.1 * K_p = K_{sp}$$

De acuerdo a Huamán (2018), la capacidad de pérdida al acuífero profundo tiene una dependencia directa de las características geomorfológicas de la cuenca donde, dependiendo del tipo de roca o sedimento.

El mapa se obtuvo a partir de la interpolación utilizando la siguiente relación recomendada:

- Para una altura de 5000 msnm se obtiene 0.5 mm/hr para suelo poroso, con zonas de recarga acuífera.
- Para una altura de 2000 msnm se obtiene 0.1mm/hr para valles con suelos arcillosos, con menor capacidad de infiltración.

Realizando la interpolación a partir del modelo de elevación digital, se obtuvo el mapa de capacidad de pérdida al acuífero profundo, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **Mapa de velocidad de ladera (Kp)**

De acuerdo a Huamán (2018), la velocidad de ladera es uno de los parámetros más tediosos para analizar, por ello se encontró un método en el cual lo relacionamos directamente con la pendiente. Por lo usual, se recomienda que la velocidad se mantenga entre 0.01 m/s y 1.00 m/s.

El mapa se obtuvo a partir de la pendiente utilizando la siguiente relación recomendada:

$$V = 1.4142 * S^{0.5}$$

Utilizando la ecuación a partir del mapa de pendientes, se obtuvo el mapa de velocidad de ladera, tal como se muestra en el Anexo N° 04.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Las técnicas y análisis de datos para la presente investigación que se consideró fue el enfoque cuantitativo de la investigación científica, siendo así que, se utilizó la estadística descriptiva la cual involucra el promedio y la variación porcentual.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Modelo hidrológico TETIS para el cálculo de la oferta hídrica**

##### **4.1.1. Cálculo de la oferta hídrica**

Se determinó mediante el modelo hidrológico TETIS donde se necesitó de parámetros tales como la precipitación, temperatura, etc., que se emplearon en el fichero de entrada INPUT, y así poder realizar la simulación con el software.

##### **Precipitación media mensual**

La precipitación media mensual se obtuvo al procesar los datos meteorológicos brindados por SENAMHI de la estación Jauja, ubicado en la provincia de Jauja, esta estación fue elegida debido a que es el más cercano a nuestra unidad hidrográfica del río Yacus.

Mediante estos datos se obtuvieron los valores de precipitación promedio mensual, cabe mencionar que se descartaron algunos años por no contar con datos completos:

Tabla 5. Valores de la precipitación media de la estación Jauja.

Mes	Precipitación (mm)
Ene	113.14
Feb	119.39
Mar	116.41
Abr	48.98
May	18.51
Jun	3.87
Jul	4.31
Ago	6.60
Set	26.00
Oct	58.30
Nov	75.67
Dic	110.24

Fuente: SENAMHI (2020).

La Tabla 5 muestra valores de la precipitación media mensual, donde los meses con poca precipitación corresponden desde abril a setiembre, y las de mayor precipitación son los meses desde octubre a marzo.

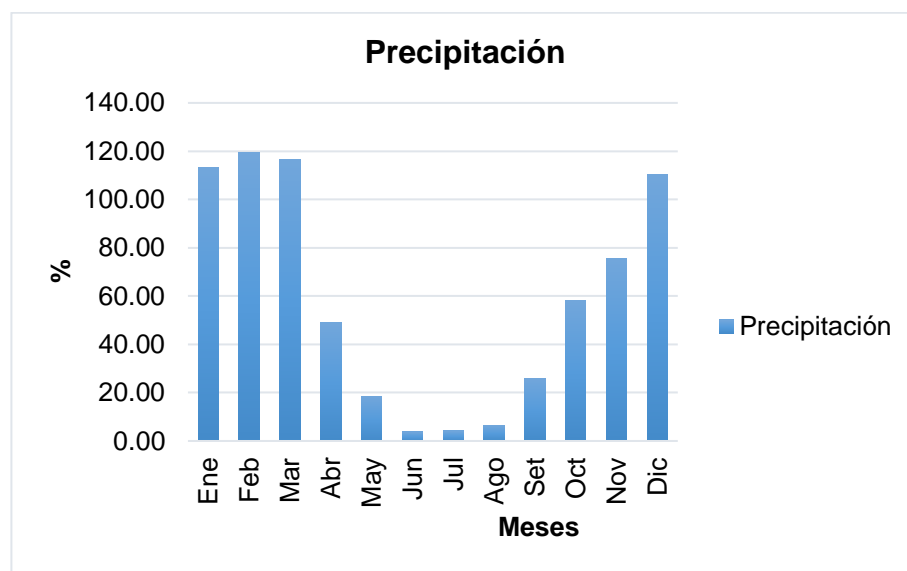


Figura 4. Precipitación media en el área de estudio.

Asimismo, en la Figura 11 se muestra la variación de la precipitación total promedio según la estación Jauja.

### Temperatura media mensual

En los datos brindados por SENAMHI, para la temperatura se tiene dos valores: máximos y mínimos, de los cuales primero se calculó la temperatura máxima media y temperatura mínima media



de cada mes, para finalmente calcular el promedio de estos valores obteniendo:

Tabla 6. Valores de la temperatura media según la estación Jauja.

Mes	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)
Ene	6.76	18.64	12.70
Feb	7.08	18.12	12.60
Mar	6.73	17.89	12.31
Abr	5.25	18.85	12.05
May	3.00	19.88	11.44
Jun	1.06	19.56	10.31
Jul	0.47	19.46	9.96
Ago	1.80	29.41	15.60
Set	4.13	19.96	12.04
Oct	5.71	20.06	12.88
Nov	6.00	20.33	13.17
Dic	6.72	19.04	12.88

Fuente: SENAMHI (2020).

En la Tabla 6 se aprecia la temperatura del área de estudio a través de la recolección de información por la estación Jauja, donde la temperatura promedio durante el año se mantiene entre 9 y 13 °C.

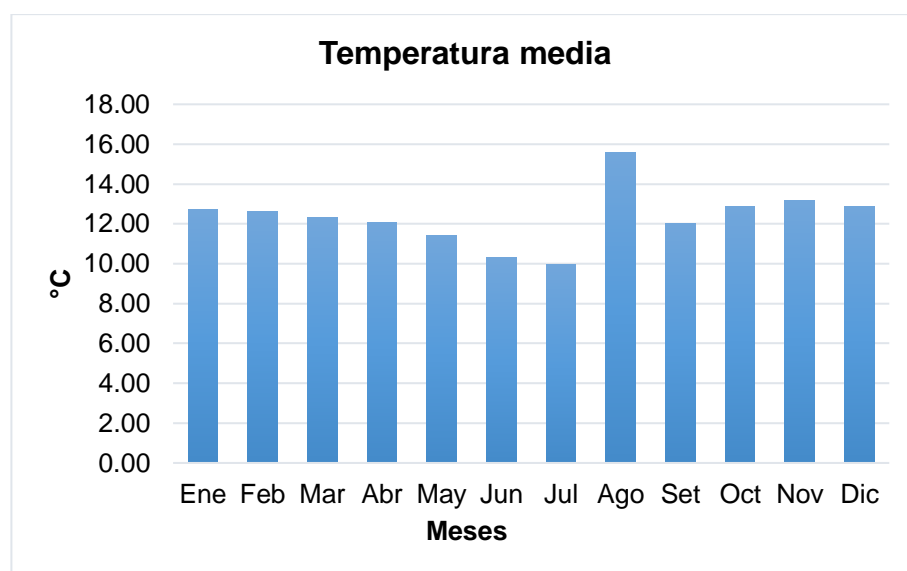


Figura 5. Valores de la temperatura media según la estación Jauja.

Por último, en la Figura 5 se muestra la variación de la temperatura promedio en la unidad hidrográfica del río Yacus, esto de acuerdo a los datos de la estación meteorológica Jauja.

## Fichero de entrada

El modelo hidrológico TETIS utiliza dos formatos diferentes para la introducción de la información meteorológica: el formato tipo CEDEX y el formato columna. El fichero puede crearse de manera manual o también lo puede generar el software. En esta investigación se utilizó la precipitación obtenida de la estación Jauja, donde la información empleada fue a partir del año 2003 hasta el año 2012 (10 años). Para el fichero de entrada, se introdujo los datos manualmente en el formato columna, obteniendo el siguiente fichero:

```
*      MODELO DE SIMULACIÓN  - T E T I S  V.9.0  -
*
* Desarrollado en:
*      UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
*      Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
*      Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental
*
* Directorio de Trabajo:  d:\Jauja
*
* Número de datos      Intervalo temporal
G      3653      1440
*
* Fecha de inicio del episodio
*      dd-mm-aaaa      hh:mm
F      01-01-2003      00:00
*
*      RESUMEN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS ESTACIONES
*      ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN
*      NOMBRE_EST      X      Y      Z
P      "P001"      446956      8696993      3378
*      ESTACIONES DE AFORO
*      NOMBRE_EST      X      Y      Z
B      "B001"      448603      8699528      3375
*
* SERIES TEMPORALES
* Dt(min)  P001  B001
1440.00  0.100  0.000
2880.00  0.300  0.000
4320.00  0.600  0.000
5760.00  2.000  0.000
7200.00  0.400  0.000
8640.00  0.000  0.000
10080.00 0.100  0.000
11520.00 0.000  0.000
12960.00 2.700  0.000
```

Figura 6. Fichero de entrada con información para el modelo TETIS.

## Caudal mensual generado

Al tener los ficheros de mapas en formato ASCII donde se encuentra la información geomorfológica, edafológica y características de la zona de estudio, y el fichero de entrada donde se encuentra la información meteorológica; se procede a realizar la simulación para generar el caudal simulado.

El caudal en el punto de aforo simulado por el software TETIS fue realizado para la información obtenida de precipitación de la estación Jauja entre los años 2003 y 2012 (10 años), donde se obtuvo el siguiente diagrama:

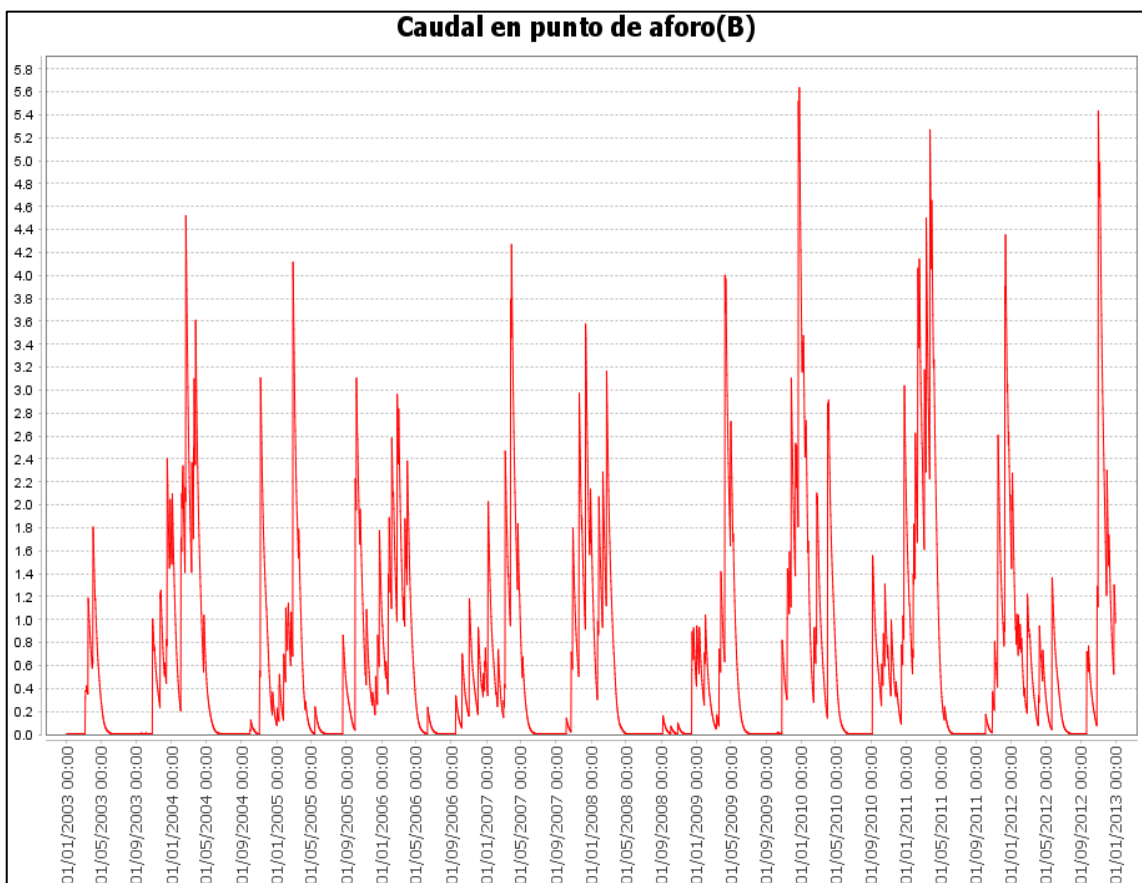


Figura 7. Caudal generado por el modelo hidrológico TETIS.

En la Figura 7 se muestra el caudal generado por el software TETIS, siendo un diagrama especificado a nivel diario, teniendo un caudal máximo generado de 5.6 m<sup>3</sup>/s.

Realizando la recolección de datos suministrado por el programa TETIS, basándonos en el modelo hidrológico generado, se procedió a realizar el procesamiento de la información a partir de lo obtenido.

Los caudales a partir del modelo hidrológico fueron obtenidos en días, por lo que, realizando la transformación de unidades, se obtiene los nuevos caudales en función a meses, esto se realizó para poder tener compatibilidad entre unidades con los caudales de demanda y así tener un mejor desarrollo del balance hídrico.

Tabla 7. Caudal mensual generado.

Mes	Oferta hídrica superficial (m <sup>3</sup> /s)	Oferta hídrica superficial (m <sup>3</sup> )	Oferta hídrica superficial (Mm <sup>3</sup> )
Enero	0.988	2646543.46	2.65
Febrero	1.207	2919180.41	2.92
Marzo	1.399	3748317.12	3.75
Abril	1.196	3100845.89	3.10
Mayo	0.294	788219.42	0.79
Junio	0.066	169979.04	0.17
Julio	0.005	12071.81	0.01
Agosto	0.025	67878.43	0.07
Setiembre	0.129	333510.05	0.33
Octubre	0.393	1052166.24	1.05
Noviembre	1.072	2779614.14	2.78
Diciembre	1.233	3303510.91	3.30

En la Tabla 7 se muestra que, entre los meses de mayo y octubre, la oferta hídrica calculada es mínima, y que entre los meses de noviembre y abril existe una mayor oferta hídrica que podría ser aprovechado.

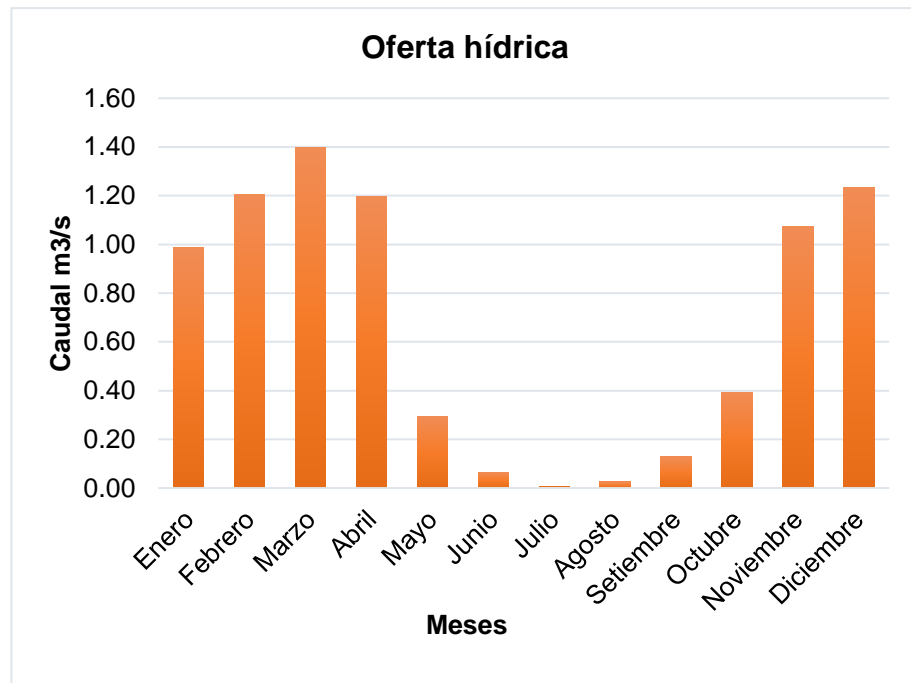


Figura 8. Variación de la oferta hídrica del río Yacus.

La Figura 8 muestra la variación de oferta hídrica en el río Yacus que fue obtenido a partir del modelo hidrológico TETIS en m<sup>3</sup>/s.

## 4.2. Cálculo de la demanda hídrica

### 4.2.1. Cálculo de la demanda del agua

#### Información meteorológica

Para calcular el balance hídrico se requiere estimar la demanda hídrica, para lo cual se determinó la demanda hídrica por riego utilizando datos de la estación meteorológica Jauja, tales como la temperatura mínima, máxima, humedad y precipitación, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8. Temperatura mínima, máxima y media en el área de estudio.

Mes	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)
Ene	6.76	18.64	12.70
Feb	7.08	18.12	12.60
Mar	6.73	17.89	12.31
Abr	5.25	18.85	12.05
May	3.00	19.88	11.44
Jun	1.06	19.56	10.31

Jul	0.47	19.46	9.96
Ago	1.80	29.41	15.60
Set	4.13	19.96	12.04
Oct	5.71	20.06	12.88
Nov	6.00	20.33	13.17
Dic	6.72	19.04	12.88

Fuente: De acuerdo a los datos de SENAMHI (2020).

En la Tabla 8 se muestra los valores promedio de la temperatura mínima, máxima, humedad y precipitación a partir de los datos de la estación Jauja (desde el 2000 al 2019).

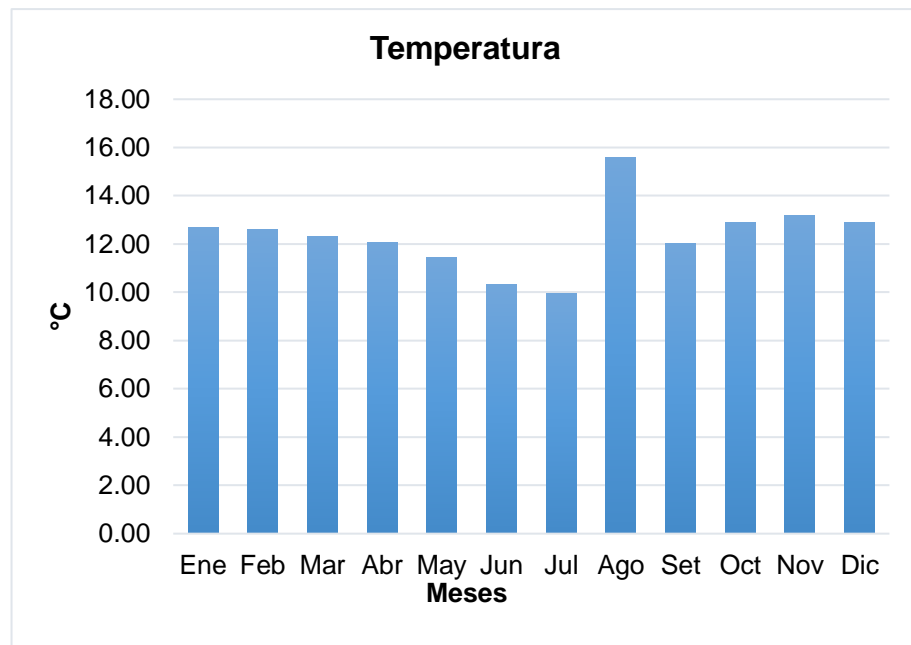


Figura 9. Temperatura media en el área de estudio.

Del mismo modo, en la Figura 9 se muestra la variación de la temperatura media según la estación Jauja, representativa de la unidad hidrográfica del río Yacus.

Tabla 9. Humedad media en el área de estudio.

Mes	Humedad (%)
Ene	62.30
Feb	66.60
Mar	67.10
Abr	62.85
May	56.10
Jun	53.40
Jul	52.65
Ago	51.50
Set	53.30
Oct	55.05

Nov	55.45
Dic	60.05

Fuente: De acuerdo a los datos de SENAMHI (2020).

En la Tabla 9 se muestra los valores promedio de la humedad promedio a partir de los datos de la estación Jauja (desde el 2000 al 2019).

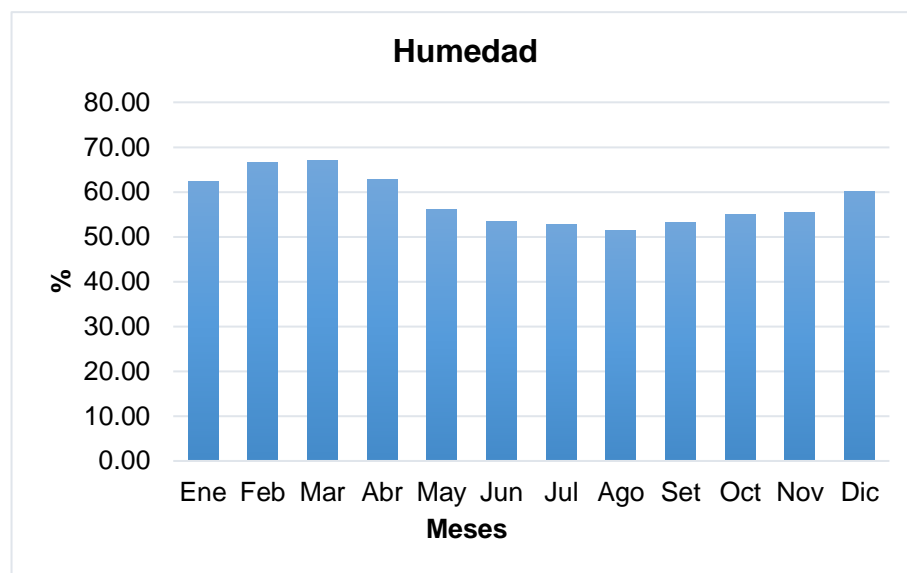


Figura 10. Humedad media en el área de estudio.

Asimismo, en la Figura 10 se muestra la variación de la humedad promedio mensual según la estación Jauja, representativa de la unidad hidrográfica del río Yacus.

Tabla 10. Precipitación media y precipitación efectiva en el área de estudio.

Mes	Precipitación (mm)	Precipitación efectiva (mm)
Ene	113.14	92.66
Feb	119.39	96.58
Mar	116.41	94.72
Abr	48.98	45.14
May	18.51	17.96
Jun	3.87	3.84
Jul	4.31	4.28
Ago	6.60	6.53
Set	26.00	24.92
Oct	58.30	52.86
Nov	75.67	66.50
Dic	110.24	90.80

Fuente: De acuerdo a los datos de SENAMHI (2020).

En la Tabla 10 se especifica la precipitación promedio mensual y la precipitación efectiva, esto con datos de la estación Jauja, representativa de la unidad hidrográfica del río Yacus.

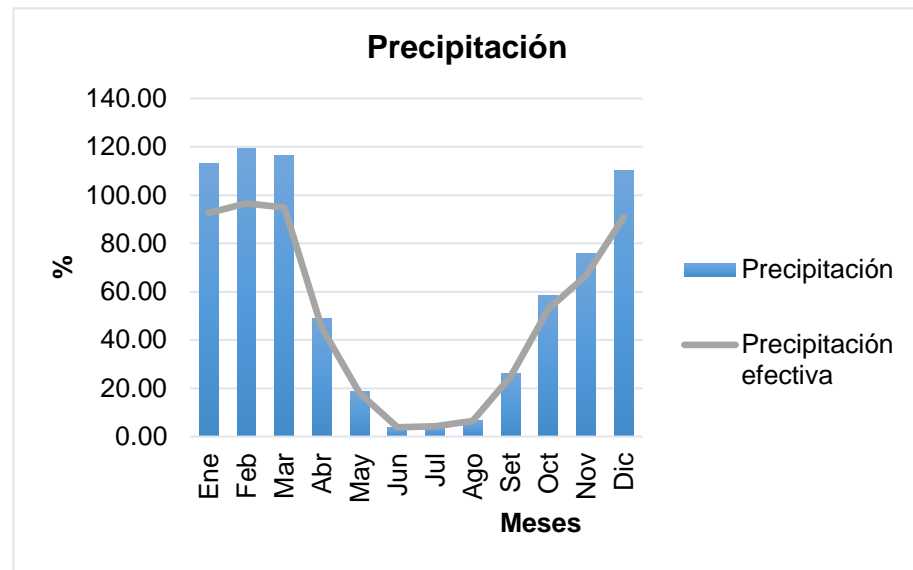


Figura 11. Precipitación media y precipitación efectiva en el área de estudio.

Del mismo modo, la Figura 11 representa la variación de la precipitación promedio mensual y la precipitación efectiva, esto con datos de la estación Jauja, representativa de la unidad hidrográfica del río Yacus.

### Tipos de cultivo

Para la elección de los cultivos se tuvo en consideración el área de los terrenos que se encuentran en el punto de interés empleados para su producción agrícola, los cuales contienen valores de Kc que nos brinda una idea de la demanda de agua de estos.

Debido a que la principal actividad realizada por la población es la agricultura, se realizó la recolección de información acerca del tipo de cultivo empleado en este sector, donde se observó la producción de papa, maíz choclo, haba verde, arveja verde, cebolla, zanahoria y lechuga; siendo la producción de los cultivos durante todo el año debido al riego y las temporadas de lluvia que



hace que se clasifiquen en cultivos permanentes, teniendo los cultivos más influyentes con sus respectivas áreas de producción:

Tabla 11. Cultivos de mayor área de producción.

Cultivo	Área (Ha)	Mes de inicio de la siembra	Tiempo de crecimiento (días)	%
Papa	168.00	Setiembre	150	17.42%
Maíz choclo	201.00	Setiembre	150	20.84%
Haba verde	296.50	Junio	150	30.74%
Arveja verde	80.00	Junio	150	8.29%
Cebolla	90.00	Junio	150	9.33%
Zanahoria	117.00	Setiembre	150	12.13%
Lechuga	12.00	Setiembre	120	1.24%
Total	964.5			100.00%

En la Tabla 11 se muestra los cultivos más empleados aguas abajo del punto de interés durante el año, donde el maíz choclo y haba verde tienen una producción de mayor cantidad en esta área.

Tabla 12. Valores de Kc de los cultivos correspondientes al área de estudio.

Cultivo	Inicio	Días				
		30	60	90	120	150
Papa	Setiembre	0.30	0.70	1.01	1.07	0.50
Maíz choclo	Setiembre	0.35	0.62	0.91	1.01	0.80
Haba verde	Junio	0.36	0.67	0.93	0.99	0.76
Arveja verde	Junio	0.40	0.71	0.93	0.97	0.77
Cebolla	Junio	0.42	0.71	0.84	1	0.81
Zanahoria	Setiembre	0.35	0.85	1	0.92	0.74
Lechuga	Setiembre	0.37	0.82	0.96	0.79	0

Del mismo modo, en la Tabla 12 se especifica los Kc de cultivos de acuerdo a lo considerado en la Tabla 11 y Tabla 3, donde la papa, maíz choclo, haba y arveja verde, cebolla y zanahoria presentan un periodo de crecimiento de 150 días a diferencia de la lechuga de 120 días.

### Requerimiento de agua de los cultivos

En primera instancia se calculó la evapotranspiración mediante el método de Hargreaves tal como se especifica en el numeral 2.2.5, lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13. Evapotranspiración potencial de acuerdo a Hargreaves.

Mes	Factor de corrección por altitud (CE)	Factor mensual de latitud (MF)	Factor de corrección por humedad relativa (CH)	Temperatura (TMF) (°F)	ETP (mm/mes)
Ene	1.07	2.62	1.00	54.86	153.32
Feb	1.07	2.29	0.96	54.68	128.16
Mar	1.07	2.35	0.95	54.15	129.38
Abr	1.07	2.01	1.00	53.69	114.98
May	1.07	1.81	1.00	52.59	101.37
Jun	1.07	1.82	1.00	50.55	97.97
Jul	1.07	1.73	1.00	49.93	92.02
Ago	1.07	1.95	1.00	60.08	125.33
Set	1.07	2.17	1.00	53.68	124.40
Oct	1.07	2.48	1.00	55.19	145.82
Nov	1.07	2.52	1.00	55.70	149.51
Dic	1.07	2.64	1.00	55.18	155.25

En la Tabla 13 se muestra la evapotranspiración mensual obtenida de acuerdo a la ecuación de Hargreaves; asimismo, se especifica cada uno de los factores involucrados para su obtención tal como el factor de corrección por altitud, el factor mensual de latitud, el factor de corrección por humedad relativa y la temperatura.

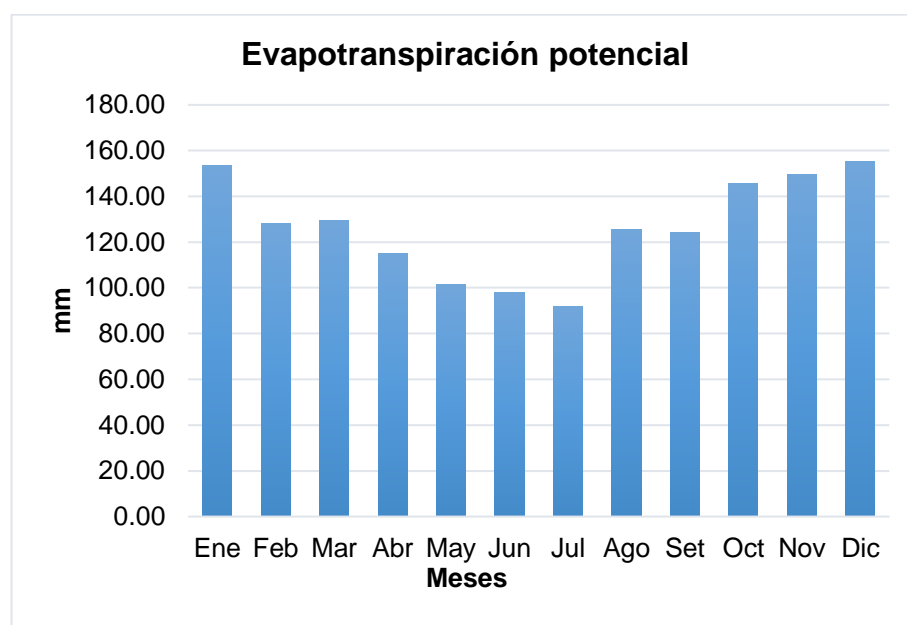


Figura 12. Evapotranspiración potencial.

Del mismo modo, en la Figura 12 se detalla la variación de la evapotranspiración potencial mensual en la unidad hidrográfica del río Yacus.

## Requerimiento de agua para cultivos

Tabla 14. Requerimiento de agua para cultivos mensualmente en m<sup>3</sup>.

Número de días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Hectáreas	486.00	0.00	0.00	0.00	0.00	466.50	466.50	466.50	964.50	964.50	498.00	498.00
Promedio K <sup>c</sup>	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.68	0.91	0.65	0.74	0.97	1.01
ETP	153.32	128.16	129.38	114.98	101.37	97.97	92.02	125.33	124.40	145.82	149.51	155.25
ETA	101.42	0.00	0.00	0.00	0.00	37.07	62.99	114.38	80.69	107.94	145.43	156.46
Precipitación Potencial	113.14	119.39	116.41	48.98	18.51	3.87	4.31	6.60	26.00	58.30	75.67	110.24
Precipitación efectiva	92.66	96.58	94.72	45.14	17.96	3.84	4.28	6.53	24.92	52.86	66.50	90.80
DHA (mm)	8.76	-96.58	-94.72	-45.14	-17.96	33.23	58.71	107.86	55.77	55.09	78.92	65.66
Demanda de agua (m <sup>3</sup> )	4259.30	0.00	0.00	0.00	0.00	15502.93	27388.98	50314.44	53794.43	53129.53	39304.52	32698.94

Según DGIAR (2015), cuando se da el riego por inundación, el requerimiento de agua de cada uno de los cultivos obtenidos mediante el programa requieren un eficiencia de 40 % para ser comparado con la oferta hídrica.

Tabla 15. Demanda del recurso hídrico.

MES	Demanda de agua (m <sup>3</sup> )	Demanda de agua con eficiente de 40 % (m <sup>3</sup> )
Enero	4259.30	10648.24
Febrero	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00
Abril	0.00	0.00
Mayo	0.00	0.00
Junio	15502.93	38757.34
Julio	27388.98	68472.46
Agosto	50314.44	125786.09
Septiembre	53794.43	134486.08
Octubre	53129.53	132823.83
Noviembre	39304.52	98261.29
Diciembre	32698.94	81747.34

En la Tabla 15 se observa que existe una disminución notable de la demanda de agua, principalmente en los meses de abril y mayo, porque se realiza la cosecha de los productos en gran parte. Pero en los meses de julio y agosto se requiere mayor demanda agrícola por la siembra de productos mediante riego.

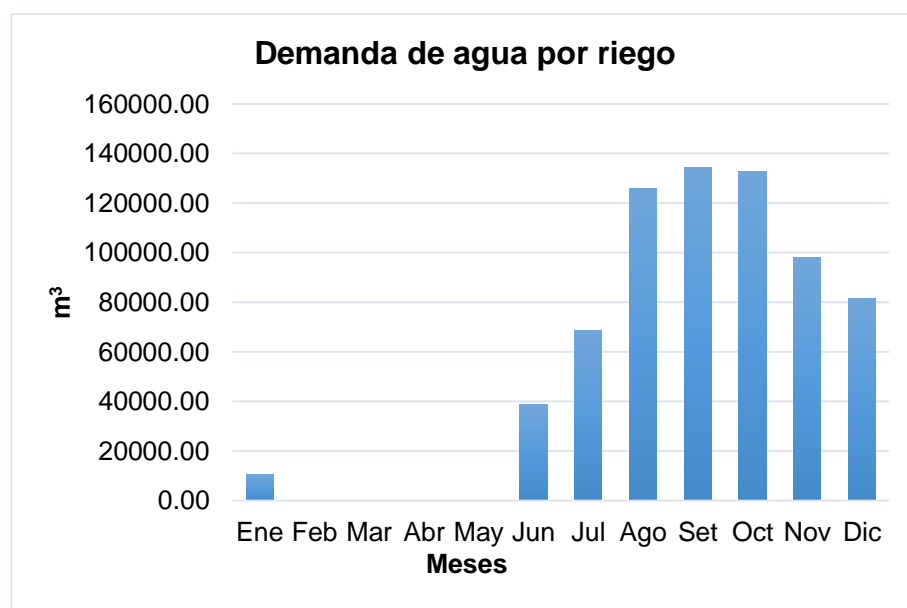


Figura 13. Variación de la demanda hídrica del río Yacus.

La Figura 13 muestra la variación de demanda hídrica de riego en el río Yacus.

### 4.3. Balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus

Para determinar el balance hídrico de agua para el uso de riego del río Yacus, se tuvo que realizar una comparación entre la oferta y demanda hídrica calculados anteriormente (la oferta hídrica calculado mediante el modelo hidrológico con el software TETIS y la demanda hídrica).

#### 4.3.1. Balance del recurso hídrico

Finalmente, se realizó el balance hídrico entre la oferta de las aguas del río Yacus y la demanda de las áreas agrícolas, todo realizado en función al punto de interés.

Tabla 16. Balance hídrico del río Yacus.

Mes	Oferta hídrica superficial (m <sup>3</sup> )	Demanda hídrica total (m <sup>3</sup> )	Balance hídrico superficial total (m <sup>3</sup> )	Balance hídrico superficial total (Mm <sup>3</sup> )
Ene	2646543.46	10648.24	2635895.22	2.64
Feb	2919180.41	0.00	2919180.41	2.92
Mar	3748317.12	0.00	3748317.12	3.75
Abr	3100845.89	0.00	3100845.89	3.10
May	788219.42	0.00	788219.42	0.79
Jun	169979.04	38757.34	131221.70	0.13
Jul	12071.81	68472.46	-56400.65	-0.06
Ago	67878.43	125786.09	-57907.66	-0.06
Set	333510.05	134486.08	199023.97	0.20
Oct	1052166.24	132823.83	919342.41	0.92
Nov	2779614.14	98261.29	2681352.85	2.68
Dic	3303510.91	81747.34	3221763.57	3.22

Para un mejor entendimiento se realizó un diagrama de barras, donde se muestra la variación del volumen en Mm<sup>3</sup> del río Yacus durante un año, analizados cada mes.

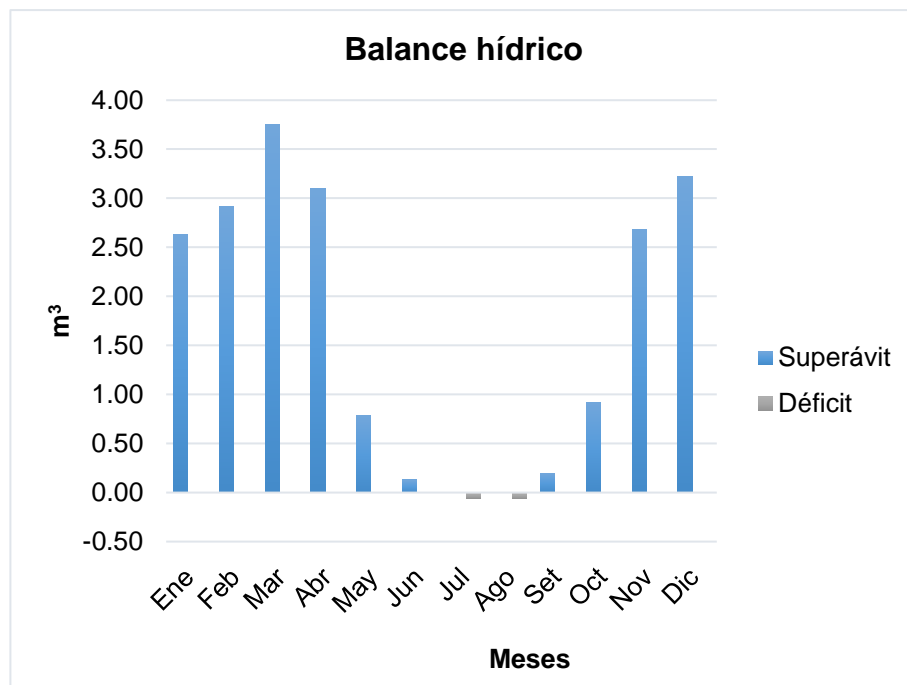


Figura 14. Balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus.

En la Figura 14 se muestra como varía el volumen, donde en los meses de julio y agosto se muestra un déficit del recurso hídrico, mientras que en los meses de setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio existe un exceso considerable, principalmente en los meses de marzo y diciembre; esto se debe a que las lluvias en la sierra central se pronuncian en las estaciones de primavera y verano en gran parte, pero en las estaciones de invierno y otoño, la zona es afectado por una gran sequía.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Modelo hidrológico TETIS para el cálculo de la oferta hídrica**

La Tabla 5 muestra la precipitación media mensual, donde como valor mínimo se obtuvo en el mes de julio con 3.87 mm y como valor máximo se obtuvo en el mes de febrero con 119.39 mm, siendo en la sierra central época de estiaje durante las estaciones de invierno y otoño, y época de intensa lluvia las estaciones de primavera y verano; esto debido a la existencia de la cordillera de los Andes.

La Tabla 6 muestra la temperatura media mensual, donde el valor mínimo se obtuvo en el mes de julio con 9.96 °C, lo cual muestra una relación coherente entre los valores de precipitación y temperatura durante este mes, y como valor máximo se obtuvo en el mes de noviembre con 13.17 °C, lo cual, según IGP (2005), en el sector centro sur del valle Mantaro, lugar donde se encuentra la zona de estudio, se presentan los valores más bajos en el mes de julio y los máximos en el mes de noviembre, con esto podemos asegurar que los datos usados fueron obtenidos adecuadamente.

La Tabla 7 muestra los valores del caudal obtenido a partir del modelo hidrológico proporcionado por el software TETIS, previamente adecuados

para obtener caudales por mes, estos valores de caudal tienen un valor máximo de 1.399 m<sup>3</sup>/s para el mes de marzo, pero en el mes de julio llega a tener un valor mínimo de 0.005 m<sup>3</sup>/s. También, muestra los valores de oferta hídrica superficial con un volumen máximo de 3748317.12 m<sup>3</sup> y un volumen mínimo de 12071.81 m<sup>3</sup> para los meses de marzo y julio, respectivamente.

Cabe mencionar que este procedimiento se realizó según los antecedentes tal como Ríos (2017), Francés y Bussi (2014), Ramírez (2012) y Tapia (2016).

## **5.2. Cálculo de la demanda hídrica**

Para el cálculo de la demanda se tuvo que emplear de igual manera que la oferta, parámetros meteorológicos, debido a ello, la Tabla 8 muestra la temperatura mínima, máxima y media según la estación meteorológica Jauja, donde el valor mínimo se obtuvo en el mes de julio con 9.96 °C, lo cual muestra una relación coherente entre los valores de precipitación y temperatura durante este mes, y como valor máximo se obtuvo en el mes de noviembre con 13.17 °C, lo que significa que el desarrollo de los cultivos puedan sufrir por condiciones climáticas extremas en el mes de julio, ya que en este mes se llega a temperaturas mínimas y esto impide el proceso de crecimiento afectando el desarrollo de los cultivos; del mismo modo, en la Tabla 9 se muestra los valores promedio de la humedad promedio, y la precipitación promedio tanto como efectiva se especifica en la Tabla 10 donde los mayores valores se dieron desde el mes de octubre a marzo llegando a alcanzar hasta 119.39 mm, mientras que los menores valores se dan desde abril a setiembre con un mínimo de 3.87 mm; siendo en la sierra central época de estiaje durante las estaciones de invierno y otoño, y época de intensa lluvia las estaciones de primavera y verano; esto debido a la existencia de la cordillera de los Andes.

Uno de los aspectos importantes para el cálculo de la demanda por riego, corresponde a la evapotranspiración obtiene agua a través de evaporación del agua contenido en el suelo y la transpiración de los



cultivos, la cual fue obtenida por la ecuación de Hargreaves tal como se muestra en la Tabla 13, donde el mayor valor se en el mes de noviembre con 149.51 mm/mes, mes en el cual se genera la mayor temperatura según los datos meteorológicos.

Para determinar la demanda hídrica, se siguió mediante el cálculo de agua para riego, donde según la Tabla 11 es necesario cubrir las necesidades para la producción de papa, maíz choclo, haba y arveja verde, cebolla, zanahoria y lechuga, haciendo un total de 964.5 ha a cubrir.

El porcentaje de producción de los cultivos principales son: el haba verde con 30.74 %, el maíz choclo con 20.84 % y papa con 17.42 %.

Mientras que el porcentaje de producción de los cultivos secundarios son: lechuga con 1.24 %, arveja verde con 8.29 % y cebolla con 9.33 % del área agrícola.

De acuerdo a la Tabla 14 se determinó los requerimientos de agua obtenidos por mes de los cultivos especificados anteriormente teniendo en cuenta que, el requerimiento de agua en el mes de setiembre es 53794.43 m<sup>3</sup>/mes siendo el mes de mayor demanda, mientras que en el mes de junio, el requerimiento de agua es 15502.93 m<sup>3</sup>/mes, siendo el mes de menor demanda.

En la demanda hídrica para riego de cultivo se consideró un 40 % de eficiencia debido al método de riego por inundación, teniendo que, según la Tabla 15, la demanda hídrica con eficiencia para el mes de setiembre es 134486.08 m<sup>3</sup>, siendo el valor más alto, mientras que para el mes de mayo es 38757.34 m<sup>3</sup> siendo el valor más bajo.

Es dable mencionar que, se consideró lo recomendado en investigaciones similares como la de Ríos (2017), Francés y Bussi (2014), Ramírez (2012) y Tapia (2016).

### **5.3. Balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus**

Haciendo el balance hídrico entre la oferta hídrica mostrada en la Tabla 7 y la demanda hídrica mostrada en la Tabla 15, se obtuvo los resultados

en la Tabla 16, teniendo déficit en el mes de julio y agosto con un déficit máximo de 57907.66 m<sup>3</sup> en agosto y un superávit desde setiembre a junio con un superávit máximo de 3748317.12 m<sup>3</sup> para el mes de marzo; este déficit coincide con los meses de estiaje, lo cual según FAO (2013), recomienda el almacenamiento del recurso hídrico durante las épocas de lluvia para poder emplearse en las épocas de estiaje mediante diferentes estructuras hidráulicas, estas pueden ser cisternas, reservorios o incluso mediante estanques de trinchera o mampostería. También pueden emplearse estanques de material sintético industrializado, pero este último debe usarse con el sistema de riego por goteo.

## CONCLUSIONES

1. Se aplicó el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, obteniéndose una oferta deficiente en comparación a la demanda agrícola, siendo posible almacenar 20.35 Mm<sup>3</sup> que no se emplean durante las épocas de lluvia.
2. El software TETIS mediante un modelo hidrológico generó caudales simulados efectivamente a partir de los datos meteorológicos y mapas con características de suelo, acuíferos y plantas que fueron trabajados en ArcGIS de lo que se obtuvo, una oferta hídrica de 20 921 836.93 m<sup>3</sup> de volumen anualmente, donde los meses de menor oferta se da entre junio a agosto.
3. Los distritos donde influye mayormente la demanda agrícola son los distritos de Huertas y Pancán, de acuerdo a ello se tuvo los datos para el cálculo de la demanda por riego correspondiente a un volumen de 690982.68 m<sup>3</sup> (0.69 Mm<sup>3</sup>) por año.

## RECOMENDACIONES

1. Al determinar la oferta hídrica con el programa TETIS, se tuvo muchas limitaciones debido a la escasa información como características geomorfológicas del área de estudio, por lo tanto, se recomienda realizar investigaciones caracterizando y realizando mapas geomorfológicos para ser usados mediante programas para generar una base de datos que se pueda usar para realizar una mayor cantidad de proyectos en la zona de estudio que pueda satisfacer los problemas que pueda tener la población.
2. Se recomienda trabajar el programa TETIS con mucho cuidado, debido a que se tuvo problemas con los mapas generados en el ArcGIS, esto debido a que no resultaba compatibles con el programa. Se necesita emplear los mapas en el formato ASCII, con mismo tamaño de celdas, con la misma cantidad de filas y columnas, y a su vez, tener las mismas coordenadas en X e Y.
3. Para el cálculo de la demanda, se recomienda tener la información necesaria de acuerdo a la necesidad y el tipo de uso del recurso hídrico de la población, estas pueden ser, como en esta investigación, agua para el cultivo donde se necesitó información de los cultivos producidos en la zona de estudio, y las características meteorológicas obtenidas por las estaciones y características físicas de las plantas, también se podría realizar el estudio de demanda energética, o demanda de agua para consumo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvalos, G., Oria, C., Cubas, F., Díaz, A., Acuña, D., Quispe, N., & Rosas, G. (2013). *Plan de gestión integrado de recursos hídricos de la subcuenca del río Shullcas* (Primera; E. Villegas, F. Cubas, G. Rosas, & E. Silvestre, Eds.). Lima: SENAMHI.
- Baldomero, O. (2009). *Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. 34. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.05.061>
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (Segunda; L. Gaona, Ed.). México: Pearson Educación.
- Calderon, D., & Lemus, L. (2016). Guía metodológica para el reprocesamiento de datos y la ejecución del modelo hidrológico TETIS. *Universidad Santo Tomas*, 1–33.
- Damián, R., & Huamán, H. (2017). *Estimación de umbrales de precipitación, para un sistema de alerta temprana en deslizamiento de laderas, en el distrito de Cuenca, provincia y región de Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Del Cid, A., Sandoval, R., & Sandoval, F. (2007). *Investigación. Fundamentos y metodología* (Primera; H. Rivera, Ed.). México: Pearson Educación.
- DGIAR. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego* (Primera; Dirección General de Infraestructura agraria y riego, Ed.). San Isidro - Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Díaz, J. (2017). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante*

- balance hídrico en la cuenca del río Cumbaza - San Martín, 2016.*  
Universidad Peruana Unión.
- FAO. (2013). Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia. En *Santiago de Chile*. <https://doi.org/10.1111/jce.13019>
- Francés, F., & Bussi, G. (2014). Análisis del impacto del cambio climático en el ciclo de sedimentos de la cuenca del río Ésera (España) mediante un modelo hidrológico distribuido. *Revista Iberoamericana del Agua*, 1(1), 14–25. [https://doi.org/10.1016/S2386-3781\(15\)30004-9](https://doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30004-9)
- Gana, S. (2019). *Revalorización del ciclo de agua en el parque O'higgins*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- GIMHA. (2018). *Manual del usuario Programa TETIS v.9.0.1*. (477), 1–43.
- Google Earth. (2020). Google Earth Pro. Recuperado de <https://www.google.es/earth/download/gep/agree.html>
- Hernández, G. (2017). *Evaluación y propuesta de mejora en la eficiencia del uso del agua en la zona de riego Los Peroles, Rioverde, S.L.P.* Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta; J. Mares, Ed.). México: McGRAW-HILL.
- Huamán, R. (2018). *Respuesta hidrológica distribuida mediante precipitación por satélite TRMM en la cuenca del río Mantaro*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- IGP. (2005). Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la Cuenca del Río Mantaro: Volumen I. En *Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)*.

- León, R. (2017). *Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura, considerando la incidencia del cambio climático*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Mamani, W. (2015). *Generación de descargas medias mensuales de la cuenca del río Coata mediante el método determinístico - estocástico Lutz Scholz*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Najarro, D. (2015). *Calibración del modelo Lutz Scholtz y generación de caudales extendidos aplicado a la cuenca del río Chacco*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Ordoñez, J. J. (2011). *Balance hídrico superficial* (Primera; Z. Novoa, Ed.). Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Quispe, J. (2005). *Calibración del modelo Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración potencial en la región Junín, Perú* (Universidad de Ayacucho Federico Froebel). Recuperado de [https://www.udaff.edu.pe/sitio/archivos/files/articulo\\_05%281%29.pdf](https://www.udaff.edu.pe/sitio/archivos/files/articulo_05%281%29.pdf)
- Ramírez, L. (2012). *Análisis de la implementación de un modelo hidrológico distribuido con información estándar en España*. Universitat Politècnica de València.
- Ríos, R. (2017). *Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS en el ámbito regional de la demarcación hidrográfica del Júcar utilizando información estándar*. Universitat Politècnica de València.
- SENAMHI. (2020). Datos hidrometeorológicos. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Respuesta del

rendimiento de los cultivos al agua. En FAO (Ed.), *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (Vol. 66).  
<https://doi.org/978-92-5-308564-4>

Tapia, A. (2016). *Balance hídrico usando un modelo hidrológico distribuido en la unidad hidrográfica río Pindo, provincia de Loja y El Oro, Ecuador* (Universidad Nacional Agraria La Molina).  
<https://doi.org/10.1016/j.jgo.2013.09.111>



## **ANEXOS**

**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Matriz de consistencia**

**Tesis: “Modelo hidrológico distribuido Tetis para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín”**

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál es el resultado de aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> a) ¿De qué manera el modelo hidrológico TETIS determina la oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín? b) ¿Cuál es la demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Aplicar el modelo hidrológico TETIS para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> a) Determinar mediante el modelo hidrológico TETIS la oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín. b) Establecer la demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> De la aplicación del modelo hidrológico TETIS en la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín, se tiene que existe recurso suficiente para su almacenamiento.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> a) Con el modelo hidrológico TETIS la oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín, presenta una disminución en los meses de estiaje. b) La demanda hídrica de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín, corresponde en mayor escala a la demanda agrícola.</p>	<p><b>Variable independiente (X<sub>1</sub>):</b> Modelo hidrológico TETIS.</p> <p><b>Variable dependiente (Y):</b> Balance hídrico.</p>	<p>- Modelo hidrológico TETIS.</p> <p>- Oferta hídrica.</p> <p>- Demanda hídrica.</p>	<p>- Elevación digital.</p> <p>- Dirección de flujo.</p> <p>- Acumulación de flujo.</p> <p>- Pendiente.</p> <p>- Almacenamiento estático.</p> <p>- Flujo de agua.</p> <p>- Cobertura vegetal.</p> <p>- Infiltración.</p> <p>- Percolación.</p> <p>- Conductividad hidráulica.</p> <p>- Pérdidas del acuífero.</p> <p>- Metros cúbicos por mes.</p> <p>- Metros cúbicos por mes.</p>	<p><b>Método general:</b> Método científico.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo - explicativo.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental.</p> <p><b>Población:</b> Correspondió a la unidad hidrográfica del río Yacus, la que involucra los distritos de Paca, San Pedro de Chunan, Yauli, Molinos, Apata, Masma Chicche, Huamali, Julcán, Ataura, Huertas, Jauja, Yauyos y Pancán todos de la provincia de Jauja del departamento de Junín.</p> <p><b>Muestra:</b> No se utilizó la técnica de muestreo, sino el censo, dado que la muestra correspondió a la totalidad de la población, en este caso la unidad hidrográfica del río Yacus, que involucra los distritos de Paca, San Pedro de Chunan, Yauli, Molinos, Apata, Masma Chicche, Huamali, Julcán, Ataura, Huertas, Jauja, Yauyos y Pancán todos de la provincia de Jauja del departamento de Junín.</p>

**ANEXO N° 02: DATOS DE SENAMHI DE LA ESTACIÓN JAUJA**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e  
Hidrología del Perú - SENAMHI

Dirección Zonal 11

### "AÑO DE LA UNIVERSALIZACION DE LA SALUD"

ESTACIÓN:

**CO JAUJA**

LATITUD: 11°47'11.97" Sur  
LONGITUD: 75°29'12.76" Oeste  
ALTITUD: 3366 msnm

DPTO.: Junin  
PROV.: Jauja  
DIST.: Jauja

Parametro: **Temperatura Minima Promedio Mensual (°C)**

Dia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2000	5.3	5.2	4.5	4.3	2.9	2.1	0.6	1.7	2.6	5.1	4.1	5.7
2001	7.3	6.9	6.8	3.9	3.0	0.3	2.2	0.7	4.6	5.5	6.6	6.1
2002	5.8	7.4	7.1	5.5	2.7	0.8	2.2	1.7	4.7	5.8	6.1	6.5
2003	7.2	7.0	6.8	5.5	3.8	1.2	-0.3	2.0	3.8	4.9	5.3	7.2
2004	6.4	6.9	6.6	4.4	2.3	0.9	1.6	1.3	4.2	6.2	5.8	6.8
2005	5.1	6.7	6.7	5.4	2.1	0.1	-0.3	1.4	4.0	5.3	4.9	6.0
2006	6.5	6.7	6.8	5.5	0.5	2.2	-0.7	2.5	3.8	6.1	6.5	7.0
2007	7.1	6.9	6.9	5.6	2.9	-0.7	0.8	1.3	3.3	5.1	5.7	5.9
2008	6.8	6.5	5.5	4.3	1.7	0.5	-0.2	2.3	3.8	5.9	6.0	6.5
2009	7.2	7.7	6.7	5.6	2.8	0.3	0.4	1.9	3.3	4.7	6.6	7.0
2010	8.0	7.9	8.0	5.4	2.6	1.0	-0.9	0.4	4.3	5.5	5.9	7.2
2011	7.7	7.6	7.4	5.4	2.9	-0.1	-0.2	0.9	5.4	6.0	6.8	7.1
2012	6.7	7.6	6.5	6.2	3.3	1.0	-1.0	0.7	3.5	5.7	6.7	8.3
2013	7.2	7.6	7.8	4.3	3.3	2.5	0.9	1.9	3.9	6.8	6.5	7.4
2014	7.1	7.5	6.4	5.9	4.6	1.7	2.4	2.3	5.6	6.0	6.3	7.6
2015	7.1	7.1	7.2	6.4	4.5	2.0	0.8	2.5	5.7	7.0	6.8	7.2
2016	7.0	8.6	7.5	6.0	2.7	0.9	0.1	8.2	3.8	6.1	5.6	7.1
2017	7.8	6.4	7.5	6.6	5.7	2.5	-0.7	0.9	4.8	5.8	6.2	6.8
2018	6.2	7.2	6.8	4.3	2.1	1.3	1.2	1.9	3.0	5.8	5.7	4.1
2019	5.7	6.2	7.8	5.5	3.5	0.6	0.5	0.4	4.4	4.9	5.9	7.0

INFORMACION PREPARADA PARA:

**BACH. JOSE FERNANDO CARDENAS TUNCAR**

FECHA: 03 DE SETIEMBRE DEL 2020

TESIS:

**MODELO HIDROLOGICO DISTRIBUIDO TETIS PARA LA DETERMINACION DEL BALANCE  
HIDRICO DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA DEL RIO YACUS, JAUJA - JUNIN**



Dirección Zonal 11  
JR. 3 DE MARZO S/N. 3RA  
CUADRA, Concepción  
Tel: 990866893



Firmado digitalmente por SANCHEZ  
PAUCAR Eusebio Rolando FAU  
20131380028 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 14.09.2020 14:31:14 -05:00

VALIDO SOLO CON LA FIRMA DIGITAL



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Dirección Zonal 11

**"AÑO DE LA UNIVERSALIZACION DE LA SALUD"**

ESTACIÓN: **CO JAUJA**

LATITUD: 11°47'11.97" Sur  
LONGITUD: 75°29'12.76" Oeste  
ALTITUD: 3366 msnm

DPTO.: Junin  
PROV.: Jauja  
DIST.: Jauja

Parametro: **Temperatura Maxima Promedio Mensual (°C)**

Dia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2000	16.6	16.4	16.0	18.1	19.9	20.4	20.0	19.7	20.1	19.5	21.0	20.8
2001	16.7	17.0	16.1	17.4	18.9	17.3	18.1	18.1	18.7	19.0	18.3	18.7
2002	18.6	17.5	17.7	17.2	17.9	18.3	17.0	18.3	18.0	18.2	18.0	18.3
2003	18.7	17.6	17.4	18.2	19.0	19.3	19.0	19.2	19.5	20.6	20.9	18.0
2004	19.8	17.8	17.7	19.0	20.2	18.7	18.3	17.3	17.4	18.6	19.3	17.3
2005	18.5	18.5	17.7	19.1	20.5	20.3	19.8	20.3	20.0	19.0	20.4	17.8
2006	18.2	17.7	17.1	17.8	19.2	18.6	18.7	19.0	19.8	20.0	18.4	19.3
2007	19.0	18.2	16.7	17.4	18.6	19.1	18.8	19.8	18.6	19.7	20.4	18.8
2008	16.5	16.7	16.6	19.1	19.4	19.7	19.5	20.2	20.3	19.4	20.3	19.5
2009	17.9	17.6	17.1	17.7	19.3	19.8	19.5	20.3	21.0	20.1	19.4	18.3
2010	19.4	19.6	19.5	21.2	21.4	20.8	21.9	21.7	21.2	21.3	20.8	18.9
2011	18.3	17.7	17.4	18.4	20.1	20.2	19.9	21.0	20.2	21.4	21.1	18.4
2012	19.7	18.0	17.5	18.5	20.1	19.5	20.1	20.7	19.7	20.6	20.6	18.7
2013	19.7	18.6	19.2	21.2	20.5	19.9	19.0	20.3	20.8	20.0	20.1	18.8
2014	18.7	19.1	18.9	20.0	20.7	21.5	20.1	19.9	20.5	19.9	20.8	19.6
2015	19.1	18.7	18.5	17.7	20.0	20.3	20.8	21.3	21.7	21.7	21.2	20.4
2016	21.8	20.0	20.7	20.9	21.3	20.2	20.2	19.2	20.8	21.0	22.2	20.2
2017	18.4	18.7	18.6	19.6	19.9	20.1	20.5	21.1	20.2	21.5	21.1	19.8
2018	18.0	19.0	19.0	18.9	20.3	18.2	18.4	19.0	20.7	19.2	21.5	19.8
2019	19.1	17.9	18.3	19.6	20.4	19.9	19.5	20.1	20.0	20.4	20.5	19.4

INFORMACION PREPARADA PARA:

**BACH. JOSE FERNANDO CARDENAS TUNCAR**

FECHA: 03 DE SETIEMBRE DEL 2020

**TESIS:**

**MODELO HIDROLOGICO DISTRIBUIDO TETIS PARA LA DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA DEL RIO YACUS, JAUJA - JUNIN**



Dirección Zonal 11  
JR. 3 DE MARZO S/N. 3RA  
CUADRA, Concepción  
Tel: 990866893



Firma Digital  
Firmado digitalmente por: SANCHEZ PAUCAR Eusebio Rolando FAU  
20131386028 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 14.09.2020 14:30:19 -05:00

**VALIDO SOLO CON LA FIRMA DIGITAL**



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Dirección Zonal 11

**"AÑO DE LA UNIVERSALIZACION DE LA SALUD"**

ESTACIÓN: **CO JAUJA**

LATITUD: 11°47'11.97" Sur  
LONGITUD: 75°29'12.76" Oeste  
ALTITUD: 3366 msnm

DPTO.: Junin  
PROV.: Jauja  
DIST.: Jauja

Parametro: **Humedad Relativa Media Mensual (%)**

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2000	58	63	66	59	52	51	50	48	49	50	51	55
2001	62	63	67	59	56	53	54	48	55	56	56	51
2002	54	64	64	61	56	50	53	49	52	53	56	57
2003	59	64	67	64	57	54	51	52	50	49	50	62
2004	53	64	69	60	55	53	54	51	56	54	53	61
2005	54	59	64	59	53	52	47	47	48	44	38	47
2006	54	57	63	58	47	53	45	49	47	50	55	55
2007	55	58	67	63	53	47	50	46	50	51	49	52
2008	66	64	65	54	49	46	48	48	45	55	52	53
2009	68	71	71	67	56	50	52	50	49	52	56	59
2010	61	57	58	52	47	45	44	44	44	46	48	52
2011	56	67	56	53	44	41	41	44	44	43	44	52
2012	51	57	59	58	51	47	41	43	50	50	60	70
2013	68	74	71	66	53	70	69	67	63	73	69	73
2014	76	76	75	71	65	63	66	57	57	60	59	66
2015	68	71	74	72	63	62	56	53	57	64	66	69
2016	65	75	72	66	57	56	54	54	57	62	56	68
2017	72	72	72	68	77	62	51	52	61	52	58	59
2018	68	72	74	84	75	70	73	76	78	82	77	79
2019	78	84	68	63	56	53	54	52	54	55	56	61

INFORMACION PREPARADA PARA:

**BACH. JOSE FERNANDO CARDENAS TUNCAR**

FECHA: 03 DE SETIEMBRE DEL 2020

**TESIS:**

**MODELO HIDROLOGICO DISTRIBUIDO TETIS PARA LA DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA DEL RIO YACUS, JAUJA - JUNIN**



Dirección Zonal 11  
JR. 3 DE MARZO S/N. 3RA  
CUADRA, Concepción  
Tel: 990866893



Firmado digitalmente por: SANCHEZ PAUCAR Eusebio Rolando FAU  
20131386028.ssf  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 14.09.2020 14:31:37 -05:00

**VALIDO SOLO CON LA FIRMA DIGITAL**



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Dirección Zonal 11

"AÑO DE LA UNIVERSALIZACION DE LA SALUD"

ESTACIÓN: CO JAUJA

LATITUD: 11°47'11.97" Sur

DPTO.: Junin

LONGITUD: 75°29'12.76" Oeste

PROV.: Jauja

ALTITUD: 3366 msnm

DIST.: Jauja

Parametro: Precipitacion Total Mensual (mm)

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2000	152.5	148.2	147.4	32.4	10.5	3.9	4.4	12.5	16.8	52.6	40.8	99.9
2001	125.2	77.3	169.4	34.0	18.9	7.8	6.6	1.7	18.4	70.3	93.7	76.8
2002	53.4	136.3	131.5	79.1	8.1	2.0	18.2	3.6	66.0	51.6	88.8	101.8
2003	122.5	82.7	130.7	54.1	4.9	1.5	0.7	6.0	14.5	39.1	63.3	117.2
2004	50.3	136.1	108.5	38.3	14.7	6.1	4.7	5.1	36.1	50.4	89.5	78.5
2005	68.4	122.2	89.8	27.5	18.9	0.0	0.7	14.9	15.4	99.2	42.9	110.1
2006	105.3	98.1	114.6	43.2	8.0	19.9	4.0	3.9	17.0	48.1	50.2	89.9
2007	81.1	76.2	169.4	50.1	17.4	0.0	4.6	1.4	12.5	66.3	63.3	76.2
2008	112.7	100.5	63.3	11.3	13.3	6.4	0.6	4.2	28.0	64.2	31.4	72.8
2009	95.7	76.0	115.1	89.4	47.2	3.8	2.6	15.4	8.6	55.3	122.8	142.2
2010	130.5	96.1	59.0	52.7	6.2	2.2	0.5	0.6	27.9	72.3	51.8	107.8
2011	113.8	162.4	170.8	51.8	14.2	0.0	2.9	2.3	16.0	65.7	77.8	140.7
2012	98.4	110.2	62.4	89.0	24.6	3.2	0.4	4.4	45.2	52.3	82.4	131.8
2013	161.1	155.2	103.2	31.2	17.2	4.1	2.5	22.0	6.4	84.1	95.6	111.2
2014	110.2	108.3	150.5	53.2	24.7	4.8	12.7	0.9	41.1	28.6	75.9	122.9
2015	202.2	139.5	103.8	65.5	18.4	7.5	7.0	4.5	48.2	32.1	129.9	110.6
2016	69.4	127.5	72.3	42.7	14.1	1.8	5.9	2.4	43.9	60.3	47.3	134.7
2017	120.3	140.1	113.1	57.8	26.0	0.9	0.5	16.7	28.1	43.6	125.3	86.5
2018	125.4	155.3	126.2	43.5	55.0	2.3	6.2	9.1	15.5	91.6	40.8	81.5
2019	164.3	129.7	127.1	32.8	7.8	1.1	0.5	0.3	14.3	38.2	99.8	211.7

1 mm = 1 litro/m2

INFORMACION PREPARADA PARA:

BACH. JOSE FERNANDO CARDENAS TUNCAR

FECHA: 03 DE SETIEMBRE DEL 2020

TESIS:

MODELO HIDROLOGICO DISTRIBUIDO TETIS PARA LA DETERMINACION DEL BALANCE

HIDRICO DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA DEL RIO YACUS, JAUJA - JUNIN



Dirección Zonal 11  
JR. 3 DE MARZO S/N. 3RA  
CUADRA, Concepción  
Tel: 990866893



Firmado digitalmente por SANCHEZ PAUCAR Eusebio Rolando FAU  
20131366028 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 03.09.2020 07:55:52 -05:00

VALIDO SOLO CON LA FIRMA DIGITAL



**ANEXO N° 03: PANEL FOTOGRÁFICO**



Fotografía 1. Vista del río Yacus.



Fotografía 2. Reconocimiento en campo del río Yacus.



Fotografía 3. Medición de características físicas del río Yacus.



Fotografía 4. Medición del ancho del río Yacus.



Fotografía 5. Medición de longitud para el cálculo de velocidad del caudal del río Yacus.

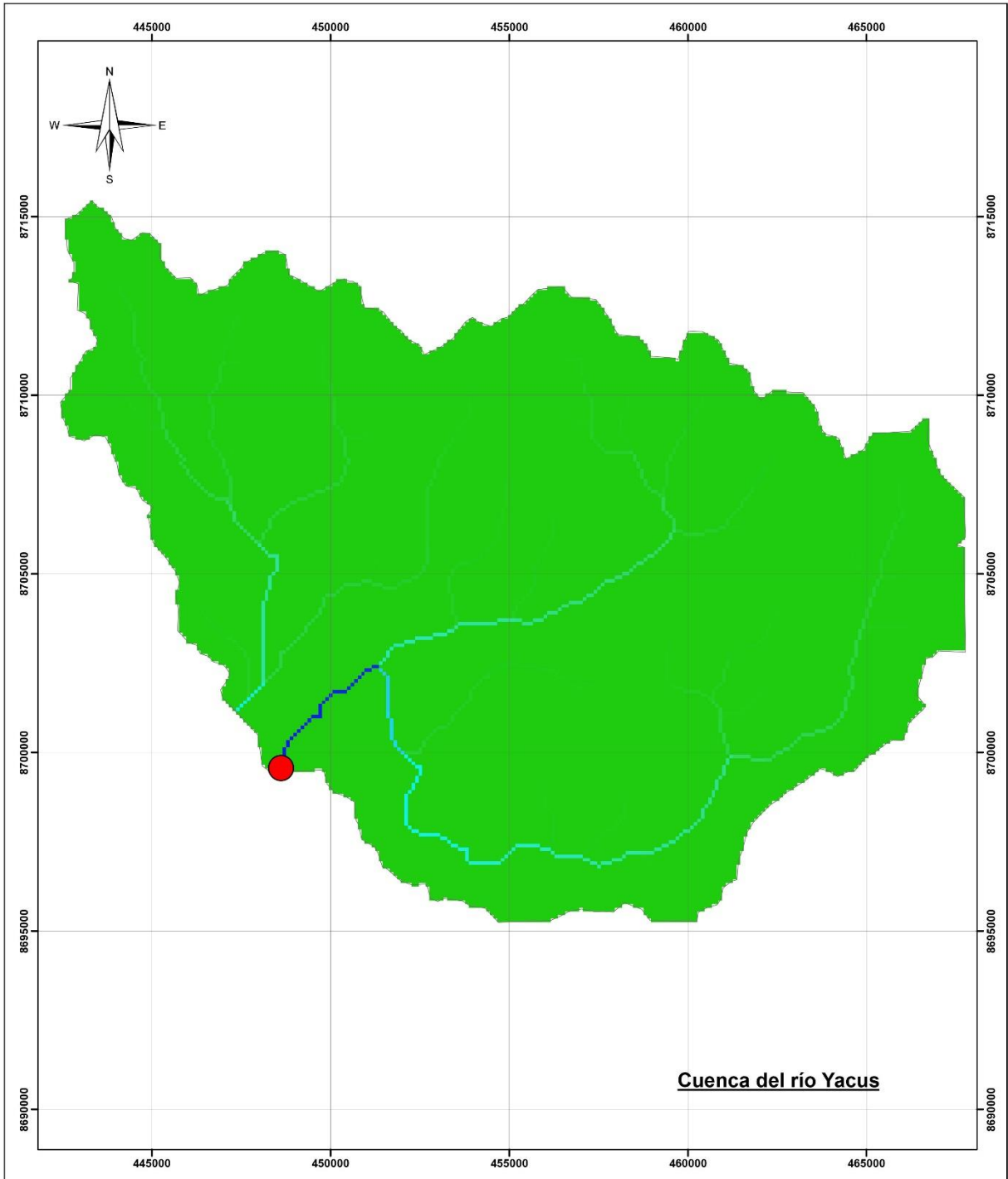


Fotografía 6. Medición de la velocidad del caudal del río Yacus en el punto inicial del tramo.



Fotografía 7. Medición de la velocidad del río Yacus en el punto final del tramo.

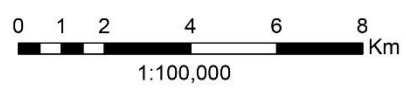
**ANEXO N° 04: MAPAS**



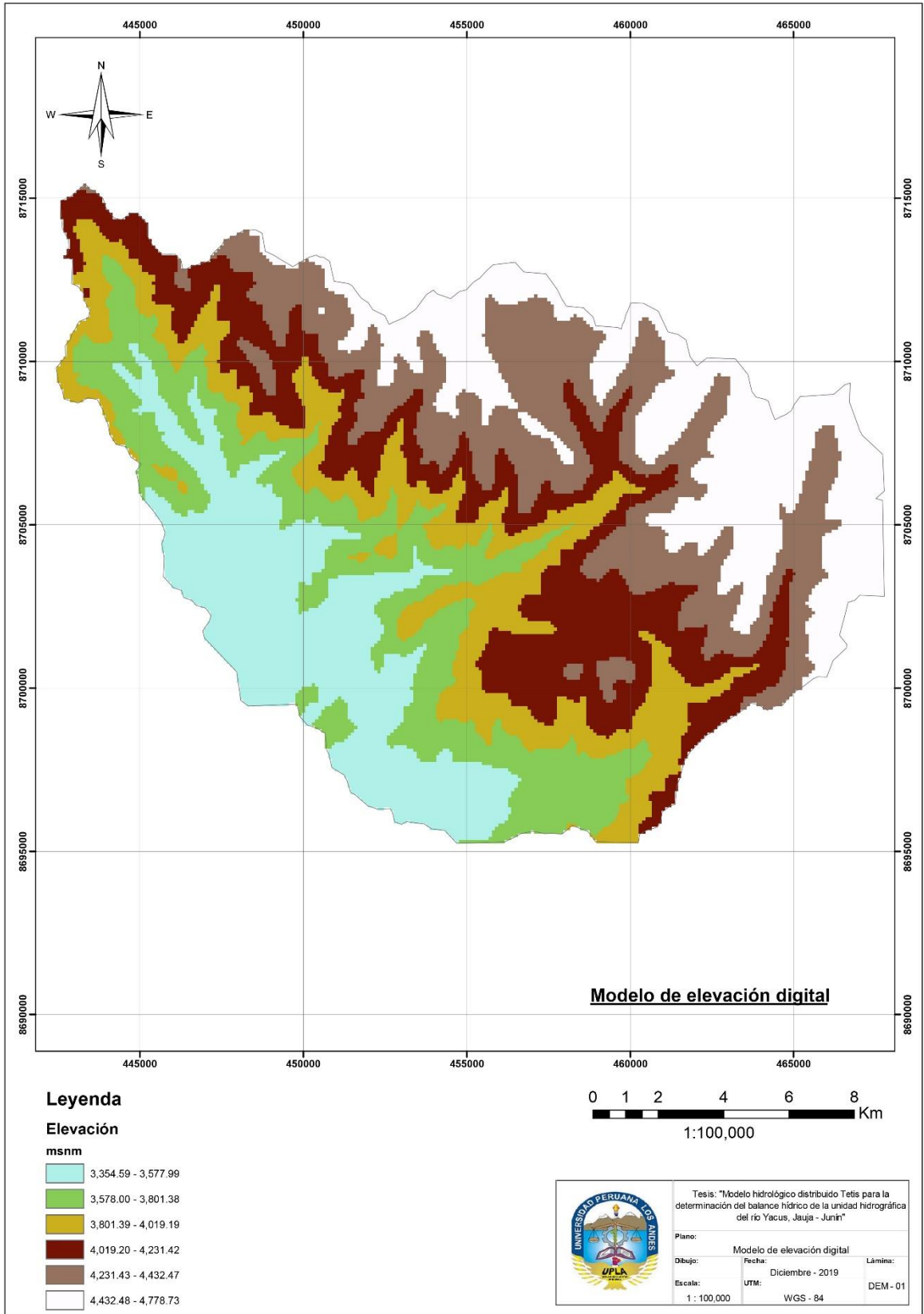
**Cuenca del río Yacus**

**Leyenda**

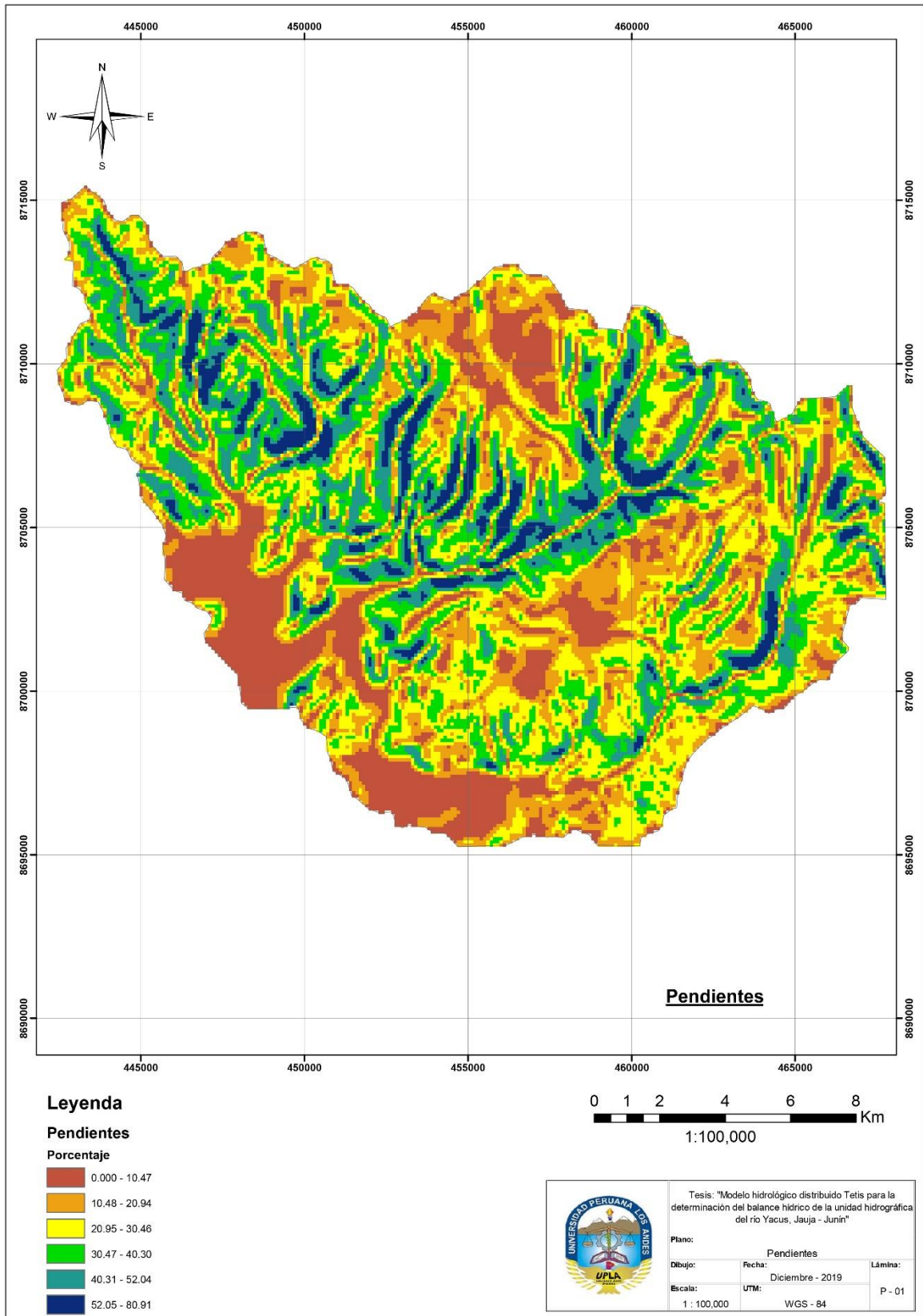
- Punto de interés
- Cuenca hidrográfica**
- Características físicas**
- Río Yacus
- Fuentes
- Cuenca

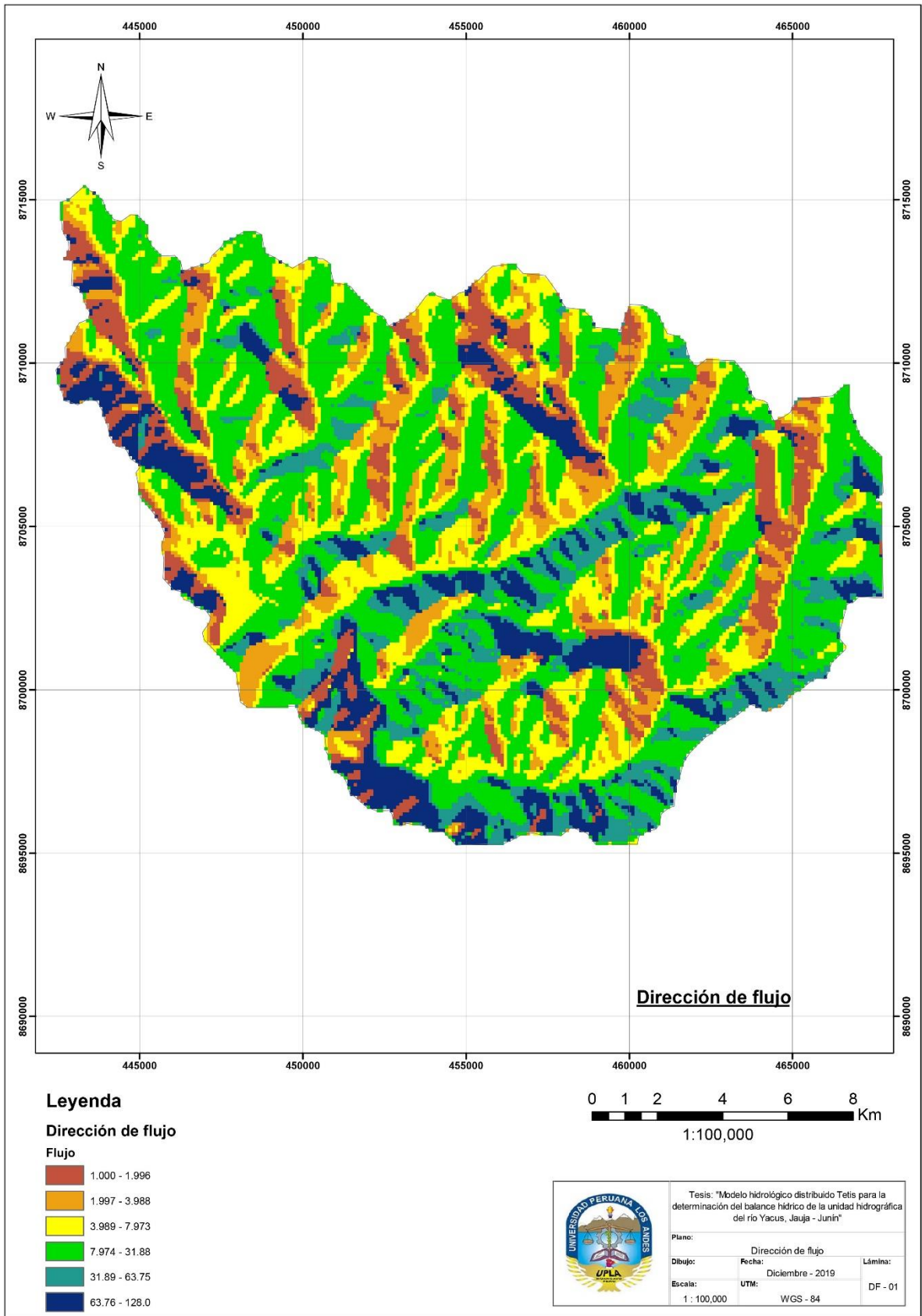


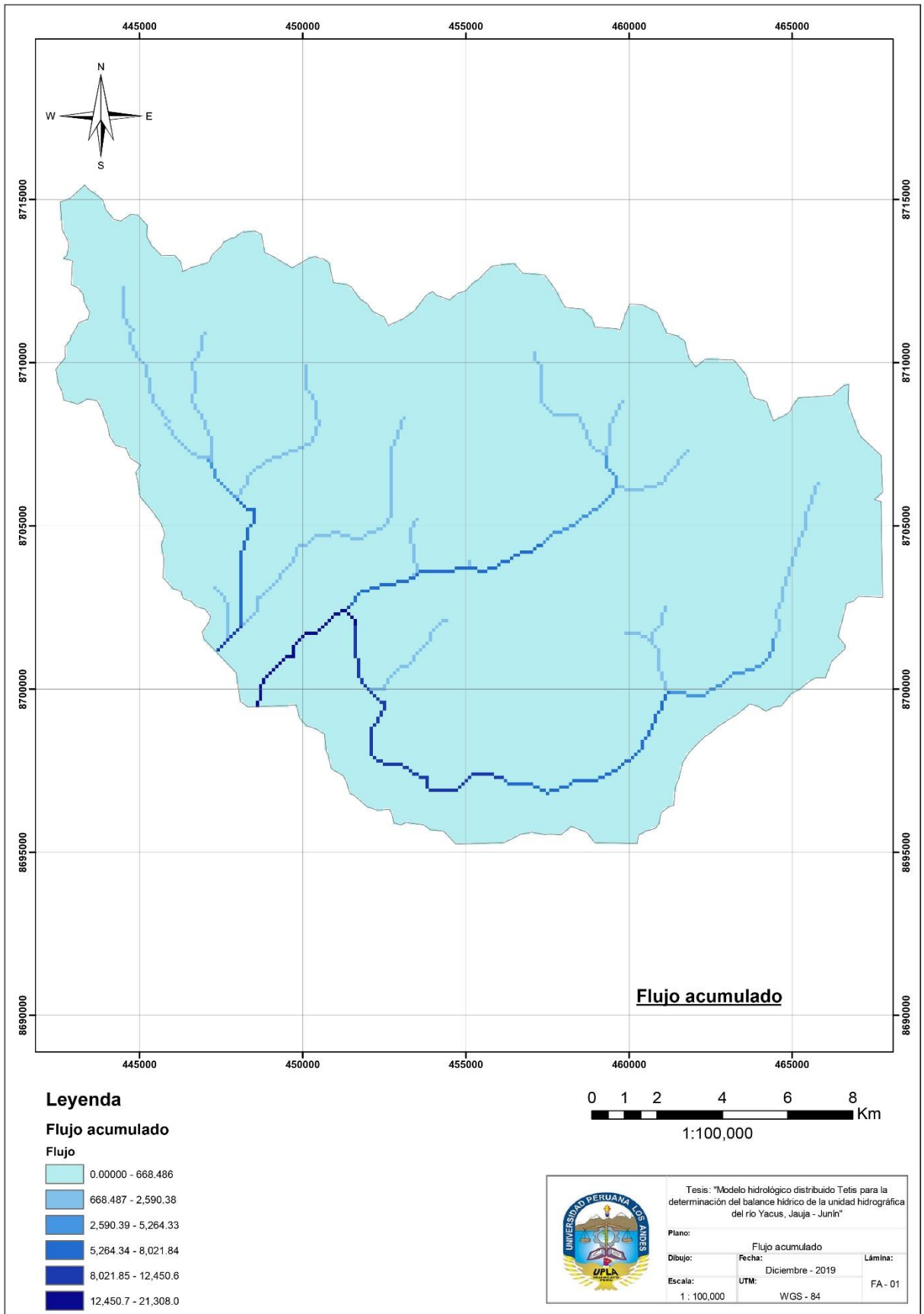
	Tesis: "Modelo hidrológico distribuido Tetis para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín"		
	Plano:	Cuenca hidrográfica del río Yacus	
	Dibujo:	Fecha:	Lámina:
	Escala:	UTM:	CU - 01
1 : 100,000		WGS - 84	

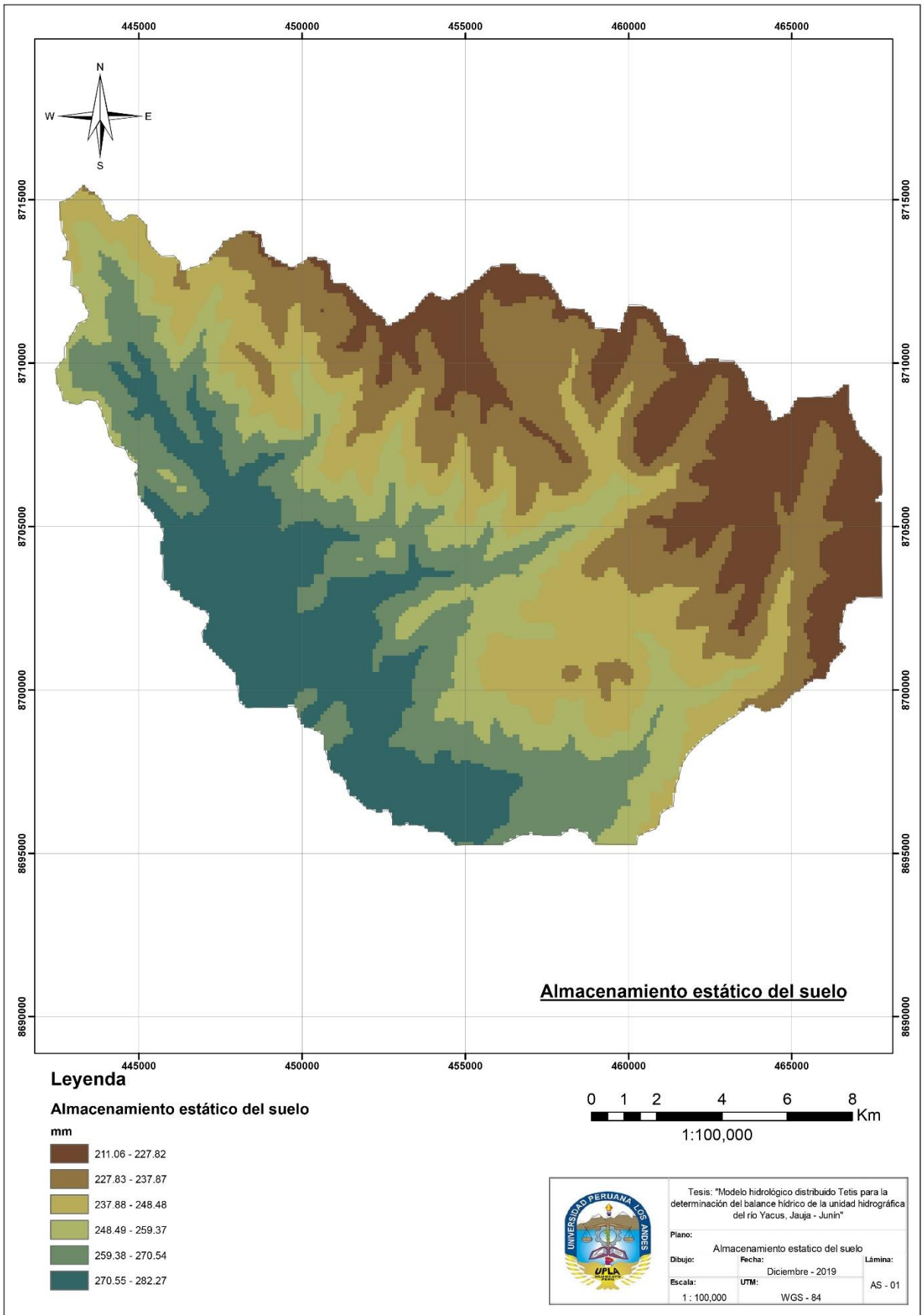


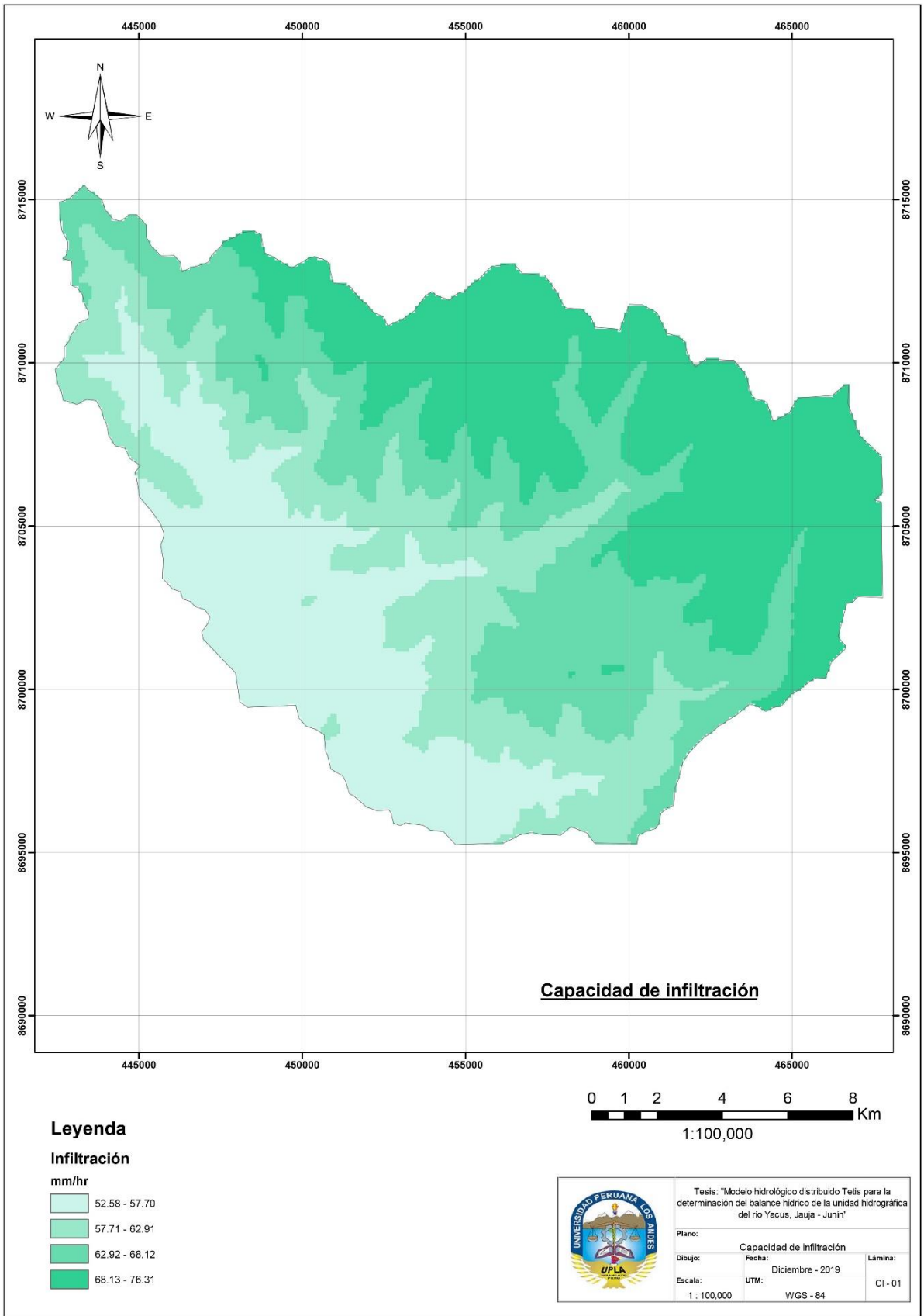


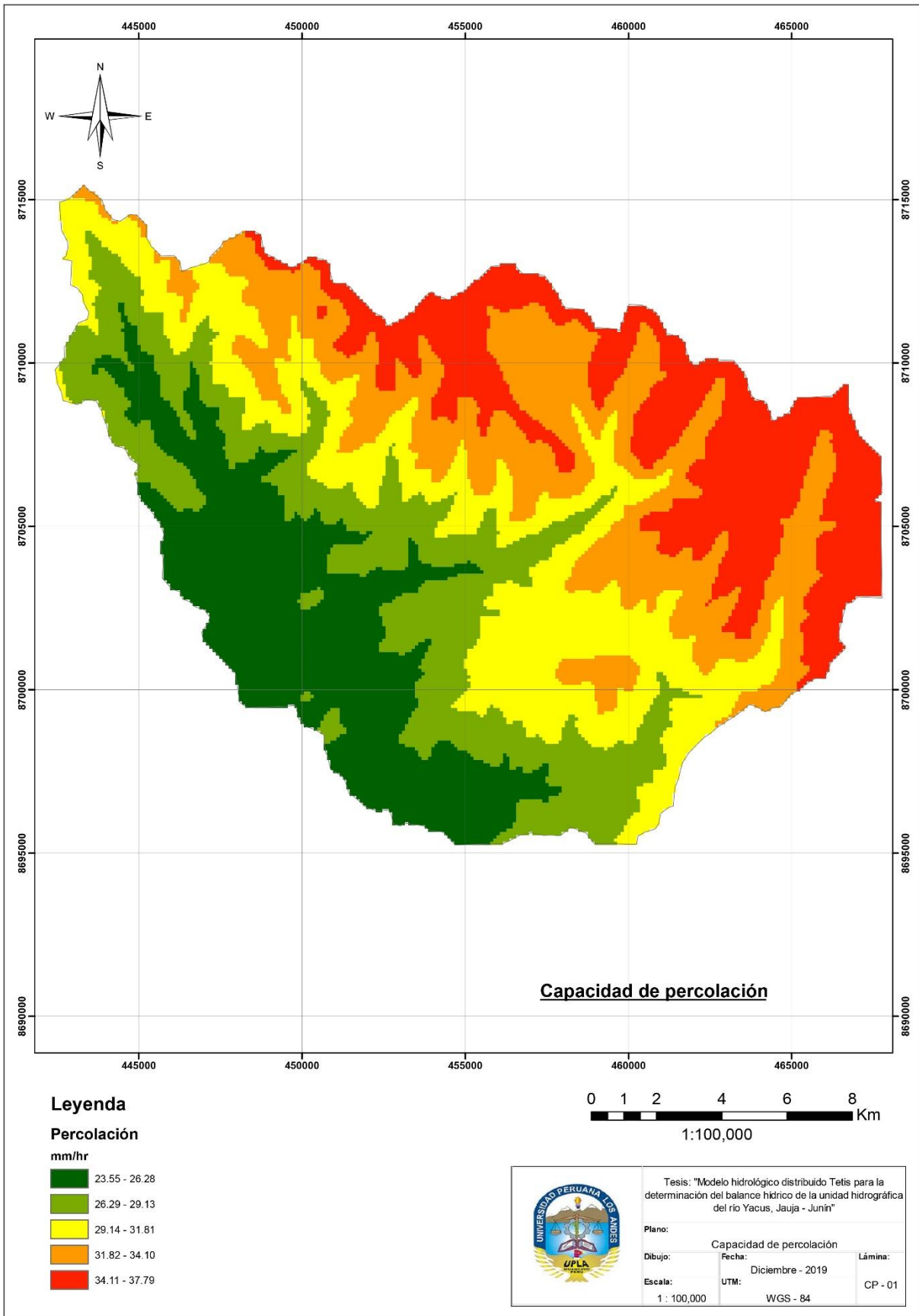












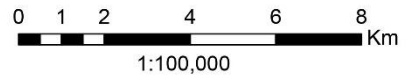





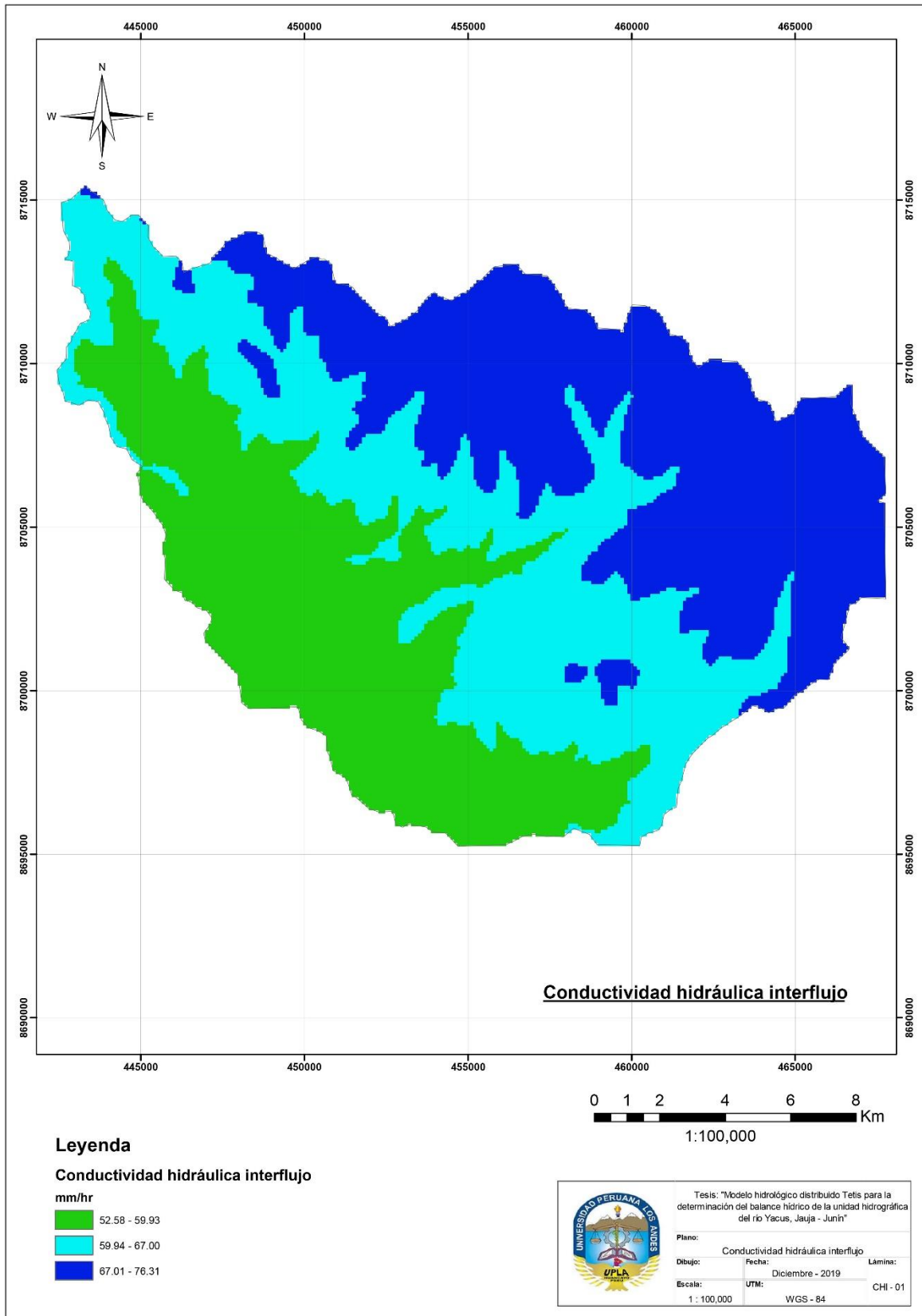
**Leyenda**

**Percolación**

mm/hr	
	23.55 - 26.28
	26.29 - 29.13
	29.14 - 31.81
	31.82 - 34.10
	34.11 - 37.79



	Tesis: "Modelo hidrológico distribuido Tetis para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín"		
	Plano: Capacidad de percolación	Fecha: Diciembre - 2019	Lámina: CP - 01
Escala: 1 : 100,000	UTM: WGS - 84		

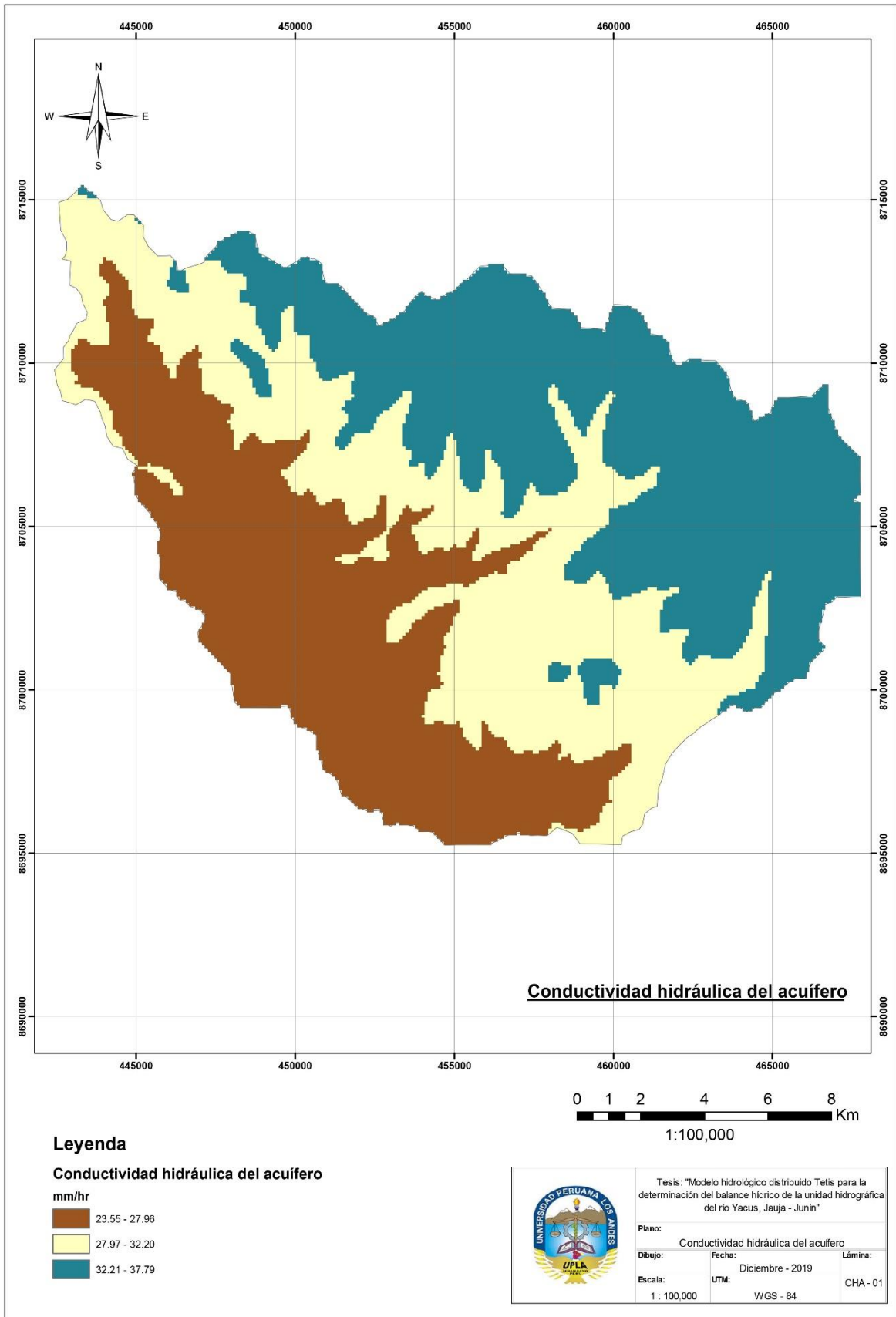


**Legenda**

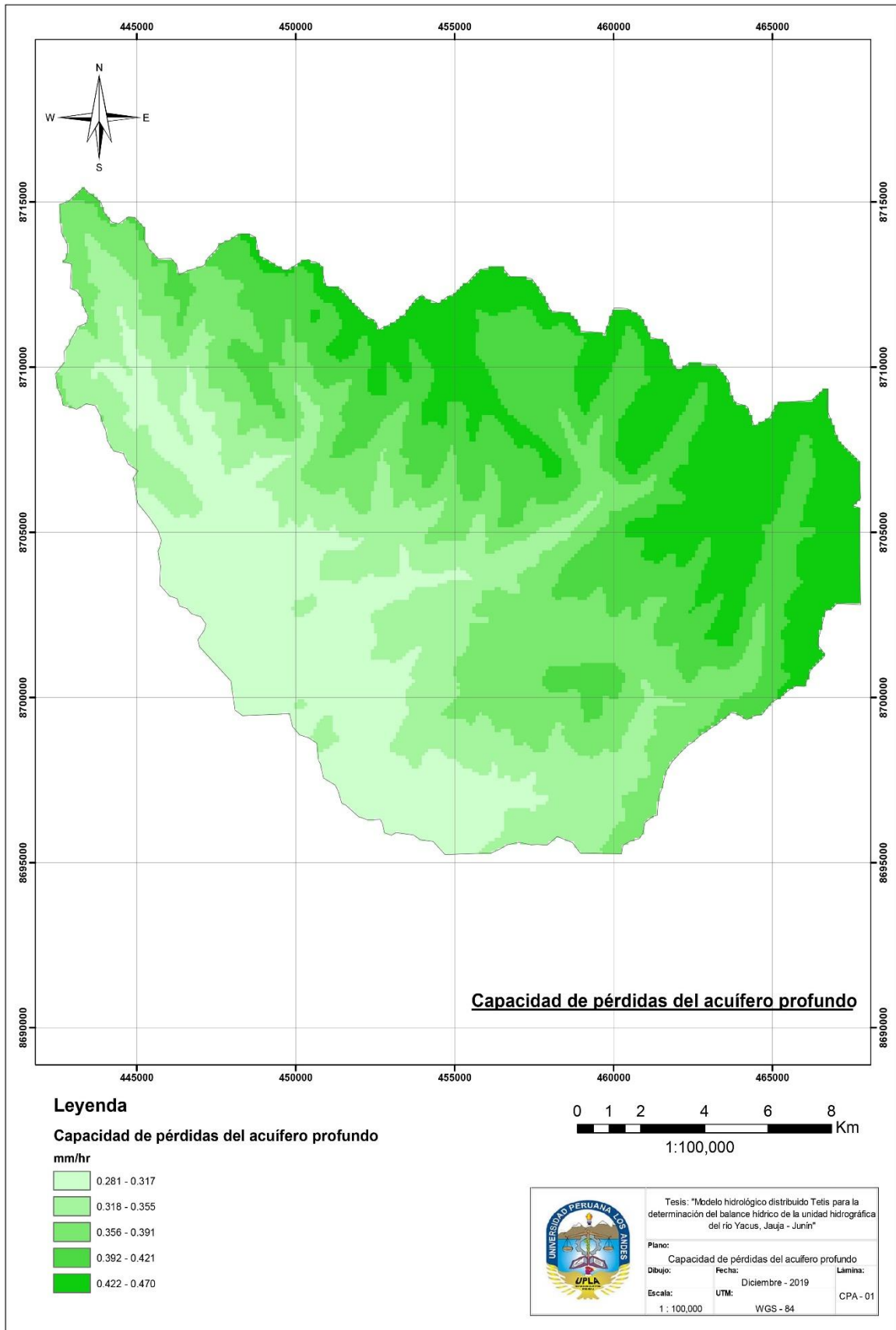
**Conductividad hidráulica interflujo**

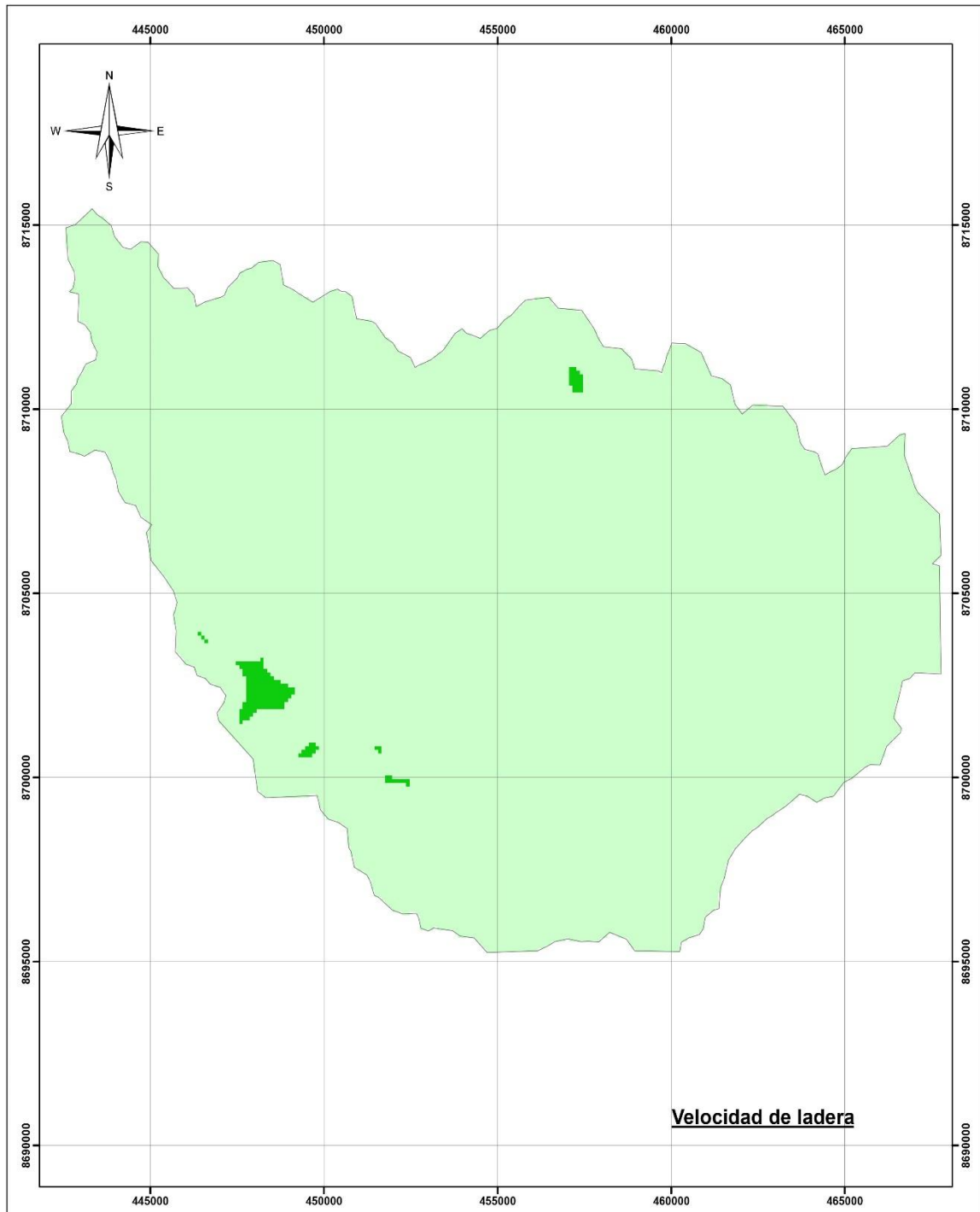
mm/hr

- 52.58 - 59.93
- 59.94 - 67.00
- 67.01 - 76.31

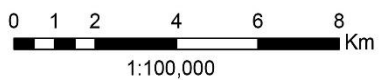








**Velocidad de ladera**



**Leyenda**

**Velocidad de ladera**

m/s

- 0.0
- 0.010 - 1.0

		Tesis: "Modelo hidrológico distribuido Tetis para la determinación del balance hídrico de la unidad hidrográfica del río Yacus, Jauja - Junín"	
		Plano:	Velocidad de ladera
Dibujo:	Fecha:	Lámina:	
	Diciembre - 2019	VL - 01	
Escala:	UTM:	WGS - 84	
1 : 100,000			