



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DEL RIO ILAVE  
MEDIANTE LA GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS  
MENSUALES APLICANDO EL MODELO DETERMINÍSTICO –  
ESTOCASTICO DE LUTZ SCHOLZ.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ALFREDO LACUTA CACHA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*Al Ser Todo Poderoso. Te amo, oh jehová, fortaleza mía.*

*Jehová, roca mía y castillo mío, y mi libertador; Dios mío, fortaleza mía en el confiare;  
Mi escudo, y fuerza de mi salvación, mi alto refugio.*

*Con profundo cariño, amor y gratitud a mi padre Gabino Lacuta Coila, por haberme inculcado al camino de la superación, y a mi madre Encarnación Cacha Palma, por su apoyo, comprensión, sacrificio y su infinito cariño y esfuerzo desplegado que hicieron posible la culminación de mi profesión.*

*A hijo José Miguel y mis hermanos Norma, Ernesto, Hortencia, Nohemí, Miriam, Karina, Sandra, Ray Rodrigo, por su constante apoyo para realizarme como profesional y también a mis cuñados (as), Valentina, Valentín, Percy Augusto, Víctor, Richarth, Eduardo y Luis*

***Alfredo Lacuta Cacha***



## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ingeniería Agrícola por acogerme en sus aulas durante mi proceso de formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por compartir sus instrucciones y prácticas que me hicieron crecer profesionalmente.

A mis amigos y colegas, Pedro Huaccoto, Luis Washualdo, Gabriel Saldivar Callata, quienes me brindaron su dedicación y con quienes compartí diferentes experiencias dentro y fuera de las aulas.

A mis miembros del jurado por sus críticas, que contribuyeron en la mejora de una buena investigación en particular a mi asesor D. Sc. Germán Belizario Quispe, por su tiempo y profesionalismo en la ejecución de tesis.

**Alfredo Lacuta Cacha**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 14**

**ABSTRACT..... 15**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 16**

1.1.1. Problema general ..... 17

1.1.2. Problemas específicos ..... 17

1.1.3. Justificación ..... 17

**1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO ..... 19**

1.2.1. Objetivo general ..... 19

1.2.2. Objetivos específicos ..... 19

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES..... 21**

2.1.1. Antecedente nacional ..... 21

2.1.2. Antecedente regional ..... 22

**2.2. MARCO TEÓRICO ..... 23**

2.2.1. Hidrología ..... 23

2.2.2. Ciclo hidrológico ..... 23

2.2.3. Precipitación ..... 24



2.2.4. Intercepción.....	25
2.2.5. Evaporación .....	25
2.2.6. Evapotranspiración .....	26
2.2.7. Infiltración.....	26
2.2.8. Almacenamiento .....	27
2.2.9. Escorrentía superficial .....	28
2.2.10. Balance hídrico de una cuenca.....	28
2.2.11. Modelos hidrológicos.....	31
2.2.12. Análisis exploratorio y consistencia de dato.....	31
2.2.13. Modelo Lutz Scholz.....	32

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>39</b>
3.1.1. Ubicación geográfica .....	39
3.1.2. Ubicación hidrográfica.....	39
3.1.3. Ubicación política .....	39
3.1.4. Límites hidrográficos .....	39
3.1.5. Fisiografía .....	41
3.1.6. Climatología.....	41
3.1.7. Temperatura .....	41
3.1.8. Humedad relativa .....	42
3.1.9. Precipitación .....	42
3.1.10. Ecología .....	42
<b>3.2. MATERIALES .....</b>	<b>42</b>
3.2.1. Información cartográfica.....	42
3.2.2. Información hidrométrica .....	43
3.2.3. Información meteorológica.....	43



3.2.4. Materiales de escritorio .....	43
3.2.5. Materiales y equipos de campo.....	43
3.2.6. Materiales y equipos de gabinete .....	43
3.2.7. Softwares utilizados .....	44
<b>3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
3.3.1. Tipo de investigación .....	44
3.3.2. Población y muestra .....	44
3.3.3. Características geomorfológicas de la cuenca .....	45
3.3.4. Análisis de consistencia de la información de precipitación .....	45
3.3.5. Análisis visual de histogramas de precipitación .....	45
3.3.6. Análisis de doble masa.....	46
3.3.7. Análisis estadístico.....	47
3.3.8. Consistencia de la media.....	47
3.3.9. Generación de caudales mensuales para un año promedio .....	51
3.3.10. Coeficiente de escurrimiento .....	52
3.3.11. Precipitación efectiva.....	54
3.3.12. Retención de la cuenca.....	55
3.3.13. Relación entre descargas y retención .....	56
3.3.14. Coeficiente de agotamiento.....	57
3.3.15. Almacenamiento hídrico .....	59
3.3.16. Gasto de la retención.....	60
3.3.17. Restitución .....	60
3.3.18. Abastecimiento de la retención .....	61
3.3.19. Caudal mensual para un año promedio .....	62
3.3.20. Generar caudales medios para un periodo extendido .....	62
3.3.21. Test estadístico.....	63



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA.....</b>	<b>65</b>
4.1.1. Sistema hidrográfico .....	65
4.1.2. Parámetros morfológicos de la cuenca del río Ilave .....	65
4.1.3. Información meteorológica e hidrométrica.....	67
<b>4.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA - INFORMACIÓN PLUVIOGRAFICA ....</b>	<b>69</b>
4.2.1. Análisis visual de histogramas.....	69
4.2.2. Análisis de doble masa.....	75
4.2.3. Análisis visual de histogramas.....	82
4.2.4. Análisis de doble masa.....	83
4.2.5. Análisis estadístico.....	84
<b>4.3. GENERACIÓN DE CAUDALES POR MODELO LUTZ SCHOLZ .....</b>	<b>87</b>
4.3.1. Precipitación media de la cuenca .....	87
4.3.2. Temperatura media mensual en la cuenca .....	89
4.3.3. Evapotranspiración potencial.....	89
4.3.4. Coeficiente de escurrimiento .....	90
4.3.5. Precipitación efectiva.....	91
4.3.6. Retención de la cuenca.....	94
4.3.7. Coeficiente de agotamiento.....	94
4.3.8. Relación de caudales.....	94
4.3.9. Gasto de la retención.....	94
4.3.10. Abastecimiento de la retención .....	95
<b>4.4. GENERACIÓN DE CAUDAL MENSUAL PARA UN AÑO PROMEDIO ....</b>	<b>96</b>
<b>4.5. GENERACIÓN DE CAUDALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS.....</b>	<b>98</b>
4.5.1. Precipitación efectiva de la cuenca .....	98
4.5.2. Números aleatorios .....	99



4.5.3. Descargas medias mensuales generadas .....	100
4.5.4. Test estadístico .....	104
<b>4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>105</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo 1:</b> Precipitación total mensual en (MM). .....	112
<b>Anexo 2:</b> Isoyetas de precipitación mensual. ....	122
<b>Anexo 3:</b> Isoyetas de precipitación total. ....	123

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Línea:** Recursos Hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 27 de agosto 2021.





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Límite superior para la precipitación efectiva. ....	54
<b>Tabla 2.</b> Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva. ....	55
<b>Tabla 3.</b> Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %). ....	61
<b>Tabla 4.</b> Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ilave. ....	66
<b>Tabla 5.</b> Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ilave y cuencas vecinas. ....	68
<b>Tabla 6.</b> Ubicación de las estaciones hidrométricas del río Ilave y río Huancané. ....	68
<b>Tabla 7.</b> Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 1: Capazo, Pizacoma y Mazocruz. ....	76
<b>Tabla 8.</b> Resultados del análisis estadístico de precipitación total anual de las estaciones estudiadas. ....	78
<b>Tabla 9.</b> Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 2: Chilligua, Laraqueri e Ichuña. ....	79
<b>Tabla 10.</b> Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 3: Juli, Ilave, Rincon de la Cruz y Puno. ....	81
<b>Tabla 11.</b> Descarga media mensual histórica aforado ( $m^3/s$ )-río Ilave. ....	83
<b>Tabla 12.</b> Análisis de doble masa de caudal medio anual de la estación Ilave. ....	85
<b>Tabla 13.</b> Análisis estadístico de caudal medio anual de la estación Puente Ilave. ....	86
<b>Tabla 14.</b> Precipitación media de la cuenca del río Ilave (mm), Periodo 1971–2014. ..	88
<b>Tabla 15.</b> Temperatura media mensual ( $^{\circ}C$ ) – Periodo (1964-2007). ....	89
<b>Tabla 16.</b> Resultados del coeficiente de escurrimiento – Método Turc. ....	90
<b>Tabla 17.</b> Resultados del coeficiente de escurrimiento– Método Misión Alemana. ....	91
<b>Tabla 18.</b> Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation (USBR). ....	92
<b>Tabla 19.</b> Coeficientes de regresión para las curvas de precipitación efectiva. ....	93
<b>Tabla 20.</b> Precipitación efectiva mensual (mm). ....	93



<b>Tabla 21.</b> Resultados del gasto de la retención mensual (mm/mes). .....	95
<b>Tabla 22.</b> Resultados del abastecimiento de la retención mensual (mm/mes).....	96
<b>Tabla 23.</b> Resultados de caudales generados para un año promedio (mm/s).....	97
<b>Tabla 24.</b> Precipitación efectiva (mm) generada para la cuenca del río Ilave - Periodo 1971 a 2014.....	98
<b>Tabla 25.</b> Números aleatorios generados con distribución normal (0,1). .....	99
<b>Tabla 26.</b> Datos de la variable dependiente e independiente. ....	100
<b>Tabla 27.</b> Descargas medias mensuales generados (mm) – cuenca ILAVE.....	101
<b>Tabla 28.</b> Descargas medias mensuales generados ( $m^3/s$ ) – cuenca Ilave.....	103
<b>Tabla 29.</b> Resultados de las pruebas estadísticas T y F. ....	104
<b>Tabla 30.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Capazo.....	112
<b>Tabla 31.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Pizacoma.....	113
<b>Tabla 32.</b> Precipitación total mensual (mm) – estación Mazocruz.....	114
<b>Tabla 33.</b> Precipitación total mensual (mm) – estación Ichuña.....	115
<b>Tabla 34.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Chilligua.....	116
<b>Tabla 35.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Laraqueri.....	117
<b>Tabla 36.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Juli.....	118
<b>Tabla 37.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Ilave.....	119
<b>Tabla 38.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Rincon de la Cruz.....	120
<b>Tabla 39.</b> Precipitación total mensual (mm) - estación Puno. ....	121



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> El ciclo hidrológico. ....	24
<b>Figura 2.</b> Plano de ubicación de la cuenca de Ilave. ....	40
<b>Figura 3.</b> Precipitación total mensual - estación Capazo (1971 - 2016). ....	70
<b>Figura 4.</b> Precipitación total mensual - estación Pizacoma (1971 - 2016). ....	70
<b>Figura 5.</b> La precipitación total mensual - estación Mazocruz (1971 – 2016). ....	71
<b>Figura 6.</b> La precipitación total mensual - estación Ichuña (1971 – 2016). ....	71
<b>Figura 7.</b> Precipitación total mensual - estación Chilligua (1971 - 2016). ....	72
<b>Figura 8.</b> Precipitación total mensual - estación Laraqueri (1971 - 2016). ....	73
<b>Figura 9.</b> Precipitación total mensual - estación Juli (1971 – 2016). ....	73
<b>Figura 10.</b> Precipitación total mensual - estación Ilave (1971 – 2016). ....	74
<b>Figura 11.</b> Precipitación total mensual - estación Puno (1971 – 2016). ....	74
<b>Figura 12.</b> Precipitación total mensual – estación Acora (1971 – 2016). ....	75
<b>Figura 13.</b> Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las.....	77
<b>Figura 14.</b> Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 2: Chilligua, Laraqueri e Ichuña. ....	80
<b>Figura 15.</b> Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 3: Ilave, Rincón de la Cruz y Puno. ....	82
<b>Figura 16.</b> Histograma de caudal medio mensual ( $m^3/s$ ) – estación de aforo puente Ilave –Periodo (1964 – 2007). ....	82
<b>Figura 17.</b> Diagrama de doble masa de caudal medio anual de río Ilave. ....	86
<b>Figura 18.</b> Hidrograma de precipitación media mensual de la cuenca del río Ilave periodo (1971-2014). ....	87
<b>Figura 19.</b> Calibración de caudales generados para un año promedio - río Ilave. ....	97
<b>Figura 20.</b> Hidrograma de caudales generados y aforados – periodo 1971-2014. ....	102



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>ANA</b>	: Autoridad Nacional del Agua
<b>AEC</b>	: Celda Agro - Ecológica
<b>APT</b>	: Agricultural Planning Toolkit
<b>AWC</b>	: Capacidad de retención de agua útil del suelo
<b>CYPPAC</b>	: Modelo de simulación del desarrollo de cultivos
<b>CYSLAMB</b>	: Modelo de simulación del desarrollo de cultivos
<b>DPC</b>	: Duración del Periodo de Crecimiento
<b>ZEE</b>	: Zonificación Ecológico - Económica
<b>ET</b>	: Evapotranspiración
<b>Eta</b>	: Evapotranspiración real
<b>ETo</b>	: Evapotranspiración de referencia
<b>ETp</b>	: Evapotranspiración potencial
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>IIASA</b>	: Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados
<b>ILRI</b>	: Instituto internacional de investigación en Producción Animal
<b>LC</b>	: Característica de Tierra
<b>LER</b>	: Relación equivalente de tierras
<b>LIS</b>	: Sistema computarizado de información de tierras
<b>LQ</b>	: Calidad de tierra



- LRI** : Inventario de recursos tierras
- LUT** : Tipo de utilización de tierras
- MCI** : Índice multi - cultivos
- MCDA** : Técnicas multi - criterios de apoyo a la decisión
- MINAGRI** : Ministerio de Agricultura y Riego
- NGO** : Organización no Gubernamental
- UNFPA** : Fondo de las Naciones Unidas para Actividades en materia de población
- P** : Precipitación
- PELT** : Proyecto especial del Lago Titicaca
- SENAMHI** : Servicio nacional de Meteorología e Hidrología
- SLI** : Inventario de limitaciones de suelos
- SRI** : Inventario de recursos de suelos
- USLE** : Ecuación universal de pérdida de suelos
- ZAE** : Zonificación agro-ecológica.



## RESUMEN

En la cuenca del río Ilave existe escasez de información de caudales medios, debido a la poca cantidad estaciones hidrométricas, ante ello se realiza la presente tesis con el principal objetivo de determinar la oferta hídrica superficial mediante la generación de caudales medios mensuales aplicando el modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz. Para la investigación se tomó como referencias las siguientes estaciones pluviométricas: Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Ichuña, Chilligua, Laraqueri, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y la estación Puno. Los parámetros utilizados son: área de la cuenca 7771.50 km<sup>2</sup>, altitud media 4309.3 msnm, pendiente 0.0055 m/m, temperatura 7.60 °C y una evapotranspiración potencial 1359.6 mm/año. De tal forma resultando los caudales generados para un año promedio varía de 7.70 a 133.07 m<sup>3</sup>/s así mismo obteniéndose un caudal total anual de 40.80 m<sup>3</sup>/s, al realizar la correlación entre los caudales generados y registrados, se obtiene un coeficiente de correlación de  $r^2$  de 0.9972, las descargas medias mensuales (m<sup>3</sup>/s) generadas para la cuenca del río Ilave son: 98.40 m<sup>3</sup>/s, 120.40 m<sup>3</sup>/s, 93.30 m<sup>3</sup>/s, 55.50 m<sup>3</sup>/s, 37.70 m<sup>3</sup>/s, 32.90 m<sup>3</sup>/s, 28.50 m<sup>3</sup>/s, 23.50 m<sup>3</sup>/s, 19.80 m<sup>3</sup>/s, 14.40 m<sup>3</sup>/s, 14.10 m<sup>3</sup>/s y 31.30 m<sup>3</sup>/s, que corresponden a los meses de enero a diciembre; respectivamente y la descarga media anual generada es de 569.73 m<sup>3</sup>/s. Se concluye que, el método determinístico – estocástico Lutz Scholz, es aplicable para generar los caudales medios mensuales en la cuenca del río Ilave.

**Palabras clave:** Caudal medio, cuenca, Lutz Scholz, modelo determinístico-estocástico, precipitación.



## ABSTRACT

In the Ilave river basin there is a lack of information on average flows, due to the small number of hydrometric stations, so this thesis is carried out with the main objective of determining the surface water supply through the generation of monthly average flows by applying the Lutz Scholz deterministic-stochastic model. The following pluviometric stations were used as references for the research: Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Ichuña, Chilligua, Laraqueri, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz and the Puno Station. The parameters used are: basin area 7771.50 km<sup>2</sup>, average altitude 4309.3 masl, slope 0.0055 m/m, temperature 7.60 °C and potential evapotranspiration 1359.6 mm/year. As a result, the flows generated for an average year vary from 7.70 to 133.07 m<sup>3</sup>/s, obtaining a total annual flow of 40.80 m<sup>3</sup>/s. When correlating the flows generated and recorded, a correlation coefficient of  $r^2$  of 0.9972 was obtained. The average monthly discharges (m<sup>3</sup>/s) generated for the Ilave river basin are: 98.4 m<sup>3</sup>/s, 120.4 m<sup>3</sup>/s, 93.3 m<sup>3</sup>/s, 55.5 m<sup>3</sup>/s, 37.7 m<sup>3</sup>/s, 32.9 m<sup>3</sup>/s, 28.5 m<sup>3</sup>/s, 23.5 m<sup>3</sup>/s, 19.8 m<sup>3</sup>/s, 14.4 m<sup>3</sup>/s, 14.1 m<sup>3</sup>/s and 31.3 m<sup>3</sup>/s, corresponding to the months from January to December, respectively, and the average annual discharge generated is 569.73 m<sup>3</sup>/s. It is concluded that the Lutz deterministic-stochastic method is applicable to generate the average monthly flows in the Ilave river basin.

**Keywords:** Mean flow, basin, Lutz Scholz, deterministic-stochastic model, precipitation.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema principal que se observa a nivel de la cuenca del río Ilave es la escasez de estaciones hidrométricas; en consecuencia, no hay registros de caudales medios disponibles en pequeños ríos y quebradas, que puedan ser utilizados para los estudios hidrológicos de los diseños de obras hidráulicas. La propuesta del modelo hidrológico Lutz Scholz nos permite solucionar este problema en cuencas no instrumentadas, porque se genera caudales medios mensuales en una cuenca hidrográfica a partir de la precipitación media mensual (Belizario et al., 2013a, 2013b).

Problemas que ocasiona el agua la distribución espacial y temporal irregular del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas, en épocas de avenida genera problemas de inundaciones originados por el exceso de escurrimiento por altas precipitaciones, en épocas de estiaje genera problemas de sequía originados por la escasez de agua y anomalía de las precipitaciones (Belizario, 2014, 2015). Por otro lado, también se generan conflictos de los usuarios por escasez y por mal manejo del agua. Para lograr el cumplimiento de los objetivos de la investigación, se recurrirá a la aplicación de metodologías empíricas o indirectas para determinar las características geomorfológicas de las cuencas, la obtención de información de precipitación media mensual de las estaciones ubicadas dentro y zonas aledañas a la cuenca y la aplicación del modelo determinístico-estocástico Lutz Scholz para generar los caudales medios mensuales de la cuenca (Scholz, 2008).

Los proyectos de planificación y de manejo ambiental de cuencas hidrográficas requieren la generación de información por medio de la cual se puedan tomar decisiones





acertadas que permitan lograr una verdadera sostenibilidad de las mismas. Dentro de la información por generar se encuentran los caudales de las fuentes principales y sus afluentes, bien sean máximos medios o mínimos y para diferentes intervalos de tiempo como anual, mensual, etc., los cuales pueden ser obtenidos.

La mayoría de los ríos importantes de la región de Puno, no cuentan con estaciones de aforos que nos pueden permitir la planificación del manejo integral de recurso hídricos; por lo tanto, es necesario utilizar métodos empíricos de transformación precipitación-escorrentía debidamente calibrado y validado (TDPS, 2011), y también se observa a nivel de la cuenca llave encontrándose en la cuenca media y baja, es una cuenca no instrumentada la cual es necesario adecuar un modelo hidrológico para determinar la disponibilidad hídrica superficial para diferentes fines de uso.

### **1.1.1. Problema general**

¿Es posible determinar la oferta hídrica del río llave mediante la generación de caudales medios mensuales aplicando el modelo determinístico-estocástico Lutz Scholz?

### **1.1.2. Problemas específicos**

¿Es posible determinar los caudales medios mensuales mediante el método propuesto por Lutz Scholz para un año promedio y realizar su calibración?

¿La ecuación de regresión lineal entre los caudales generados y los caudales aforados para la cuenca llave tienen una correlación aceptable dentro de los parámetros hidrológicos?

### **1.1.3. Justificación**

El estudio hidrológico proporciona la información descriptiva de las características morfológicas y fisiográficas de una cuenca hidrográfica, además evalúa y



cuantifica la oferta y demanda hídrica, finalmente permite entender el funcionamiento hidrológico de la cuenca en situación actual. Después de realizar los estudios sobre la hidrología de la cuenca en estudio, en el presente reporte, proporciona aportes sustanciales, como la caracterización geomorfológica y climatológica, modelación matemática y generación de las descargas medias mensuales a partir de la precipitación de las áreas de la cuenca, la disponibilidad (oferta) y demanda hídrica, balance hídrico, las máximas avenidas y finalmente los episodios de sequía (ANA, 2009).

La agricultura no sólo es el sector que consume más agua en el mundo en términos de volumen; también representa, en comparación con los otros, un uso de bajo valor, poco eficiente y muy subvencionado. Estos factores están forzando a los gobiernos y a los donantes a reconsiderar las repercusiones económicas, sociales y ambientales de los grandes proyectos de riego financiados y administrados por el sector público. En el pasado, el gasto interno en riego era la principal partida de los presupuestos agrícolas en países de todo el mundo. Una parte importante de la asistencia internacional para el desarrollo se ha destinado a establecer sistemas de riego (ANA, 2009).

En los años ochenta, el riego acaparó casi el 30 por ciento de los préstamos agrícolas del Banco Mundial. Una vez establecidos, los proyectos de riego se convierten en una de las actividades económicas más subvencionadas del mundo. A mediados de los años ochenta, Repetto, estimó que las subvenciones medias al riego en seis países asiáticos cubrían el 90 por ciento de los costos totales de funcionamiento y mantenimiento. Los análisis se efectúan para obtener información espacial y temporal acerca de ciertas variables, generalizaciones regionales y relaciones entre las variables. Los componentes pertinentes, con frecuencia, no se miden directamente. Los análisis se



pueden llevar a cabo a través de diferentes enfoques, como son el determinístico, paramétrico, probabilístico y estocástico (Scholz, 2008).

El análisis que se basa en el enfoque determinístico sigue las leyes que describen los procesos físicos y químicos. En el enfoque paramétrico, el análisis se efectúa por intercomparación de datos hidrológicos registrados en diferentes lugares y tiempos. En el enfoque probabilístico, se analiza la frecuencia de la ocurrencia de diferentes magnitudes de las variables hidrológicas. En el enfoque estocástico, se analizan tanto el orden secuencial como la frecuencia de ocurrencia de las diferentes magnitudes (Timpo, 2012).

En la región de Puno en las últimas décadas está disminuyendo el caudal en los ríos provocando ello conflictos sociales, baja producción en el sector agropecuario. así mismo muchas cuencas de los ríos no cuentan con estaciones de aforo, el mismo que dificulta realizar una adecuada gestión del agua en una cuenca, por lo tanto, es necesario recurrir a modelos hidrológicos para determinar la cantidad de caudal en los ríos para una eficiente gestión de agua en una cuenca.

## **1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la oferta hídrica del río Ilave mediante la generación de caudales medios mensuales aplicando el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Ilave.
- Determinar los caudales medios mensuales mediante el método propuesto por Lutz-Scholz para un año promedio y realizar su calibración.



- Determinar la ecuación de regresión lineal entre los caudales generados y los caudales aforados para la cuenca Ilave.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedente nacional

Las numerosas metodologías para determinar la disponibilidad hídrica, involucran datos monitoreados en estaciones meteorológicas. La validez de estos procedimientos se verifica al contrastar los resultados de caudales generados, frente a aquellos medidos empleando los instrumentos de campo.

En el trabajo de Jalcamoro (2017) realizó un modelamiento hidrológico utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz para determinar la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río El Tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel, región Cajamarca, los resultados de las descargas medias mensuales generadas en la microcuenca del río El Tuyo es de  $8.37 \text{ m}^3/\text{s}$ , y se concluye que, con un período de retorno de 5 años, se espera alcanzar caudales medios mensuales que superen los  $10.53 \text{ m}^3/\text{s}$  anuales.

Igualmente Díaz (2017) utilizó el modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Cumbaza -San Martín, llegando a concluir la presencia de caudal en los 12 meses del año, su oferta hídrica promedio de  $5.37 \text{ m}^3/\text{s}$ , caudal mínimo de  $4.45 \text{ m}^3/\text{s}$  en el mes de agosto y un caudal máximo de  $6.35 \text{ m}^3/\text{s}$  en el mes de abril; también Canaza y Gamarra (2017), utilizaron el modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar la alteración de los caudales del río Asmayacu ocasionados por la presencia de los fenómenos del Niño y de la Niña en los últimos 30 años e identificar las probables zonas de inundación en la cuenca Asmayacu – Curahuasi.



Asimismo, Sarango y otros (2012) utilizaron el modelo de precipitación – escorrentía de Lutz Scholz para la determinación del recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Grande del distrito de Ananea-Puno, los resultados muestran un caudal promedio anual de  $3.22 \text{ m}^3/\text{s}$  y un volumen promedio anual de 100.07 MMC en la parte alta de la cuenca del río Grande; en la costa peruana Tarazona (2005) realizó una comparación de tres modelos hidrológicos mensuales en la sub cuencas del río Santa, en el cual determino al modelo que más se ajusta al comportamiento de la cuenca es el modelo hidrológico de Gr2m, con un valor de 0.846, le siguen el modelo de Lutz Scholz con 0.776 y Témez con 0.52.

Finalmente, Scholz (2008) calibro este modelo matemático de transformación de precipitación en descarga para el proyecto nacional de pequeñas y medianas irrigaciones y ofrece una metodología para la calibración de los parámetros hidrológicos, presenta una serie de expresiones empíricas regionalizadas que en teoría permitirán estimar los valores de los caudales a escala mensual en cuencas sin información. El modelo hidrológico de Lutz Scholz, ha sido estudiado y calibrado en 19 cuencas de la sierra peruana, ubicadas en las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca.

### **2.1.2. Antecedente regional**

A nivel regional también se realizaron estudios con el modelo hidrológico Lutz Scholz dando resultados alentadores (Alvarez, 2015) utiliza el modelo hidrológico Lutz Scholz para la generación de descargas medias mensuales del río Sandia, obteniendo un caudal medio anual de  $4.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ; igualmente Ministerio de Agricultura (2008) utilizo el modelo Lutz Scholz para determinar los caudales medios mensuales a nivel de sub cuencas del río Ilave, para el periodo de 1960 al 2007.



Así mismo Timpo (2012) empleo el modelo Lutz Scholz para la determinación de caudales medios mensuales del río Azángaro el modelo hidrológico; además, Tito (2000) utilizó en la cuenca del río Ayaviri en donde realizó la calibración del modelo Lutz Scholz para generar caudales medios en la sub cuenca del río Ayaviri y finalmente, todos estos investigadores obtuvieron resultados satisfactorios, razón por el cual en esta investigación se pretende utilizar este modelo matemático para generar caudales medios mensuales a partir de la precipitación mensual.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Hidrología**

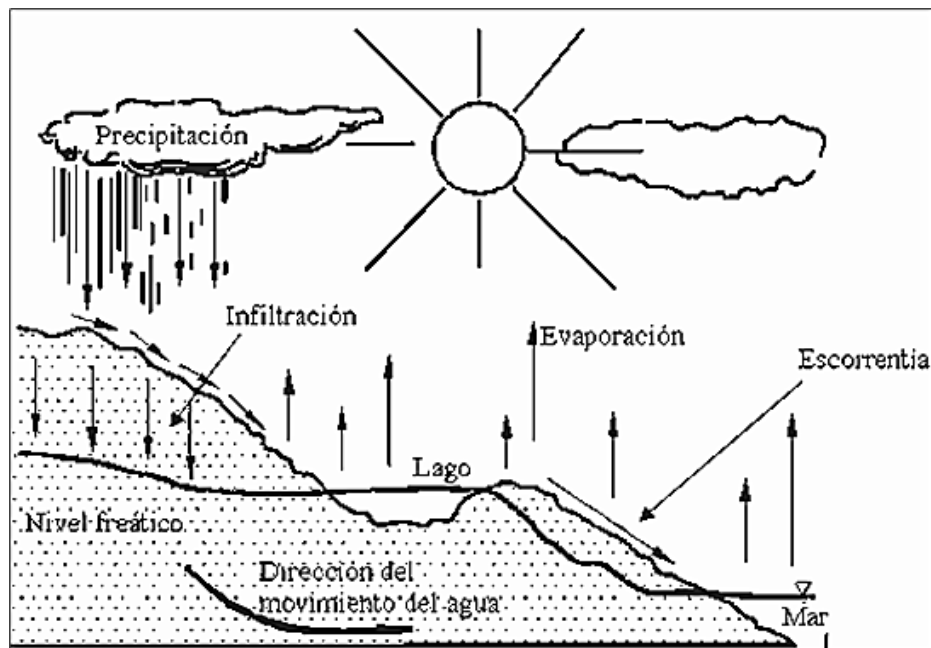
Warren y Lewis (2002), define que la hidrología es una ciencia de la tierra, abarca la ocurrencia, distribución, movimiento, y propiedades del agua en la tierra. Como conocimiento la hidrología es fundamental para el proceso de toma de decisiones donde el agua es el componente del sistema de preocupación. El agua y el medio ambiente están inextricablemente vinculados y es importante comprender como el agua es afectada y como esta afecta al ser manipulada al ecosistema.

### **2.2.2. Ciclo hidrológico**

De acuerdo a Raghunath (2006), es el ciclo de transferencia de agua, que ocurre en la naturaleza; las tres fases importantes del ciclo hidrológico son: (a) evaporación y evapotranspiración (b) precipitación y (c) escorrentía y se muestra en la figura siguiente.

Según Mijares (1989), el globo tiene un tercio de tierra y dos tercios de océano, la evaporación de las superficies de estanques, lagos, embalses, superficies oceánicas, etc. y la transpiración de la vegetación de la superficie; es decir, de las plantas de las hojas en los terrenos cultivados y los bosques, etc. En forma de vapores se elevan hacia el cielo y

se condensan en altitudes más altas por núcleos de condensación y forman las nubes, lo que resulta en el crecimiento de gotas, las nubes se derriten y algunas veces descargan, produciendo la precipitación de diferentes formas como la lluvia, nieve, granizo, aguanieve, niebla, rocío y escarcha, una parte de esta precipitación fluye sobre la tierra llamada escorrentía y parte se infiltra en el suelo que construye el nivel freático del suelo, la escorrentía superficial se une a las corrientes y el agua se almacena en los depósitos, una parte de la escorrentía superficial y del agua subterránea fluye de regreso al océano, de nuevo la evaporación comienza desde las superficies de los lagos, embalses, y el océano, etc. y el ciclo se repite.



**Figura 1.** El ciclo hidrológico.

**Fuente:** Mijares, 1989.

### 2.2.3. Precipitación

Según Chow, Maidment y Mays (1996), la precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como





granizo y la nieve. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. A medida que el aire sube y se enfría, el agua se condensa de un estado de vapor a un estado líquido. Si la temperatura se encuentra por debajo del punto de congelamiento, se forman cristales de hielo. La condensación requiere de una semilla llamada núcleo de condensación alrededor del cual las moléculas de agua se pueden unir o nuclear. Las pequeñas gotas de agua que crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes para que la fuerza de gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empieza a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso.

#### **2.2.4. Intercepción**

Santayana (2007), menciona que es la precipitación retenida en la cobertura vegetal, no tiene mayor importancia en las avenidas grandes; sin embargo, debido a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual. La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de tormenta, de manera que un alto porcentaje de lluvia durante las tormentas de corta duración es interceptado. Después que la vegetación está saturada y el almacenamiento por intercepción se completa, la cantidad de agua que alcanza el suelo es igual a la lluvia menos la evaporación a partir de la vegetación.

#### **2.2.5. Evaporación**

Según Tucci (1993), es un proceso físico en el que un líquido o sólido pasa a estado gaseoso. En meteorología el término evaporación se restringe al cambio del estado líquido del agua al gaseoso, debido a la radiación solar y los procesos de difusión molecular y turbulenta. Además, de la radiación solar, las variables meteorológicas que



intervienen en la evaporación, particularmente en la superficie libre de agua, son la temperatura del aire, viento y presión de vapor.

Chow, Maidment y Mays (1996) define que la evaporación desde la superficie terrestre comprende la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde la superficie de vegetación, y la transpiración a través de las hojas de las plantas, mediante el cual el agua es extraída por las raíces de estas, transportada hacia arriba a lo largo de sus tallos y difundida a la atmosfera a través de pequeñas aberturas en las hojas llamadas estomas. Los procesos de evaporación desde la superficie terrestre y de transpiración de la vegetación se conocen con el nombre de evapotranspiración.

#### **2.2.6. Evapotranspiración**

Para FAO (2006), la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Según Mejía (2006), fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

#### **2.2.7. Infiltración**

Según Chavarri (2017), es la cantidad de agua en movimiento que atraviesa verticalmente la superficie del suelo producto de la acción de las fuerzas capilares, esta



cantidad de agua quedara retenida en el suelo o alcanzara el volumen del acuífero, incrementando el volumen de este.

Entre los factores más importantes que afectan la velocidad o tasa de infiltración son (Mijares, 1989):

- Características físicas de la textura del suelo
- Carga hidráulica o lamina sobre la superficie del suelo
- Contenido de materia orgánica y carbonatos en el suelo
- Contenido de humedad del suelo (inicial y a saturación)
- Grado de uniformidad en el perfil del suelo
- Acción microbiana en el suelo
- Temperatura del suelo y del agua
- Cobertura vegetal
- Uso de suelo
- Cantidad de aire atrapado en el suelo
- Lavado de material fino
- Compactación

#### **2.2.8. Almacenamiento**

Para Chow, Maidment y Mays (1996), el almacenamiento es la principal fuente de humedad del perfil de suelo. Una parte del agua aquí almacenada percola hacia el almacenaje de agua subterránea profunda. Cuando la capa freática está más cerca de la superficie del terreno, puede fluir más tarde en forma de manantiales o llegar a los cauces



como gasto base o gasto de agua subterránea. El almacenaje de depresiones, es definido como el agua que es retenida en pequeñas depresiones del terreno y que no se convierte en escurrimiento superficial, pero puede contribuir a la infiltración y evaporación, dependiendo del tiempo que permanezca.

### **2.2.9. Escorrentía superficial**

Según Chow, Maidment y Mays (1994), es un componente del ciclo hidrológico el cual resulta de la lluvia y/o caudal lateral que no llega a infiltrarse sobre la superficie de la tierra. El escurrimiento superficial en el terreno sigue caminos variables e interconectados debido principalmente a depresiones y vegetación en ella. No es factible definir un procedimiento puramente determinístico para simularlo por lo que se adoptan aproximaciones al fenómeno y se idealiza a éste como una superficie de agua cubriendo uniformemente la superficie del terreno con una lámina delgada.

### **2.2.10. Balance hídrico de una cuenca**

Para Ibarra (1990), el cálculo del balance hídrico en una cuenca fluvial es siempre el principal objetivo, a partir del balance en cuencas fluviales se calculan los balances hídricos generales y se evalúan los recursos de agua para diferentes países, regiones y continentes. Los componentes principales del balance hídrico son: la precipitación, escorrentía, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas para calcular el balance hídrico de una cuenca con un gran río y con diferentes características fisiográficas, la cuenca puede subdividirse en subcuencas para cada una de las que se realiza el balance hídrico (Mejía, 2001).

Para ilustrar la aplicación del balance hídrico en una cuenca hidrográfica se considera el sistema muy simple y muy restringido, este sistema está constituido de una superficie plana e inclinada, completamente impermeable confinado en sus cuatro lados



con una salida en el punto A; si una entrada de lluvia es aplicada al sistema, una salida designada como flujo superficial se desarrollará en A. El balance de agua en este sistema puede ser representado por la siguiente ecuación hidrológica:

$$I - O = \frac{d_s}{s_t}$$

**Dónde:**

I : Entrada por unidad de tiempo

O : Salida por unidad de tiempo

$\frac{d_s}{s_t}$  : Variación del almacenamiento dentro del sistema por unidad de tiempo.

Existe la necesidad de que una altura mínima sea acumulada en la superficie para que haya escorrentía superficial, pero a medida en que la intensidad de lluvia aumenta la altura de agua retenida sobre la superficie aumenta. Una vez cesado la lluvia, el agua retenida sobre la superficie continuará fluyendo hasta dejar el sistema como caudal remanente. En este ejemplo toda la precipitación será eventualmente transformada en caudal siempre que sean depreciadas las pérdidas por evaporación durante la entrada (Chow, Maidment y Mays, 1996).

Mejía (2006), el balance hídrico en una cuenca hidrográfica no es tan simple, por que ocurren diversas pérdidas durante el proceso, el agua precipitada luego de llegar al suelo comienza a ser almacenada, pero la superficie del suelo no es plana ya que existe depresiones en el terreno, el agua allí acumulada eventualmente será evaporada o infiltrada en el suelo, no obstante alcanza los cursos de agua o se transforman en escorrentía, el agua continua sufriendo el proceso de evaporación que debe ser considerada.



El otro proceso que ocurre desde el momento en que la precipitación toca el suelo es el de la infiltración ya que en ningún caso es impermeable y existen siempre pérdidas por infiltración; cuando el agua penetra en el suelo sigue diversos caminos quedando almacenada temporalmente en el suelo y percola hacia capas profundas conformando el agua subterránea o movimiento lateral como flujo subterráneo la que puede aflorar nuevamente o fluir para otra cuenca. Considerando todos estos procesos, de forma general, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica puede ser representado por las siguientes ecuaciones:

a) Balance hídrico en la superficie

$$P - R + R_g - E_s - T_s - I = S_s$$

b) Balance hídrico debajo de la superficie

$$I + G_1 - G_2 - R_g - E_g - T_g = S_g$$

c) Balance hídrico en la cuenca hidrográfica (a + b)

$$P - R - (E_s + E_g) - (T_s - T_g) - (G_1 - G_2) = (S_s + S_g)$$

En las ecuaciones anteriores, los subíndices “s” y “g” significan el origen del vector sobre y debajo de la superficie del suelo, respectivamente.

**Dónde:**

P : Precipitación

S : Almacenamiento

I : Infiltración

T : Transpiración



E : Evaporación

G : Flujo subterráneo

R : Escorrentía superficial

### **2.2.11. Modelos hidrológicos**

De acuerdo a Chow, Maidment y Mays (1994) un modelo hidrológico es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas. Las entradas y las salidas pueden expresarse como función del tiempo  $I(t)$  y  $Q(t)$  respectivamente, en donde  $t$  pertenece al rango de tiempo  $T$  en consideración. El sistema realiza una transformación de la entrada en la salida representada por:  $Q(t) = \Omega I(t)$ , la cual se conoce como ecuación de transformación del sistema. El símbolo  $\Omega$  es una función de transferencia entre la entrada y la salida.

### **2.2.12. Análisis exploratorio y consistencia de dato**

Según menciona Salvador y Gargallo (2013), el Análisis Exploratorio de Datos (A.E.D.) es un conjunto de técnicas estadísticas cuya finalidad es conseguir un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. Para ello, el A.E.D. proporciona métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recolección de los mismos, tratamiento, evaluación de datos ausentes, identificación de casos atípicos (outliers)

La mayoría de las técnicas de AED son de carácter gráfico con algunas técnicas cuantitativas. La razón de la fuerte dependencia de los gráficos es que, por su propia naturaleza, el papel principal de AED es una exploración de mente abierta, donde los gráficos permiten una mejor visión de los datos, obteniendo nuevos conocimientos y revelando sus secretos estructurales. En combinación con las capacidades de



reconocimiento de patrones del analista, los gráficos constituyen una herramienta poderosa para llevar esto a cabo, algunos métodos del AED son:

### **2.2.13. Modelo Lutz Scholz**

Para Lutz Scholz (1980) este modelo hidrológico es combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para un año promedio (Balance Hídrico -Modelo determinístico) y, una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico); fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo; los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas; el procedimiento que siguió el experto Lutz Scholz:

Analizó los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas entre Cuzco y Cajamarca y procedió a calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de la esorrentía promedio.

En un segundo paso, estableció un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en estas cuencas que carecen de información hidrométrica. Aplicando los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca respectiva y los modelos parciales, es posible calcular los caudales mensuales.





El tercer paso permite la generación de caudales para un periodo extendido en el punto de captación proyectada por un cálculo combinando (la precipitación efectiva con las descargas del mes anterior por un proceso Markoviano) y, calibrando el modelo integral por aforos ejecutados.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.), los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

La fórmula utilizada para el desarrollo de caudales para periodos extendidos es:

$$Q_t = B_0 + B_1 * Q_{t-1} + B_2 * PE_t + Z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

**Dónde:**

$Q_t$  : Caudal del mes t

$Q_{t-1}$  : Caudal del mes anterior

$PE_t$  : Precipitación efectiva del mes t

$B_1$  : Coeficientes de la regresión lineal múltiple

$S$  : Error estándar de la regresión múltiple

$r$  : Coeficiente de correlación múltiple

$Z$  : Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año t

**a) Tratamiento de datos hidrometeorológicos**



Una de las áreas más descuidadas en el análisis de series hidrológicas es el tratamiento de los datos históricos registrados por medición directa por lectura o por conteo. Aquí, tratamiento significa el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, incluyendo la corrección de los posibles errores sistemáticos, la complementación, extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales. La mayoría de las cuencas y las condiciones desarrolladas están en un constante estado de transición; por esta razón, los datos históricos pueden ser válidos sólo para una condición desarrollada e inválidos para otra; por ello, la confianza de la hidrología como una disciplina científica está realmente basada sobre la disponibilidad de suficientes datos (en cantidad y calidad) para verificarlas teorías alrededor del fenómeno natural (Chavarri, 2017).

Dentro del contexto general de un estudio se denomina fase preliminar y consiste básicamente de tres actividades principales: (1) Análisis de consistencia de la información, (2) complementación de los datos faltantes y (3) extensión de los registros. Con la obtención de la información consistente, completa y extendida termina la fase preliminar, pudiendo a partir de este momento determinar los 24 parámetros deseados de dichos datos desarrollando la fase aplicativa que, para la presente tesis vendría a ser la aplicación del modelo “Precipitación-Descarga” del experto Lutz Scholz.

#### **b) Análisis de consistencia de la información**

La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no-homogeneidad en la muestra histórica se puede introducir un error significativo en todos



los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados (Santayana, 2007).

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias y, la no homogeneidad es definida como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo. Por ejemplo, la no homogeneidad en los datos de precipitación es creados por tres fuentes principales: 1) el movimiento de las estaciones en una distancia horizontal, 2) el movimiento vertical, 3) cambios en el medio ambiente de una estación de control como tala árboles, construcción de casas, inundaciones, entre otros. En forma general los datos medidos en una estación pueden incluir dos tipos de errores; errores aleatorios y errores sistemáticos.

Los errores aleatorios, se presentan debido a la inexactitud en las mediciones y observaciones, son difíciles de evaluar después de transcurrido un tiempo y se originan por error de lectura de datos, equipos defectuosos, mal empleo de los equipos, transcripciones erróneas, entre otros. Los errores sistemáticos son los de mayor importancia y como consecuencia de los mismos los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente, con lo que los resultados finales se desvían pudiéndose producir grandes errores en los estudios que se realicen a partir de dichos datos (regularizaciones) (Mejía, 2006).

Los errores sistemáticos pueden ser a la vez de dos tipos: naturales y artificiales u ocasionados por la mano del hombre los mismos que ocurren en una dirección como saltos y tendencias, de allí que sean este tipo de errores los que se analicen para eliminarlos como datos inconsistentes. Los errores sistemáticos naturales como por ejemplo la muerte gradual de la cobertura arbórea debido a una plaga, el calentamiento global, entre otros, ocasionará cambios graduales en los datos registrados; los errores



sistemáticos artificiales u ocasionados por la mano del hombre, como por ejemplo, el cambio de la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas, el sobre pastoreo, la construcción de infraestructuras hidráulicas en la cuenca, la construcción de casas, la tala brusca de árboles, entre otros, ocasionarán cambios bruscos en los registros como saltos y tendencias (Chow, Maidment y Mays, 1996).

Desde un punto de vista práctico son de mayor interés los errores sistemáticos ocasionados por la intervención de la mano del hombre y en ellos se concentra el análisis de consistencia. Esta inconsistencia y no-homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

El análisis de consistencia de la información es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no-homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica. Según la disponibilidad de la información hidrometeorológica el estudio en una cuenca puede clasificarse en series múltiples y series simples: Las series simples, cuando se cuenta con el registro de una estación, para estos datos se realiza un análisis de consistencia de tipo más estocástico (Warren y Lewis, 2002).

Las series múltiples, cuando se cuenta con los registros de más de una estación, el índice indicador del tiempo cronológico de cada serie puede ser común, superpuesto de periodos no iguales o no pueden ser superpuestos en toda la serie permitiendo relacionar los registros de dichas estaciones de manera adecuada. Cuando se considera el tratamiento de series múltiples se cuenta con una ventaja cuando hay alguna relación entre ellas, si no existen tales relaciones, se puede analizar las series múltiples como series simples.



Se esquematiza en forma general el camino que se debe seguir según el tipo de serie con la que se cuenta; en el caso particular del presente trabajo se cuenta con series múltiples por lo que se explicará su análisis de consistencia, no así de las series simples.

### **c) Análisis de saltos**

Según Mejía (2006) son formas determinísticas transitorias, que permiten a una serie hidrológica periódica o no periódica pasar desde un estado a otro como respuesta a cambios hechos por el hombre debido al continuo desarrollo de los recursos hídricos en la cuenca o a cambios naturales continuos que pueden ocurrir.

Para Villon (2004), los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente desde un punto de vista práctico el análisis más importante es en los dos primeros. Se presenta la forma típica de un salto que puede ser originado por el movimiento de la estación o derivación aguas arriba de una estación de control, en general representa un salto si se modifica de forma brusca las condiciones normales aguas arriba de la estación de control (caudales) o alrededor de la estación de medición (precipitación).

### **d) Análisis de tendencias**

Según Villon (2004), tendencias son componentes determinísticos transitorios que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro de la misma, que afecta la distribución y dependencia de las series. Por ejemplo, si hay un cambio ascendente o descendente en la temperatura, precipitación, evaporación o escorrentía, entonces se produce una tendencia. (Estas tendencias son originadas por intervención directa del hombre).



### e) Complementación de datos hidrometeorológicos

La complementación y extensión de la información se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de la información de los registros cortos y tener en lo posible series completas más confiables y de un período uniforme. Existen varios procedimientos para realizar la complementación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas. Cuando se realiza la complementación y/o extensión de datos hidrológicos o meteorológicos se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada debido a que:

Al aumentar la longitud de un registro de datos se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito el estimador se asemeja más al parámetro Poblacional. Si el procedimiento no es el adecuado en vez de mejorar los estimados se empeoran, siendo preferible utilizar los registros cortos. El proceso de complementación se realiza en las series consistentes, vale decir, después de haber analizado la confiabilidad de los mismos (Mejía, 2006).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ASPECTOS GENERALES

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

La cuenca del río Ilave se encuentra según coordenadas UTM Zona 19 - WGS84:  
Este entre 352,353.00 – 452,052.00; Norte entre 8104,770.0 – 8248,751.00;  
altitudes entre 3,805.00 – 5,400.00 m.s.n.m.

##### 3.1.2. Ubicación hidrográfica

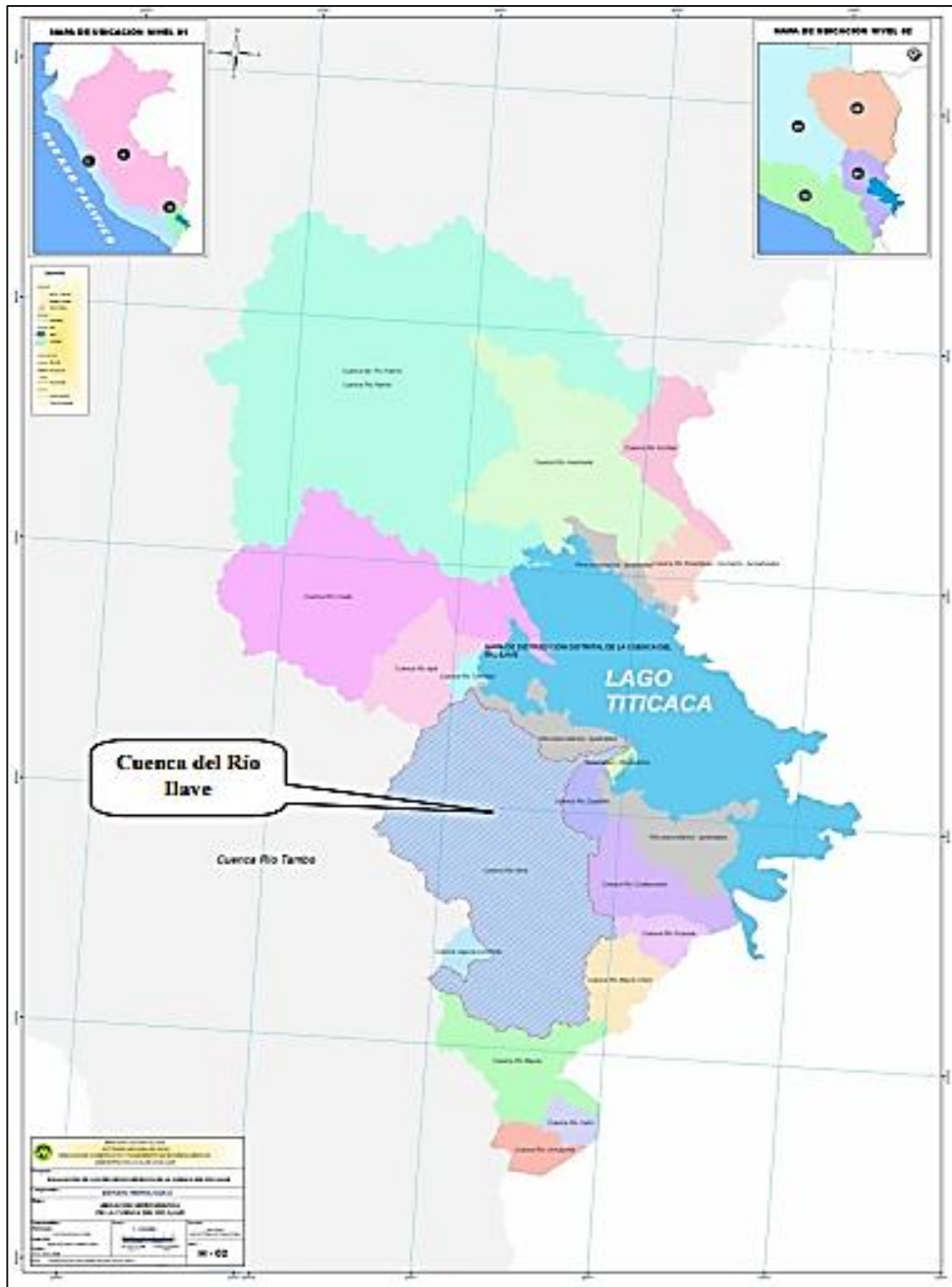
La cuenca del río Ilave, hidrográficamente se encuentra ubicada en: Vertiente  
Titicaca Sistema Hídrico: TDPS (ANA, 2009).

##### 3.1.3. Ubicación política

La cuenca del río Ilave, políticamente se encuentra ubicada en: Región de Puno,  
provincias de Chucuito, El Collao y Puno; distritos de Huacullani, Juli, Capaso,  
Mazocruz, Conduriri, Ilave, Acora, Platería, Chucuito, Laraqueri, Puno y San  
Antonio. Localidades Varios.

##### 3.1.4. Límites hidrográficos

La cuenca del río Ilave, limita con las siguientes cuencas hidrográficas: por el Este  
el Lago Titicaca, Cuencas río Zapatilla, Pusuma y Mauri Chico; Oeste: Cuencas  
río Tambo y laguna Loriscota; Norte: Cuenca río Illpa, zona Circunlacustre del  
lago Titicaca y Sur: Cuenca río Maure (ANA, 2009).



**Figura 2.** Plano de ubicación de la cuenca de Ilave.

**Fuente:** Ministerio de Agricultura.





### **3.1.5. Fisiografía**

La fisiografía de la cuenca del río Ilave, tiene la forma de una pera, su relieve terrestre se caracteriza por presentar terrenos planos, áreas con pendientes moderadas, y con ondulaciones. La parte alta del área de estudio se caracteriza por presentar pequeñas quebradas con afloramiento rocoso, de escasa vegetación y presencia de pocos manantiales temporales. Es necesario indicar, que los estudios realizados por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, describe fisiográficamente a los lugares aledaños al Lago Titicaca pertenecen a la unidad geomorfológico denominada “Área del Altiplano” área que caracteriza por presentar terrenos planicies con laderas y cimas de cerro (ANA, 2009).

### **3.1.6. Climatología**

El clima local en la región de Puno está profundamente afectado por la altitud, la proximidad al lago Titicaca y la topografía local. El clima de la cuenca del río Ilave es frío y seco. En las épocas de mayor frío (junio – agosto), hay fuerte incidencia de las heladas, en los cuales las temperaturas mínimas pueden registrarse a 15° C bajo cero. Las granizadas son más frecuentes en las primeras lluvias de cada año, que coinciden con los meses de septiembre y octubre, en condiciones normales puede presentarse en pleno verano (ANA, 2009).

### **3.1.7. Temperatura**

La temperatura media mensual varía de 1.0 °C a 5.0 °C en los meses de junio y agosto, de 9.0° C a 9.3° C en los meses de noviembre a marzo (TDPS, 2011).



### **3.1.8. Humedad relativa**

Los valores promedios más altos de humedad relativa en la cuenca del río Huenque registran durante los meses de verano, de enero, febrero y marzo (humedad relativa mayor a 70%) los valores más bajos se dan durante los meses de invierno de junio, julio y agosto (humedad relativa menor a 50%) (ANA, 2009).

### **3.1.9. Precipitación**

La precipitación pluvial media anual varía entre 397 mm y 867 mm, concentrándose en un 75%, entre los meses de diciembre a marzo (ANA, 2009).

### **3.1.10. Ecología**

La cuenca del río Ilave se encuentra dentro de la clasificación bosque - húmedo montano sub-tropical (bh – ms), la zona se extiende desde las orillas del lago Titicaca de 3812 msnm hasta los 4075 msnm, se observa la presencia de pastos naturales alto andinos, constituidos principalmente por las especies de la familia de las gramíneas como festucas, mulenbergía, calamagrostis y poa, entre los más importantes, todas las plantas mencionadas pueden ser consideradas como indicadores de la parte alta de éstas formaciones ecológicas (ANA, 2009).

## **3.2. MATERIALES**

### **3.2.1. Información cartográfica**

Para el presente trabajo de investigación se han utilizado cartas nacionales que abarcan la cuenca Ilave, se utilizaron las siguientes hojas de la carta nacional: 32v, 32x, 32y, 33v, 33x, 33y, 34v, 34x, 34y, 35v, 35x, 35y, a escala 1: 100,000; elaborados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), las cuales fueron digitalizadas bajo el entorno de



SIG con equidistancia mínima entre curvas de nivel de 100 m. Asimismo, los planos en formato shp elaborados por la autoridad nacional del agua (ANA).

### **3.2.2. Información hidrométrica**

La información hidrométrica se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI-Puno), se utilizó registros de caudales medios mensuales y totales de las estaciones Puente Ilave y como apoyo para el análisis de doble masa los registros históricos de la estación Puente Desaguadero.

### **3.2.3. Información meteorológica**

La información meteorológica se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI-Puno), se utilizó registros de temperatura media mensual y anual de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Laraqueri, Chilligua, Ichuña, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz Acora y Puno.

### **3.2.4. Materiales de escritorio**

- Papel bond A4, A3, memoria USB 16 GB, tinta de impresora y materiales de escritorio (lapiceros, borrador, marcadores, entre otros).

### **3.2.5. Materiales y equipos de campo**

- Cartas nacionales, cámara fotográfica digital, GPS Garmin y wincha de 5m.

### **3.2.6. Materiales y equipos de gabinete**

- Computadora coreI7, RAM 4 GB, velocidad 2.60 GHz, 1000 GB memoria, impresora multifuncional Epson L220 sistema continuo, plotter, fotografías digitalizadas y bibliografía necesaria.



### **3.2.7. Softwares utilizados**

- Arc Gis 9.3, microsoft Office Word 2016 y microsoft Office Excel 2016

## **3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.3.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación está referido a una investigación descriptiva y comparativa, dado que se compara los caudales registrados por la institución SENAMHI con los obtenidos de la modelación hidrológica utilizando el modelo estocástico de Luz Scholz en la cuenca Ilave.

### **3.3.2. Población y muestra**

#### **a) Población:**

Para el presente trabajo de investigación se consideró como población al total de datos meteorológicos de la cuenca de la Ilave correspondiente a diez estaciones meteorológicas dentro y cercanas a la cuenca.

#### **b) Muestra:**

Para la presente investigación se consideró una muestra de datos recopilados de las estaciones mediante muestreo aleatorio. Los datos recopilados son registros meteorológicos de 45 años consistentes en: (precipitación media mensual), estos datos se procesaron a nivel mensual comprendidos desde enero 1971 a diciembre del 2016.

#### **c) Técnicas:**

La técnica a emplear viene a ser la comparación de caudales registrados por Servicio Nacional Meteorología e Hidrología (SENAMHI), obtenidos en la modelación hidrológica a nivel mensual.



### **3.3.3. Características geomorfológicas de la cuenca**

Las principales características de la cuenca del río Ilave a determinar son: Área de la cuenca, perímetro de la cuenca, longitud del río principal, curva hipsométrica, polígono de frecuencia de altitudes, altitud media de la cuenca, índices representativos (Índice de compacidad o Gravelius e índice o factor de forma), pendiente del río principal y densidad de drenaje.

### **3.3.4. Análisis de consistencia de la información de precipitación**

Para tener un mejor análisis de la consistencia de información pluviométrica en 03 grupos las estaciones meteorológicas, considerando que las estaciones estén ubicadas en forma contigua, con altitudes similares y comportamiento hidrológico similar (Santayana, 2007).

### **3.3.5. Análisis visual de histogramas de precipitación**

Se analizó visualmente la información histórica de un hidrograma ploteada en coordenadas cartesianas, en el eje de las abscisas se plotea el tiempo (años) y en el eje de las ordenadas la variable precipitación mensual. La apreciación visual de estos gráficos permite observar la distribución de las variables en estudio con respecto al tiempo, e indicar el periodo o periodos dudosos, lo cual se puede reflejar como saltos y/o tendencias.

Para indicar en este primer análisis los periodos y aceptables se puede analizar en diversas formas:

Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan sus hidrogramas y se ve cual periodo vario notoriamente uno respecto al otro.



Cuando se tiene una sola estación, esta se divide en varios periodos y se compara con la información obtenida en campo, tratando de no confundir un salto con la ocurrencia de varios periodos húmedos o prolongadas sequías.

En lo posible se debe mantener el periodo más largo como la más confiable (Santayana, 2007).

### **3.3.6. Análisis de doble masa**

El análisis de doble masa o de dobles acumulaciones es una herramienta que sirve para detectar la inconsistencia de la información de precipitación total mensual, mediante los puntos de quiebres que se presentan en los diagramas respectivos.

El procedimiento para realizar este análisis es el siguiente:

- Obtener la información de precipitación total anual original de dos o más estaciones de registro.
- Calcular las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación y el promedio de las precipitaciones anuales acumuladas de todas las estaciones.
- Plotear los valores obtenidos en el paso anterior en sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de abscisas el promedio de las precipitaciones anuales acumulados y en el eje de ordenadas las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación en estudio.
- En estos gráficos se define los quiebres que pueden ser significativos o no para su posterior análisis estadístico.

### 3.3.7. Análisis estadístico

Una vez obtenido de los hidrogramas de precipitación y del análisis de doble masa los periodos de posible corrección y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales y cuales se modificarán, se procede a analizar estadísticamente tanto en la media como en la desviación estándar.

### 3.3.8. Consistencia de la media

La consistencia de la media se realiza mediante la prueba estadística “T” de Student, se analiza si los valores promedios de los periodos seleccionados son estadísticamente iguales o diferentes con un nivel de significancia de 95 %, siguiendo el siguiente procedimiento:

Prueba Estadística “T”:

#### a) Planteamiento de las hipótesis:

$$H_p \quad : \quad \mu_1 = \mu_2 \text{ (media poblacional)}$$

$$H_a \quad : \quad \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha \quad : \quad 0.05$$

#### b) Calculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios:

$$S_d = S_p * \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{((n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2)}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$



**Donde:**

$S_d$  : Desviación estándar de las diferencias de los promedios

$S_p$  : Desviación estándar ponderada

$n_1$  : Número de datos del primer periodo

$n_2$  : Número de datos del segundo periodo

$S_1^2$  : Varianza del primer periodo.

$S_2^2$  : Varianza del segundo periodo.

**c) Cálculo del valor de  $T_c$ , según:**

$$T_c = \frac{[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)]}{S_d}$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

**Donde:**

$T_c$  : T calculado.

$\mu_1 - \mu_2$ : 0, por hipótesis.

**d) Hallar el valor de “ $T_t$ ”:**

De las tablas de T de Student con:  $\alpha = 0.05$  y G.L. =  $n_1 + n_2 - 2$

**Donde:**

G.L : Grados de libertad.

$T_t$  : T tabulado.

TC : T calculado.





### c) Conclusión:

Si  $(T_c) \leq T_t$  (95%), entonces la media del primer periodo es igual a la media del segundo periodo, estadísticamente.

Si  $(T_c) > T_t$  (95%), entonces la media del primer periodo no es igual a la media del segundo periodo, estadísticamente, en consecuencia, se debe corregir la información de menor número de datos.

### Consistencia de la desviación estándar

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza mediante la prueba estadística “F” de Fisher, si las desviaciones estándar ( $S_1$  y  $S_2$ ) de las sub muestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

### Prueba estadística F:

Planteamiento de las hipótesis:

$H_p$  :  $\sigma_{12} = \sigma_{22}$  (varianzas poblacionales)

$H_a$  :  $\sigma_{12} \neq \sigma_{22}$

$\alpha$  : 0.05

Cálculo de  $F_c$ , según:

$F_c = S_1/S_2$  si  $S_1 > S_2$

$F_c = S_2/S_1$  si  $S_2 > S_1$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (X_1 - \bar{X})^2$$



Determinar el valor de Ft. en las tablas con:  $\alpha = 0.05$ , GLN. =  $n_1-1$  y GLD =  $n_2-1$

**Dónde:**

Fc = Valor de F calculado

Ft = Valor de F tabular

$\alpha$  = Nivel de significación

GLN = Grados de libertad del numerador

GLD = Grados de libertad del denominador.

Conclusiones:

Si  $F_c \leq F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ ; estadísticamente.

Si  $F_c > F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ ; estadísticamente, en este caso se debe corregir la información.

**d) Corrección de la información.**

Si los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, entonces la información original no se corrige por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la recta de doble masa presenta pequeños quiebres. En caso contrario se debe corregir los datos de las sub muestras con las siguientes ecuaciones.

Para corregir el primer periodo, se emplea la siguiente ecuación:

$$X'(t) = \left( \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1} \right) * (S_2 + \bar{X}_2)$$

Para corregir el segundo periodo:

$$X(t) = \left( \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2} \right) * (S_1 + \bar{X}_1)$$



**Donde:**

$X'(t)$  : valor corregido de la información

$X(t)$  : valor a ser corregido.

**3.3.9. Generación de caudales mensuales para un año promedio**

Según Scholz (1980), la ecuación fundamental que describe el modelo es a través del balance hídrico mensual en mm/mes, que es el siguiente:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

**Donde:**

$CM_i$  = Caudal mensual (mm/mes)

$P_i$  = Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)

$D_i$  = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

$G_i$  = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)

$A_i$  = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

Para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor, es decir,  $G_i = A_i$ , y para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando (P-D) por (C\*P), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a  $m^3/s$ ) la ecuación (1) se convierte en:

$$Q = c' * C * P * AR$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )



$c'$  = coeficiente de conversión del tiempo (mes/s)

$C$  = coeficiente de escurrimiento

$P$  = Precipitación total mensual (mm/mes)

$AR$  = Área de la cuenca ( $m^2$ )

### 3.3.10. Coeficiente de escurrimiento

Para esta investigación se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L. Turc:

$$C = \frac{P - D}{P}$$

**Dónde:**

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

$P$  = Precipitación Total anual (mm/año)

$D$  = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de  $D$  y  $L$ , se utilizan las siguientes expresiones:

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{0.5}}$$

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3$$

**Siendo:**

$L$  = Coeficiente de temperatura

$T$  = Temperatura media anual ( $^{\circ}C$ )

Dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escurrimiento para toda la sierra, se ha desarrollado la fórmula siguiente, que es válida para la región sur:



$$\bar{C} = 3.16E12(P^{-0.571})(EP^{-3.686}) \quad \gamma = 0.96$$

$$\bar{D} = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP) \quad \gamma = 0.96$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

La evapotranspiración potencial, se ha determinado mediante la fórmula de Hargreaves en base a temperatura:

$$EP = 0.0075(RSM)(TF)(FA)$$

RSM y FA, se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$RSM = 0.075(RA) \sqrt{\frac{n}{N}}$$

$$FA = 1 + 0.06(AL)$$

**Donde:**

RSM = Radiación solar media

TF = Componente de temperatura

FA = Coeficiente de corrección por elevación

TF = Temperatura media anual (°F)

RA = Radiación extraterrestre (mm H<sub>2</sub>O / año)

(n/N) = Relación entre insolación actual y posible (%)



50 % (estimación en base a los registros)

AL = Elevación media de la cuenca (km)

### 3.3.11. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía.

A fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado:

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5$$

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

Ai = Coeficiente del polinomio

En las siguientes tablas se muestran los límites de la precipitación efectiva y los tres juegos de coeficientes ai, que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

**Tabla 1.** Límite superior para la precipitación efectiva.

Curva N°	Ecuación	Rango
Curva I	PE = P - 120.6	P > 177.8 mm/mes
Curva II	PE = P - 86.4	P > 152.4 mm/mes
Curva III	PE = P - 59.7	P > 127.0 mm/mes

**Fuente:** PLAN MERIS II-Generación de caudales mensuales.

**Tabla 2.** Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.

ai	Coeficiente para el cálculo de pe según curva		
	Curva I	Curva II	Curva III
a0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.021)
a1	-0.0185	0.1358	0.1358
a2	0.001105	-0.002296	-0.002296
a3	-1.20E-05	4.35E-08	5.53E-05
a4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

**Fuente:** PLAN MERIS II.

De esta forma es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y precipitación total:

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento

Q : Caudal anual

$\sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$  : Suma de la precipitación efectiva mensual

P : Precipitación Total anual

### 3.3.12. Retención de la cuenca

Bajo la suposición de que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas:

$$R_i = CM_i - P_i$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$



Dónde:

CMi : Caudal mensual (mm/mes)

PEi : Precipitación efectiva mensual (mm/mes)

Ri : Retención de la cuenca (mm/mes)

Gi : Gasto de la retención (mm/mes)

Ai : Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Ri : Gi para valores mayores que cero (mm/mes)

Ri : Ai para valores menores que cero (mm/mes)

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio, que para el caso de las cuencas de la sierra varía de 43 a 188 mm/año.

### 3.3.13. Relación entre descargas y retención

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$Q_t = Q_o e^{-a(t)}$$

Dónde:

Qt : Descarga en el tiempo t

Qo : Descarga inicial

a : Coeficiente de agotamiento

t : Tiempo





Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. En base a los hidrogramas se ha determinado que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa continuando de forma progresiva pero menos pronunciada, hasta el final de dicha estación.

### 3.3.14. Coeficiente de agotamiento

Mediante la fórmula (11) se puede calcular el coeficiente de agotamiento "a", en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.

Con fines prácticos se puede despreciar la variación del coeficiente "a" durante la estación seca empleando un valor promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca.

$$a = f(\ln AR)$$

$$a = 3.1249E67(AR)^{-19.336}(T)^{-19.336}(R)^{-1.429}$$

$$r = 0.86$$

Los análisis de las observaciones disponibles muestran, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana:

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible



ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas:

Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año):

$$a = -0.00252(\text{LnAR}) + 0.034$$

Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

$$a = -0.00252(\text{LnAR}) + 0.030$$

Cuencas con agotamiento mediano. Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252(\text{LnAR}) + 0.026$$

Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención ( $> 100$  mm/año) y vegetación mezclada:

$$a = -0.00252(\text{LnAR}) + 0.023$$

Dónde:

A : Coeficiente de agotamiento por día

AR : Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

EP : Evapotranspiración potencial anual (mm/año)

T : Duración de la temporada seca (días)

R : Retención total de la cuenca (mm/año)



### 3.3.15. Almacenamiento hídrico

Existen tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados: Acuíferos, lagunas y pantanos, y nevados.

La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

#### **Acuíferos:**

$$L_A = -750(I) + 315 \quad (\text{mm/año})$$

Siendo:

$L_A$  : lámina específica de acuíferos

$I$  : pendiente de desagüe:  $I \leq 15 \%$

#### **Lagunas y Pantanos:**

$$L_L = 500 \quad (\text{mm/año})$$

Siendo:  $L_N$  = lámina específica de nevados.

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva.

El almacenamiento se expresa en milímetros sobre toda la cuenca. Se considera como referencia los reportes del modelo elaborado por el PLAN MERISS II (Misión Técnica Alemana).

### 3.3.16. Gasto de la retención

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede determinar experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio por siguiente expresión:

$$G_i = \left[ b_i / \sum_{i=1}^m b_i \right] R$$

Dónde:

$b_i$  : relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).

$\sum_{i=1}^m b_i$  : sumatoria de la retención entre el caudal del mes  $i$  y el caudal inicial. Coeficiente del gasto de la retención).

$G_i$  : gasto mensual de la retención (mm/mes).

$R$  : retención de la cuenca (mm/mes).

Pero el coeficiente del gasto de la retención se calcula de la siguiente expresión:

$$b_i = e^{-at}$$

Dónde:

$b_i$ : relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).

$a$ : Coeficiente de agotamiento.

$t$ : número de días del mes, es acumulativo para los meses siguientes.

### 3.3.17. Restitución

Se utiliza la siguiente ecuación para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interés.

$$R_i = (r_i / \sum r_i) * A$$

Dónde:

$R_i$  : Proporción del agua de lluvia que entra en el almacén hídrico para el mes (i).

$A$  : Almacenamiento hídrico.

$r$  : almacenamiento hídrico (mm/año).

$r_i$  : almacenamiento hídrico durante la época de lluvia para el mes (i).

La extensión de cada tipo de la cuenca se mide con precisión suficiente en mapas de 1:100.000. Además, se toma como referencia aerofotos en caso que estén disponibles.

### 3.3.18. Abastecimiento de la retención

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %).

Región	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junin	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

**Fuente:** PLAN MERIS II – Parámetros de calibración para la sierra peruana.



La lámina de agua  $A_i$  que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva  $PE_i$ . Se calcula mediante la ecuación:

$$A_i = a_i \left( \frac{R}{100} \right)$$

Siendo:

$A_i$  : abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

$a_i$  : coeficiente de abastecimiento (%)

$R$  : retención de la cuenca (mm/año)

### 3.3.19. Caudal mensual para un año promedio

Está basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Dónde:

$CM_i$  = Caudal del mes  $i$  (mm/mes)

$PE_i$  = Precipitación efectiva del mes  $i$  (mm/mes)

$G_i$  = Gasto de la retención del mes  $i$  (mm/mes)

$A_i$  = Abastecimiento del mes  $i$  (mm/mes)

### 3.3.20. Generar caudales medios para un periodo extendido

Según Scholz (1980), la ecuación integral para la generación de caudales mensuales extendidos es:

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_t) + z(S)\sqrt{1 - r^2}$$



Dónde:

$Q_t$  = Caudal del mes  $t$

$Q_{t-1}$  = Caudal del mes anterior

$PE_t$  = Precipitación efectiva del mes

$B_1, B_2$  y  $B_3$  = Coeficientes de la regresión.

$R$  = Coeficiente de correlación.

Los parámetros  $B_1, B_2, B_3, r$  y  $S$  se calcula sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio por un cálculo de regresión con  $Q_t$  como valor dependiente y  $Q_{t-1}$  y  $PE_t$ , como valores independientes. Para el cálculo se recomienda el uso de software estadístico u hojas electrónicas.

El proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo
- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor  $Q_0$  sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

### 3.3.21. Test estadístico

Para determinar la calidad de la coincidencia de los caudales generados con los observados, se desarrolla la comparación de los promedios y desviaciones tipo de los valores históricos y los generados.



Para probar si los promedios salen de la misma población, se utiliza el test de Student (Prueba "t"). Esta prueba debe ser desarrollada para cada mes.

La comparación estadística de la desviación estándar se realiza mediante el test de Fischer (Prueba "F"). Que se compara con el valor límite  $F_{p/2}(\%, (n_1, n_2))$ .





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

##### 4.1.1. Sistema hidrográfico

El sistema hidrográfico de la cuenca del río Ilave, se compone principalmente de la confluencia de los ríos Huenque y Aguas Calientes. El río Huenque tiene sus principales afluentes como: río Chichillapi, río Llusta Alta, río Ayupalca y río Conduriri, que aportan sus aguas en forma directa. El cauce principal nace desde el río Coypa Coypa, río Chichillapi, río Llusta y río Huenque, cuya longitud del cauce es de 158.80 km hasta la confluencia con el río Aguas Calientes (ANA, 2009).

El río Aguas Calientes tiene sus principales afluentes como: río Malcomayo, río Cutimbo, río Loripongo, río Tunquipa y río Uncallane, que aportan sus aguas en forma directa. El cauce principal nace desde la quebrada Huallata Apacheta, quebrada Taipicerca, quebrada Mocsoma, quebrada San Miguel, río Samigia, río Malcomayo, río Grande y río Aguas Calientes, cuya longitud del cauce es de 127.53 km hasta la confluencia con el río Huenque.

##### 4.1.2. Parámetros morfológicos de la cuenca del río Ilave

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ilave queda definida por su forma, relieve y drenaje; las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica; recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas. Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica, a partir de aquellos parámetros físicos que son fáciles de medir.

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ilave se presenta en el siguiente cuadro.

**Tabla 4.** Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ilave.

Parámetro	Unidad	Valor	
Superficie total de la cuenca	km <sup>2</sup>	7771.5	
Perímetro de la cuenca	km	631.9	
Coefficiente de compacidad	-	2.01	
Factor de forma	-	0.18	
Longitud del río principal	km	211	
Ancho medio de la cuenca	km	37,12	
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	288.87
	Lado menor	km	27.11
Numero de ríos de acuerdo al grado de ramificación	Orden 1	-	1301
	Orden 2	-	295
	Orden 3	-	74
	Orden 4	-	18
	Orden 5	-	13
	Orden 6	-	5
	Orden 7	-	1
Longitud total de los ríos de acuerdo al grado de ramificación	Orden 1	km	3500.59
	Orden 2	km	1227.09
	Orden 3	km	595.63
	Orden 4	km	271.7
	Orden 5	km	123.5
	Orden 6	km	101.91
	Orden 7	km	52.2
Número total de ríos	-	1707	
Densidad de drenaje	km	0,75	
Frecuencia de los ríos	n/km <sup>2</sup>	0,22	
Cota máxima de la cuenca	msnm.	5400	
Cota mínima de la cuenca	msnm.	3805	
Pendiente media de la cuenca	m/m	0,0055	
Altitud media de cuenca	msnm.	4309.31	

**Fuente:** MINAG/ANA Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Ilave.



#### 4.1.3. Información meteorológica e hidrométrica

Las variables que se emplean en el presente estudio son la precipitación total mensual, la temperatura y el caudal promedio mensual, esta información es obtenida a través de Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional de Aguas (MINAG-ANA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Para la variable precipitación, se va a emplear información pluviométrica de 10 estaciones meteorológicas; de las cuales las 05 estaciones se encuentran dentro de la cuenca del río Ilave (Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ilave y Rincon de la Cruz Acora) y 05 estaciones vecinas se encuentra fuera de la cuenca del río Ilave, los mismos que nos servirán de apoyo (Capazo, Pizacoma, Ichuña, Puno y Juli). La ubicación política, geográfica e hidrográfica de las estaciones meteorológicas consideradas en la investigación se presenta en la tabla 5. Para la información hidrométrica se va a emplear información de caudal medio mensual de la estación Puente Ilave, y como apoyo para el análisis de consistencia de la información hidrométrica, la estación Puente Huancané. La ubicación política, geográfica e hidrográfica de las dos estaciones hidrométricas consideradas se presentan en la tabla 6.

El periodo de registro de la información pluviométrica de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Laraqueri, Chilligua, Ichuña, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz Acora y Puno es de 46 años (1971 al 2016), los mismos que se presentan en las tablas A.1 al A.10 del anexo A.

Para el presente estudio, para tener un mejor análisis de la consistencia de la información pluviométrica obtenidas de las 10 estaciones meteorológicas, se ha dividido en 03 grupos (03 estaciones de la parte alta de la cuenca, 03 estaciones ubicadas en la parte media de la cuenca y 04 estaciones ubicadas en la parte baja de la cuenca),

considerando que las estaciones tengan altitudes similares, sean sub cuencas vecinas y tengan un comportamiento hidrológico similar.

**Tabla 5.** Estaciones Meteorológicas de la cuenca del río Ilave y cuencas vecinas.

N°	EST.	UBICACIÓN POLÍTICA			UBICACIÓN GEOGRÁFICA			Cuenca	Propiedad
		Región	Provincia	Distrito	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (msnm)		
1	Capazo	Puno	El Collao	Capazo	17°11'15.8"	69°44'07.8"	4530	Mauri	SENAMHI
2	Pizacoma	Puno	Chucuito	Pizacoma	16°54'25.0"	69°22'06"	4080	Ilave	PET-Tacna
3	Masacruz	Puno	El Collao	Mazacruz	16°44'24.4"	69°42'21.9"	4100	Ilave	SENAMHI
4	Chilligua	Puno	El Collao	Conduriri	16°32'25.4"	69°40'11.5"	4164	Ilave	SENAMHI
5	Laraqueri	Puno	Puno	Laraqueri	16°09'16.9"	70°03'59.7"	4100	Ilave	SENAMHI
6	Ichuña	Moquegua	Sánchez Cerro	Ichuña	16°07'57.4"	70°33'07.5"	3800	Tambo	SENAMHI
7	Ilave	Puno	El Collao	Ilave	16°05'17.7"	69°38'42.0"	3880	Ilave	SENAMHI
8	Rincón de la Cruz	Puno	Puno	Acora	15°59'26.1"	69°48'39.0"	3935	Titicaca	SENAMHI
9	Puno	Puno	Puno	Puno	15°49'34.5"	70°00'43.5"	3812	Titicaca	SENAMHI
10	Juli	Puno	Chucuito	Juli	16°12'13.6"	69°27'35.7"	3812	Titicaca	SENAMHI

**Fuente:** SENAMHI-PUNO.

**Tabla 6.** Ubicación de las estaciones hidrométricas del río Ilave y río Huancané.

Río	Ilave	Huancané
Estación	Puente Ilave	Puente Huancané
Ubicación política	Departamento Puno	Puno
	Provincia El Collao	Huancané
	Distrito Ilave	Huancané
	Longitud Oeste 69°37'47"	69°47'33.3"
	Latitud Sur 16°05'04"	15°12'59.3"
Ubicación geográfica	Altitud (msnm) 3.825,00	3.860,00
Cuenca hidrográfica	Ilave	Huancané
Propietario	SENAMHI	SENAMHI

**Fuente:** SENAMHI-Puno.



La agrupación de las estaciones meteorológicas se presenta a continuación:

Grupo 1: Están la estación meteorológica de Capazo, Pizacoma y Mazocruz, los mismos que se ubican en la parte alta de la cuenca del río Ilave, la estación Capazo es una estación vecina que tienen de algún modo el mismo comportamiento hidrológico.

Grupo 2: En este grupo están las estaciones meteorológicas de Chilligua, Laraqueri e Ichuña., estas estaciones se ubican en la parte media de la cuenca, la estación Ichuña es vecina a la estación Laraqueri el cual se ubica fuera de la cuenca; sin embargo, tiene el mismo comportamiento hidrológico.

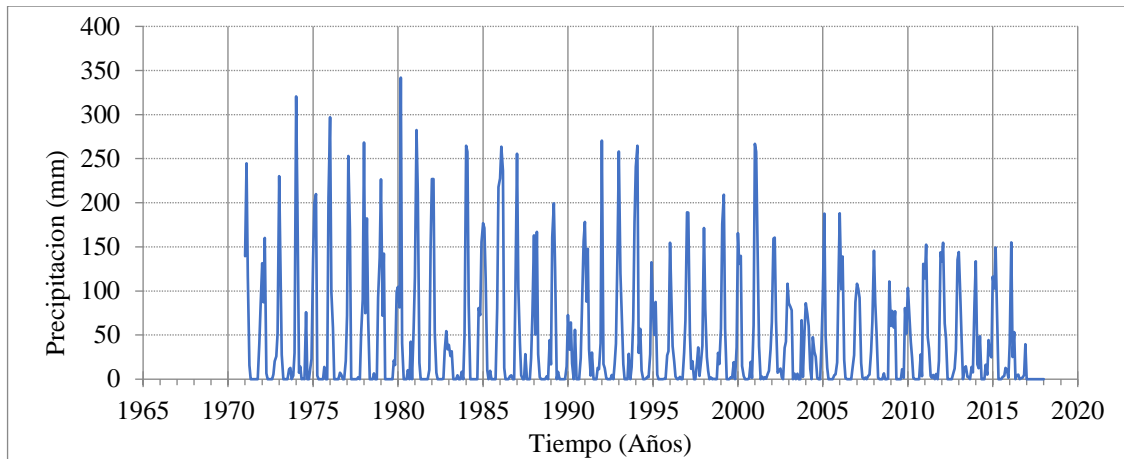
Grupo 3: En este grupo están las estaciones meteorológicas de Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno. Estas estaciones se ubican en la parte baja de la cuenca y tienen un comportamiento hidrológico similar.

## **4.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA - INFORMACIÓN PLUVIOGRAFICA**

Este análisis se realizó para comprobar si existen o no saltos en las series históricas de precipitaciones totales mensuales medidas en las estaciones meteorológicas de Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ichuña, Juli, Ilave, Rincon de la Cruz y Puno.

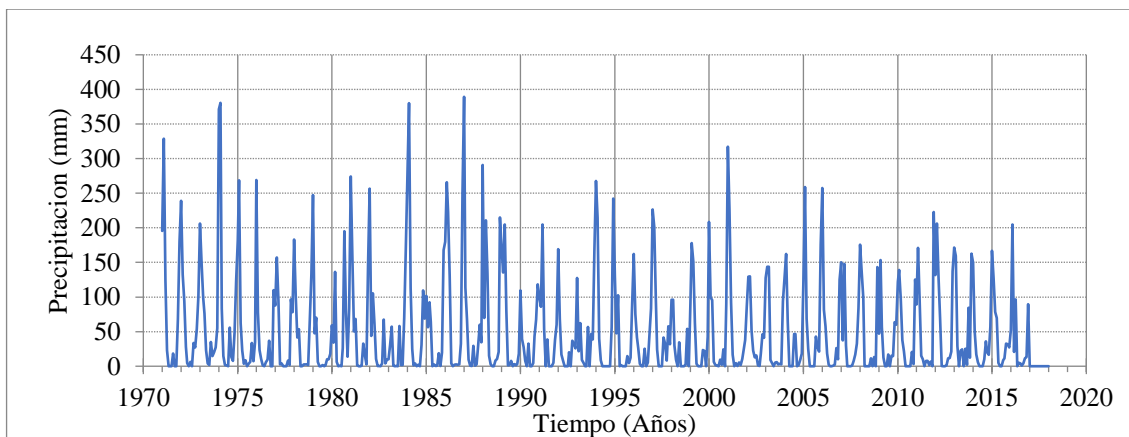
### **4.2.1. Análisis visual de histogramas**

En la figura 3, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Capazo, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 320.6 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 3.** Precipitación total mensual - estación Capazo (1971 - 2016).

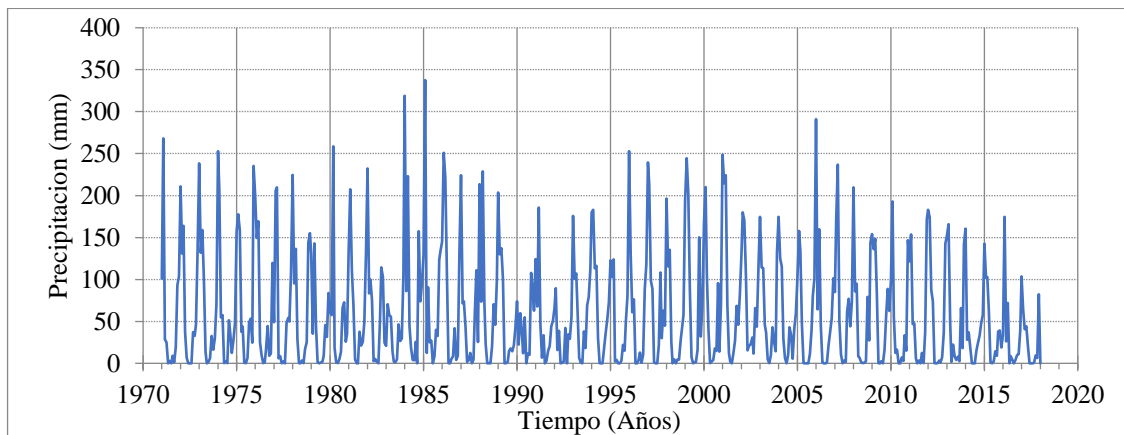
En la figura 4, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Pizacoma, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 389.30 mm; visualmente se puede observar en el grafico que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 4.** Precipitación total mensual - estación Pizacoma (1971 - 2016).

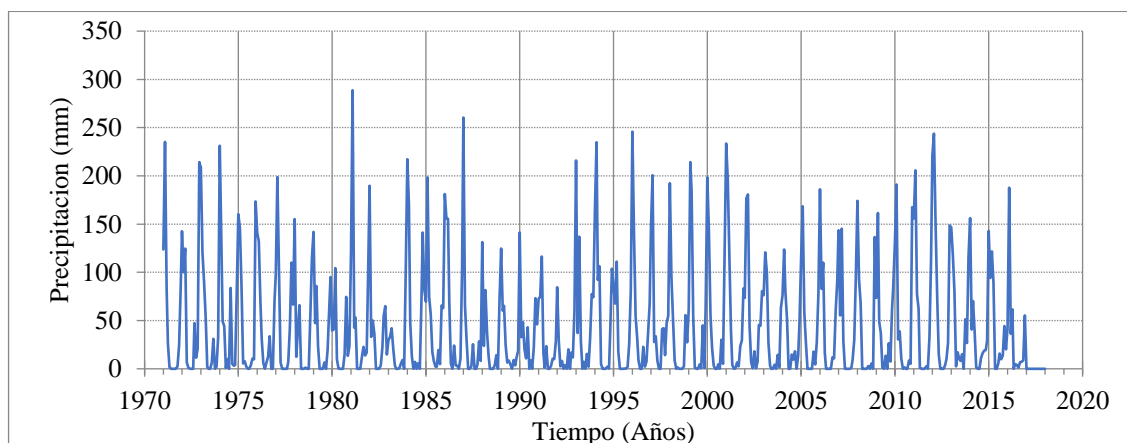
En la figura 5, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Mazocruz, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneos, con un mínimo

de 0.0 mm y un máximo de 337.6 mm; visualmente se puede observar en el gráfico que no hay presencia de saltos; para su verificación se realizara el análisis de doble masa.



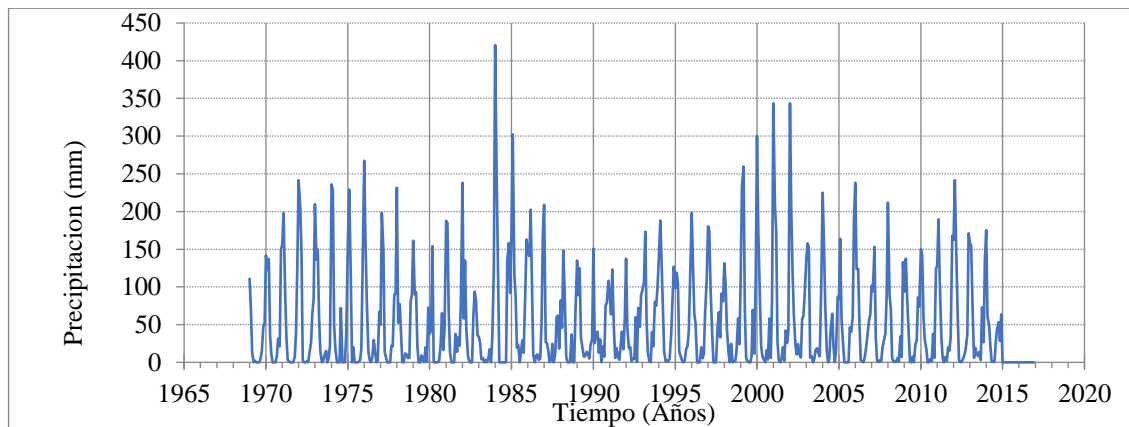
**Figura 5.** La precipitación total mensual - estación Mazocruz (1971 – 2016).

En la figura 6, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Ichuña, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 288.70 mm; visualmente se puede observar en el grafico que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su comprobación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 6.** La precipitación total mensual - estación Ichuña (1971 – 2016).

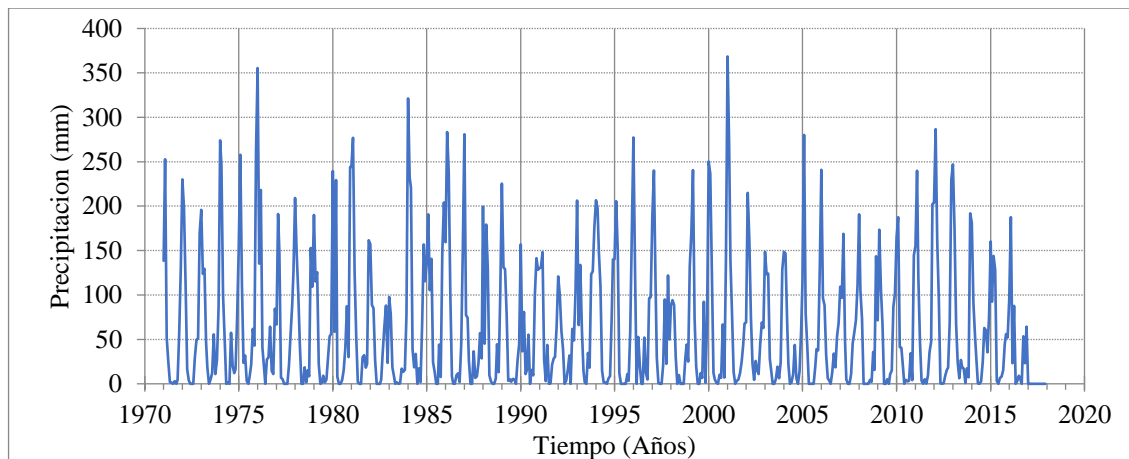
En la figura 7, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Chilligua, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales es homogéneo, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 420.70 mm; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 7.** Precipitación total mensual - estación Chilligua (1971 - 2016).

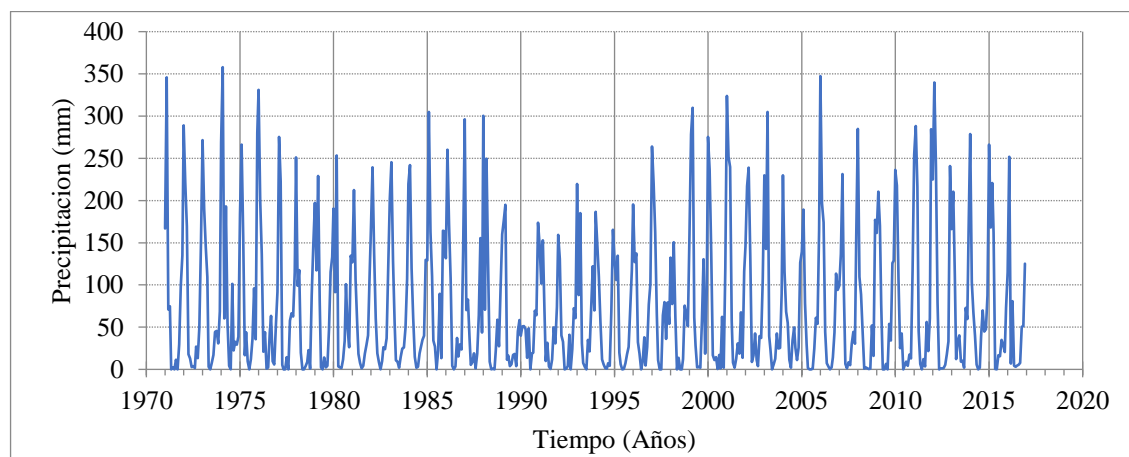
En la figura 8, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Laraqueri, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 368.5 mm; visualmente se puede observar en el grafico que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.





**Figura 8.** Precipitación total mensual - estación Laraqueri (1971 - 2016).

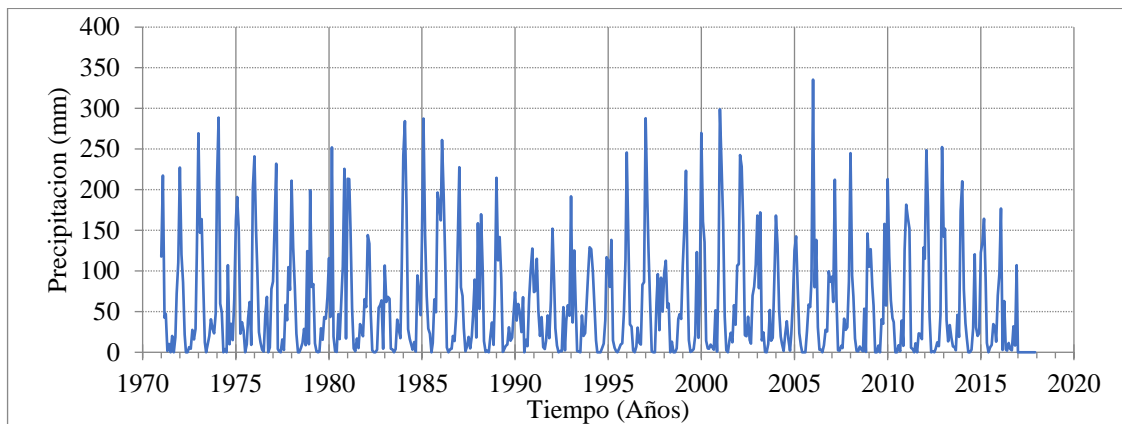
En la figura 9, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Juli, en ella se aprecia que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 357.90 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos; para su comprobación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 9.** Precipitación total mensual - estación Juli (1971 – 2016).

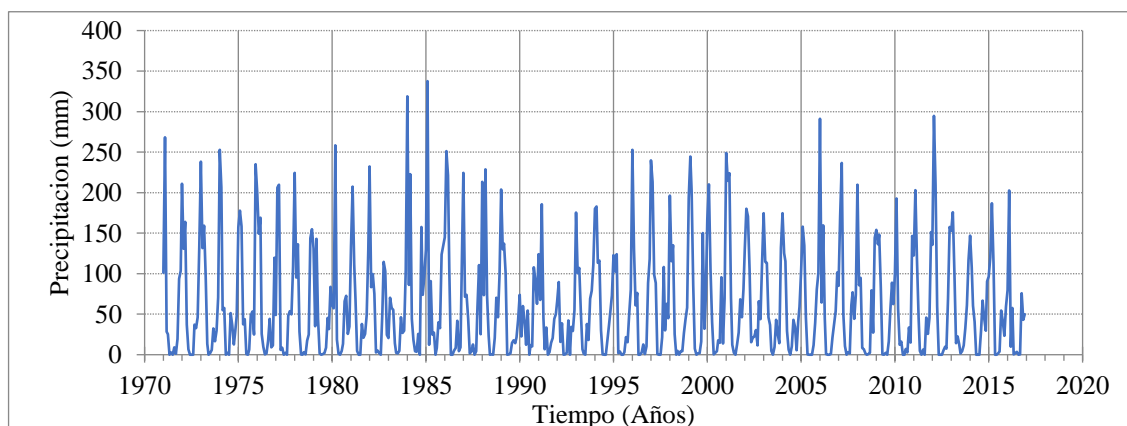
En la figura 10, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Ilave, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 335.4 mm; visualmente se puede observar que no

hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 10.** Precipitación total mensual - estación Ilave (1971 – 2016).

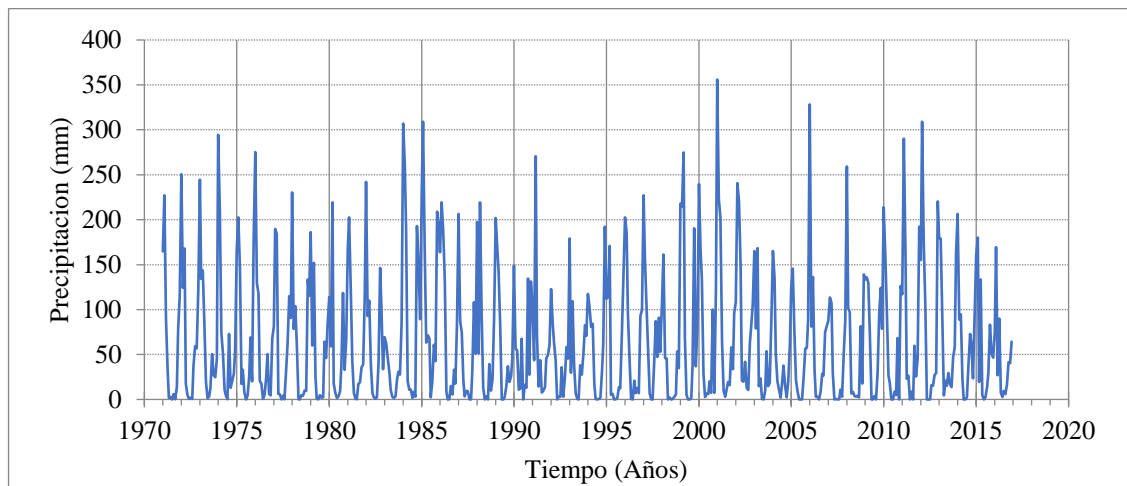
En la figura 11, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Puno, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al 2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 337.6 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos; para su comprobación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 11.** Precipitación total mensual - estación Puno (1971 – 2016).

En la figura 12, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Rincón de la Cruz, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1971 al

2016, los comportamientos de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.00 mm y un máximo de 356.0 mm; visualmente se observa que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.



**Figura 12.** Precipitación total mensual – estación Acora (1971 – 2016).

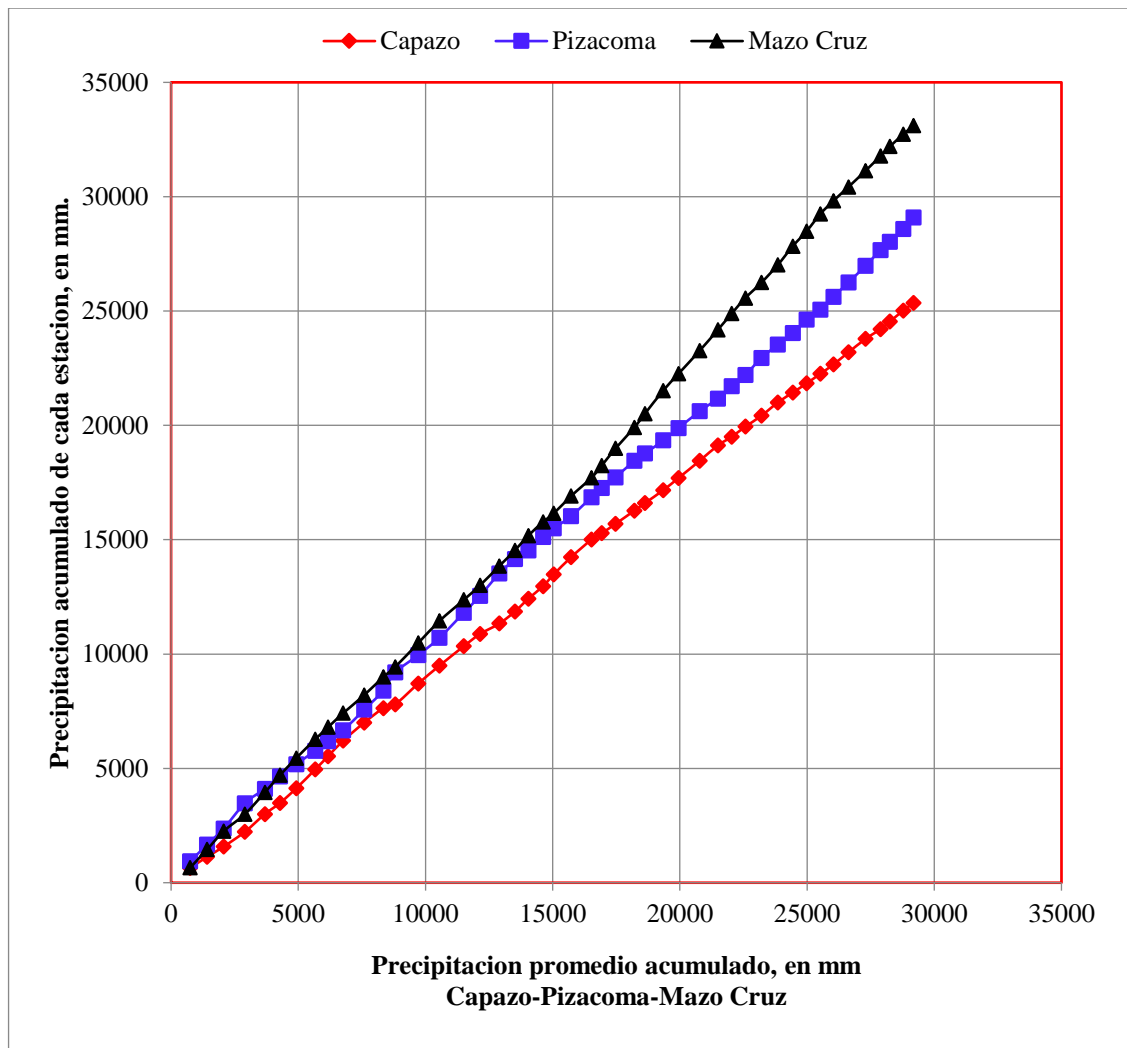
#### 4.2.2. Análisis de doble masa

En la tabla 7, se presentan los datos de precipitación total anual acumulada del Grupo 1 (Capazo, Pizacoma y Mazocruz) y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación. En la figura 13 se muestran los diagramas de doble masa, de las tres series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones estudiadas; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las tres estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazocruz, son consistentes; por consiguiente, no es necesario realizar el análisis estadístico.

**Tabla 7.** Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 1: Capazo, Pizacoma y Mazocruz.

Año	Precipitación total anual (mm)			Promedio	Precipitación total anual acumulado		
	Capazo	Pizacoma	Mazo Cruz		Capazo	Pizacoma	Mazo Cruz
1971	641.7	938.6	652.6	744.3	641.7	938.6	652.6
1972	489.2	719.7	798.1	1413.3	1130.9	1658.3	1450.7
1973	444.9	710.5	797.3	2064.2	1575.8	2368.8	2248.0
1974	649.9	1103.5	750.8	2898.9	2225.7	3472.3	2998.8
1975	770.6	632.5	943.8	3681.2	2996.3	4104.8	3942.6
1976	487.3	544.2	758.0	4277.7	3483.6	4649.0	4700.6
1977	639.5	530.8	742.4	4915.3	4123.1	5179.8	5443.0
1978	830.6	589.5	829.5	5665.2	4953.7	5769.3	6272.5
1979	577.3	412.3	527.3	6170.8	5531.0	6181.6	6799.8
1980	678.9	483.2	614.4	6763.0	6209.9	6664.8	7414.2
1981	788.8	902.7	788.6	7589.7	6998.7	7567.5	8202.8
1982	634.9	831.1	794.5	8343.2	7633.6	8398.6	8997.3
1983	160.1	790.7	434.1	8804.8	7793.7	9189.4	9431.4
1984	916.6	766.8	1051.9	9716.6	8710.3	9956.1	10483.3
1985	779.9	751.9	961.5	10547.7	9490.2	10708.1	11444.8
1986	850.5	1095.4	923.9	11504.3	10340.7	11803.5	12368.7
1987	532.1	739.5	630.7	12138.4	10872.8	12543.0	12999.4
1988	458.8	977.7	848.6	12900.1	11331.6	13520.7	13848.0
1989	524.5	628.0	684.7	13512.5	11856.1	14148.7	14532.7
1990	562.0	379.4	643.8	14040.9	12418.1	14528.1	15176.5
1991	546.9	585.7	596.8	14617.4	12965.0	15113.8	15773.3
1992	510.7	377.8	374.1	15038.2	13475.7	15491.6	16147.4
1993	758.0	534.6	759.2	15722.2	14233.7	16026.2	16906.6
1994	768.9	829.5	803.6	16522.8	15002.6	16855.7	17710.2
1995	277.8	402.9	526.5	16925.2	15280.4	17258.6	18236.7
1996	408.9	467.8	753.5	17468.6	15689.3	17726.4	18990.2
1997	577.7	719.3	908.9	18203.9	16267.0	18445.7	19899.1
1998	335.6	322.4	615.1	18628.3	16602.6	18768.1	20514.2
1999	558.9	573.8	1003.9	19340.5	17161.5	19341.9	21518.1
2000	538.0	538.6	740.6	19946.2	17699.5	19880.5	22258.7
2001	751.4	736.1	1006.8	20777.7	18450.9	20616.6	23265.5
2002	668.7	555.0	908.8	21488.5	19119.6	21171.6	24174.3
2003	382.0	543.0	714.1	22034.9	19501.6	21714.6	24888.4
2004	441.4	489.0	678.4	22571.1	19943.0	22203.6	25566.8
2005	477.5	744.0	674.5	23203.1	20420.5	22947.6	26241.3
2006	579.0	581.7	775.0	23848.4	20999.5	23529.3	27016.3
2007	430.6	507.5	814.3	24432.5	21430.1	24036.8	27830.6
2008	405.3	579.9	661.3	24981.3	21835.4	24616.7	28491.9
2009	418.5	440.0	748.5	25517.0	22253.9	25056.7	29240.4
2010	410.0	567.5	581.9	26036.8	22663.9	25624.2	29822.3
2011	529.5	628.3	600.5	26622.9	23193.4	26252.5	30422.8
2012	584.3	719.9	709.4	27294.1	23777.7	26972.4	31132.2
2013	429.2	693.6	640.4	27881.8	24206.9	27666.0	31772.6
2014	331.1	362.2	421.6	28253.5	24538.0	28028.2	32194.2
2015	482.2	559.2	530.9	28777.6	25020.2	28587.4	32725.1
2016	330.3	502.5	384.3	29183.3	25350.5	29089.9	33109.4

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 13.** Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 1: Capazo, Pizacoma y Mazocruz.

Sin embargo, para su comprobación se realiza el análisis estadístico, cuyos resultados se presentan en la tabla 8, en ella se observa que para las 03 series del grupo 1 los valores de T calculado son menores que los valores de T tabular, y los valores de F calculado también son menores que los valores de F tabular; en consecuencia, se puede concluir y comprobar que estadísticamente no existen saltos en las series de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazocruz.

**Tabla 8.** Resultados del análisis estadístico de precipitación total anual de las estaciones

Estación	Periodo	n	Media	Desv.Est.	Prueba T		Prueba F		Conclusión
					Tc	Tt	Fc	Ft	
Capazo	1: 1971 - 1980	10	620.99	124.472	1.54	2.01	0.53	2.16	No significativo
	2: 1981 - 2016	36	531.68	170.267					
Pizacoma	1: 1971 - 1980	10	666.48	213.036	0.66	2.01	1.43	2.04	No significativo
	2: 1981 - 2016	36	622.92	178.364					
Mazo Cruz de las hojas	1: 1964 - 1988	23	735.07	164.40	0.63	2.01	1.02	2.05	No significativo
	2: 1989 - 2010	23	704.47	162.78					
Laraqueri	1: 1971 - 1993	23	782.61	204.22	0.41	2.01	1.60	2.05	No significativo
	2: 1994 - 2016	23	760.25	161.20					
Chilligua	1: 1971 - 1993	15	587.39	158.80	1.94	2.01	0.79	2.06	No significativo
	2: 1994 - 2016	29	693.31	178.37					
Ichuña	1: 1971 - 1993	23	500.65	151.11	1.84	2.01	1.47	2.05	No significativo
	2: 1994 - 2016	23	575.80	124.70					
Juli	1: 1971 - 1993	23	886.66	152.95	0.38	2.01	0.77	2.05	No significativo
	2: 1994 - 2016	23	905.21	174.08					
Ilave	1: 1971 - 1993	23	754.18	159.42	0.89	2.01	0.97	2.05	No significativo
	2: 1994 - 2016	23	712.11	162.29					
RC Acora	1: 1971 - 1993	23	771.75	216.86	0.05	2.01	1.34	2.05	No significativo
	2: 1994 - 2016	23	774.88	187.60					
Puno	1: 1971 - 1993	23	735.07	164.40	0.27	2.01	1.42	2.05	No significativo
	2: 1994 - 2016	23	747.18	137.79					

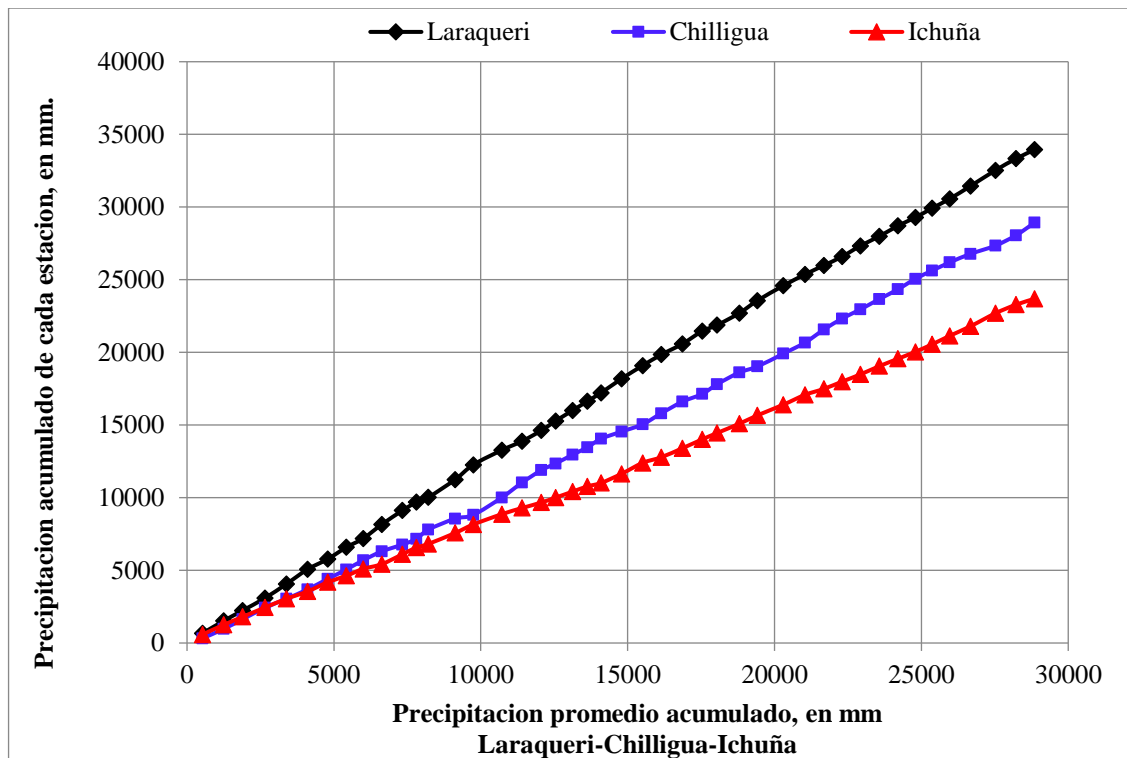
**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 9, se presentan los datos de precipitación total anual acumulada del Grupo 2: Chilligua, Laraqueri e Ichuña, y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación. En la figura 14 se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones estudiadas; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las tres estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Chilligua, Laraqueri e Ichuña son consistentes; en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico; sin embargo, para su comprobación se realiza el análisis estadístico, cuyos resultados se presentan en la tabla 8. Para las 03 series del Grupo 2; de los resultados obtenidos, se observa que los valores de T calculado son menores que los valores de T

tabular, y los valores de F calculado también son menores que los valores de F tabular; en consecuencia, estadísticamente se comprueba que no existen saltos en las series de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Chilligua, Laraqueri e Ichuña.

**Tabla 9.** Análisis de doble masa de precipitación total anual de estaciones del Grupo 2

Año	Precipitación total anual (mm)			Promedio	Precipitación total anual acumulado (mm)		
	Laraqueri	Chilligua	Ichuña		Laraqueri	Chilligua	Ichuña
1971	665.1	315.0	582.6	520.9	665.1	315.0	582.6
1972	860.2	656.7	669.1	1249.6	1525.3	971.7	1251.7
1973	710.4	658.9	546.9	1888.3	2235.7	1630.6	1798.6
1974	853.0	790.3	643.0	2650.4	3088.7	2420.9	2441.6
1975	977.3	622.3	603.0	3384.6	4066.0	3043.2	3044.6
1976	1000.4	641.3	502.9	4099.5	5066.4	3684.5	3547.5
1977	709.8	725.3	631.2	4788.2	5776.2	4409.8	4178.7
1978	807.5	644.9	446.8	5421.3	6583.7	5054.7	4625.5
1979	610.0	640.4	475.3	5996.5	7193.7	5695.1	5100.8
1980	957.0	604.5	322.0	6624.4	8150.7	6299.6	5422.8
1981	967.1	474.1	679.6	7331.3	9117.8	6773.7	6102.4
1982	575.5	387.1	468.3	7808.3	9693.3	7160.8	6570.7
1983	329.2	638.5	246.0	8212.8	10022.5	7799.3	6816.7
1984	1224.9	760.1	753.8	9125.8	11247.4	8559.4	7570.5
1985	1014.5	251.5	581.7	9741.7	12261.9	8810.9	8152.2
1986	1008.0	1199.7	713.5	10715.4	13269.9	10010.6	8865.7
1987	619.1	1027.6	424.8	11405.9	13889.0	11038.2	9290.5
1988	731.6	852.6	375.7	12059.2	14620.6	11890.8	9666.2
1989	654.8	457.2	337.3	12542.3	15275.4	12348.0	10003.5
1990	729.4	614.2	416.3	13128.9	16004.8	12962.2	10419.8
1991	628.4	501.0	357.7	13624.6	16633.2	13463.2	10777.5
1992	584.2	589.8	236.9	14094.9	17217.4	14053.0	11014.4
1993	963.0	492.8	627.0	14789.2	18180.4	14545.8	11641.4
1994	909.6	501.6	751.6	15510.1	19090.0	15047.4	12393.0
1995	753.1	759.2	391.4	16144.7	19843.1	15806.6	12784.4
1996	740.0	797.1	617.9	16863.0	20583.1	16603.7	13402.3
1997	884.2	540.2	616.1	17543.2	21467.3	17143.9	14018.4
1998	409.2	659.4	432.6	18043.6	21876.5	17803.3	14451.0
1999	820.8	807.5	634.3	18797.8	22697.3	18610.8	15085.3
2000	862.4	415.7	577.9	19416.5	23559.7	19026.5	15663.2
2001	1023.9	881.1	733.5	20296.0	24583.6	19907.6	16396.7
2002	776.7	760.2	678.9	21034.6	25360.3	20667.8	17075.6
2003	620.3	894.1	411.1	21676.4	25980.6	21561.9	17486.7
2004	607.8	760.7	498.8	22298.8	26588.4	22322.6	17985.5
2005	740.6	629.4	495.2	22920.6	27329.0	22952.0	18480.7
2006	655.7	715.0	570.3	23567.6	27984.7	23667.0	19051.0
2007	724.5	667.7	507.9	24200.9	28709.2	24334.7	19558.9
2008	571.3	726.1	479.3	24793.2	29280.5	25060.8	20038.2
2009	639.9	564.8	516.7	25367.0	29920.4	25625.6	20554.9
2010	647.0	562.3	583.6	25964.6	30567.4	26187.9	21138.5
2011	867.8	584.0	652.1	26665.9	31435.2	26771.9	21790.6
2012	1088.9	572.4	896.4	27518.5	32524.1	27344.3	22687.0
2013	799.2	707.6	593.0	28218.4	33323.3	28051.9	23280.0
2014	619.5	865.0	401.9	28847.2	33942.8	28916.9	23681.9



**Figura 14.** Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 2: Chilligua, Laraqueri e Ichuña.

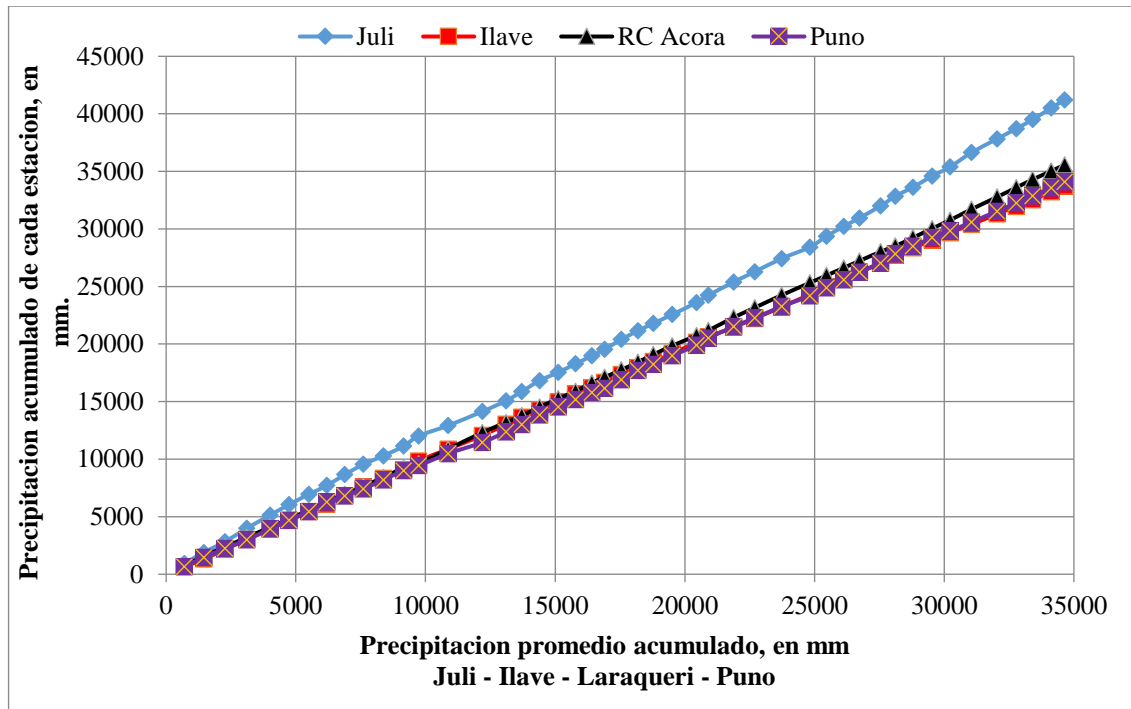
En la tabla 10, se presentan los datos de precipitación total anual acumulada del Grupo 3: Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno, y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación; en la figura 15 se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones del grupo 3, en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las tres estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno son consistentes, no es necesario realizar el análisis estadístico; sin embargo, para comprobar la homogeneidad de los datos se realiza el análisis estadístico. En la tabla 8, se presenta los resultados del análisis estadístico para las series del grupo 3, en ella se puede apreciar que los valores de T calculado son menores que los valores de T tabular, y los valores de F calculado también son menores que los valores de F tabular; en consecuencia, se puede comprobar y concluir que estadísticamente no



existen saltos en las series de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Ilave, Rincón de la Cruz y Puno.

**Tabla 10.** Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 3: Juli, Ilave, Rincon de la Cruz y Puno.

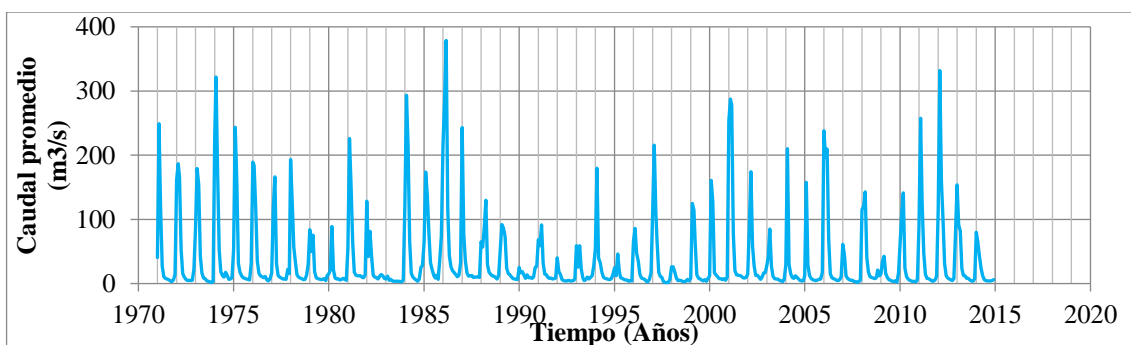
Año	Precipitación total anual (mm)				Precipitación total anual acumulado (mm)				
	Juli	Ilave	Acora	Puno	Promedio	Juli	Ilave	Acora	Puno
1971	935.7	658.2	733.8	652.6	696.0	935.7	658.2	733.8	652.6
1972	956.7	660.3	845.1	798.1	1448.7	1892.4	1318.5	1578.9	1450.7
1973	933.6	846.7	790.4	797.3	2267.3	2826.0	2165.2	2369.3	2248.0
1974	1165	845.9	840.3	750.8	3110.4	3991.0	3011.1	3209.6	2998.8
1975	1137.4	914.1	873.6	943.8	4004.2	5128.4	3925.2	4083.2	3942.6
1976	910.6	731.8	719.3	758.0	4729.8	6039.0	4657.0	4802.5	4700.6
1977	911.2	778.2	771.1	742.4	5504.4	6950.2	5435.2	5573.6	5443.0
1978	759.4	632.4	748.2	829.5	6194.7	7709.6	6067.6	6321.8	6272.5
1979	942.3	750.4	627.2	527.3	6883.5	8651.9	6818.0	6949.0	6799.8
1980	898.9	755.3	687.6	614.4	7605.0	9550.8	7573.3	7636.6	7414.2
1981	733.7	756.0	777.0	788.6	8371.5	10284.5	8329.3	8413.6	8202.8
1982	848	756.4	819.1	794.5	9159.2	11132.5	9085.8	9232.7	8997.3
1983	875.4	756.6	390.6	434.1	9732.9	12007.9	9842.4	9623.3	9431.4
1984	911.5	1030.9	1245.6	1051.9	10871.1	12919.4	10873.3	10868.9	10483.3
1985	1220	1192.4	1440.7	961.5	12187.7	14139.4	12065.7	12309.6	11444.8
1986	923.4	955.9	867.9	923.9	13099.6	15062.8	13021.6	13177.5	12368.7
1987	803.1	612.6	602.8	630.7	13707.3	15865.9	13634.2	13780.3	12999.4
1988	959.2	635.9	742.5	848.6	14396.5	16825.1	14270.1	14522.8	13848.0
1989	712.1	696.4	745.7	684.7	15117.5	17537.2	14966.5	15268.5	14532.7
1990	750.1	709.1	626.5	643.8	15785.3	18287.3	15675.6	15895.0	15176.5
1991	684.7	529.3	734.8	596.8	16417.4	18972.0	16204.9	16629.8	15773.3
1992	565.8	481.2	488.6	374.1	16902.3	19537.8	16686.1	17118.4	16147.4
1993	855.3	660.1	631.9	759.2	17548.3	20393.1	17346.2	17750.3	16906.6
1994	766.4	601.8	691.4	803.6	18194.9	21159.5	17948.0	18441.7	17710.2
1995	636.4	539.0	643.7	526.5	18786.2	21795.9	18487.0	19085.4	18236.7
1996	767.9	683.2	770.5	753.5	19513.1	22563.8	19170.2	19855.9	18990.2
1997	1037.5	992.4	872.2	908.9	20445.4	23601.3	20162.6	20728.1	19899.1
1998	640.9	471.4	456.5	615.1	20909.3	24242.2	20634.0	21184.6	20514.2
1999	1144.7	819.4	1127.8	1003.9	21882.9	25386.9	21453.4	22312.4	21518.1
2000	894.3	771.5	840.3	740.6	22688.8	26281.2	22224.9	23152.7	22258.7
2001	1142.8	989.4	1092.4	1006.8	23729.7	27424.0	23214.3	24245.1	23265.5
2002	1001.9	1104.9	1074.3	908.8	24819.3	28425.9	24319.2	25319.4	24174.3
2003	940.8	642.1	635.4	714.1	25458.1	29366.7	24961.3	25954.8	24888.4
2004	847	666.3	661.9	678.4	26122.2	30213.7	25627.6	26616.7	25566.8
2005	743.1	607.3	603.1	674.5	26727.4	30956.8	26234.9	27219.8	26241.3
2006	1040.3	839.1	804.7	775.0	27549.3	31997.1	27074.0	28024.5	27016.3
2007	849.6	637.6	488.7	814.3	28112.4	32846.7	27711.6	28513.2	27830.6
2008	778.2	640.8	724.6	661.3	28795.1	33624.9	28352.4	29237.8	28491.9
2009	968.3	670.3	801.2	748.5	29530.9	34593.2	29022.7	30039.0	29240.4
2010	794.7	656.6	725.2	581.9	30221.8	35387.9	29679.3	30764.2	29822.3
2011	1249.2	711.1	951.7	768.1	31053.2	36637.1	30390.4	31715.9	30590.4
2012	1184.5	910.7	1054.7	950.1	32035.9	37821.6	31301.1	32770.6	31540.5
2013	892.5	654.1	820.3	707.0	32773.1	38714.1	31955.2	33590.9	32247.5
2014	785.9	570.2	706.1	617.7	33411.2	39500.0	32525.4	34297.0	32865.2
2015	1007.4	688.9	726.5	702.1	34118.9	40507.4	33214.3	35023.5	33567.3
2016	705.5	510.4	549.0	524.5	34648.6	41212.9	33724.7	35572.5	34091.8



**Figura 15.** Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 3: Ilave, Rincón de la Cruz y Puno.

#### 4.2.3. Análisis visual de histogramas

El periodo de registro de la información de descargas medias mensuales del río Ilave es de 44 años, varía desde el año 1971 al 2014, los mismos que se presentan en la tabla 11. En la figura 16 se presenta el hidrograma de descargas media mensuales de la estación Ilave, donde se aprecia el comportamiento de las caudales mensuales en promedio son homogéneos, con un mínimo de  $1.43 \text{ m}^3/\text{s}$  en el año 1973, y un máximo de  $331.89 \text{ m}^3/\text{s}$  en el año 2012, visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos en el análisis de doble masa y análisis estadístico.



**Figura 16.** Histograma de caudal medio mensual ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) – Estación de aforo puente Ilave –Periodo (1964 – 2007).

**Tabla 11.** Descarga media mensual histórica aforado (m<sup>3</sup>/s)-río Ilave.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1971	40.3	249.3	115.5	27.1	10.4	8.3	7.2	6.0	4.2	3.3	5.4	14.2
1972	162.5	186.4	165.6	53.4	15.7	10.0	6.7	4.8	5.0	4.7	5.0	21.9
1973	84.9	179.4	154.4	42.4	16.6	8.4	7.4	4.2	3.6	2.6	1.4	3.0
1974	228.1	321.9	174.2	52.7	18.6	12.7	10.3	17.7	12.5	6.7	7.1	9.2
1975	52.6	243.3	159.2	31.1	17.6	12.2	9.3	8.0	6.9	6.5	5.8	31.3
1976	189.3	184.0	118.9	35.4	15.9	12.1	10.3	8.9	11.1	5.5	4.1	7.6
1977	16.4	118.4	166.0	31.1	12.7	10.0	8.8	7.2	7.0	6.5	21.9	15.5
1978	193.2	128.8	56.8	33.6	13.8	9.9	8.8	7.6	6.3	6.7	13.2	30.1
1979	84.0	50.2	75.6	18.7	9.3	7.6	7.3	6.3	6.5	7.7	4.7	11.9
1980	15.1	20.4	88.7	20.8	8.5	7.2	7.5	5.7	6.5	8.0	6.8	5.2
1981	54.0	226.0	151.8	64.2	17.6	13.1	12.0	11.8	11.8	9.7	9.0	13.8
1982	128.2	42.2	81.2	42.5	13.3	9.9	9.2	7.2	10.9	13.9	12.0	8.3
1983	7.2	11.7	5.2	6.5	4.3	3.7	3.6	3.4	3.5	3.3	2.7	5.4
1984	121.2	293.5	215.2	65.3	15.9	10.3	7.5	5.5	3.6	7.1	24.8	27.8
1985	64.0	173.9	138.2	79.9	32.4	21.9	12.9	8.6	12.9	6.5	36.4	74.4
1986	213.6	286.6	378.8	114.7	43.2	25.9	20.1	17.2	14.2	10.8	12.9	32.0
1987	242.9	77.2	35.3	16.7	11.6	11.8	12.7	9.6	10.3	10.2	10.8	9.7
1988	64.9	57.2	86.9	129.7	29.7	17.8	14.3	12.0	11.8	9.7	7.0	13.3
1989	52.8	91.8	86.5	73.6	24.0	15.7	13.8	10.9	8.2	7.3	6.8	6.2
1990	23.8	16.5	18.7	13.0	8.1	13.4	9.3	9.4	8.0	10.0	25.1	27.1
1991	68.7	58.9	91.6	31.7	14.5	13.9	10.2	8.1	8.8	7.1	7.6	8.4
1992	40.1	18.8	13.9	5.9	4.5	4.3	4.1	4.9	3.9	4.1	4.7	6.9
1993	59.1	25.8	58.9	22.5	9.0	4.4	6.3	10.3	7.2	9.8	12.0	27.5
1994	54.1	179.9	39.5	33.1	18.4	9.9	8.1	7.4	6.5	5.9	7.4	13.9
1995	24.5	12.2	45.8	18.4	9.2	7.9	6.6	5.5	5.6	3.4	4.4	4.1
1996	64.9	86.0	47.2	35.6	14.7	8.6	7.4	6.4	3.7	2.5	6.5	16.9
1997	110.6	215.8	110.5	63.6	17.6	11.2	9.7	2.8	1.6	1.6	1.5	6.8
1998	26.1	26.2	18.1	8.7	4.4	5.3	4.6	3.3	2.9	3.6	6.8	4.2
1999	8.1	124.8	114.2	62.7	13.4	8.7	6.9	5.6	4.1	6.1	3.6	8.3
2000	11.9	160.7	126.6	16.7	13.5	10.4	7.6	7.8	6.3	7.7	5.2	10.2
2001	253.4	287.5	277.8	78.0	20.3	13.4	12.9	12.5	11.6	9.0	8.5	9.6
2002	14.8	88.2	174.0	58.8	27.4	12.4	13.0	9.9	6.5	9.9	16.8	17.2
2003	29.2	41.0	84.9	27.4	11.0	7.8	7.0	7.0	5.0	4.0	3.2	6.4
2004	87.1	210.3	30.0	15.7	9.8	8.3	12.2	9.4	7.2	4.6	3.9	4.5
2005	12.1	157.7	29.0	12.8	7.9	5.9	5.2	4.7	5.8	6.4	6.9	17.5
2006	237.8	196.6	209.7	68.6	15.2	9.1	7.8	6.5	5.0	4.5	6.8	11.2
2007	61.2	45.7	12.1	8.3	6.0	5.3	5.1	3.0	2.9	1.5	3.2	4.9
2008	115.4	120.4	142.9	40.9	18.3	10.5	9.7	8.7	7.8	8.9	21.2	12.3
2009	14.4	34.7	42.5	15.8	9.4	6.3	5.2	3.8	3.5	3.9	2.1	15.9
2010	62.7	109.4	141.1	24.3	11.2	6.9	5.0	3.9	3.3	3.6	2.7	5.5
2011	88.8	257.3	123.2	47.6	14.6	7.9	7.7	6.1	4.3	3.4	5.8	11.1
2012	114.2	331.9	160.1	100.9	30.8	12.1	8.5	7.0	5.7	4.5	7.5	77.0
2013	153.6	91.3	82.1	23.3	12.8	11.8	8.3	7.9	5.6	4.2	3.8	7.5
2014	80.1	63.8	42.0	23.6	12.0	6.2	4.4	4.1	4.1	4.2	4.5	6.2

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.4. Análisis de doble masa

Para realizar el análisis de doble masa de caudales anuales del río Ilave nos apoyaremos en información hidrométrica de la serie histórica de caudales medios mensuales de la Estación Huancané, para el mismo periodo de registro que varía de 1971 a 2014. En la tabla 12, se presenta el análisis de doble masa, en donde se observa los datos



de caudal medio anual acumulado de las estaciones Ilave y Huancané y la información de caudal medio anual acumulado de ambas estaciones. En la figura 17 se muestra el diagrama de doble masa, de la serie histórica de caudal medio anual de la estación Ilave, en ellas se puede observar que la línea de doble masa no presenta quiebres, prácticamente se observa una línea recta; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de caudales medios anuales de la estación Ilave son consistentes, en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico; sin embargo, para comprobar esta afirmación se realiza en análisis estadístico.

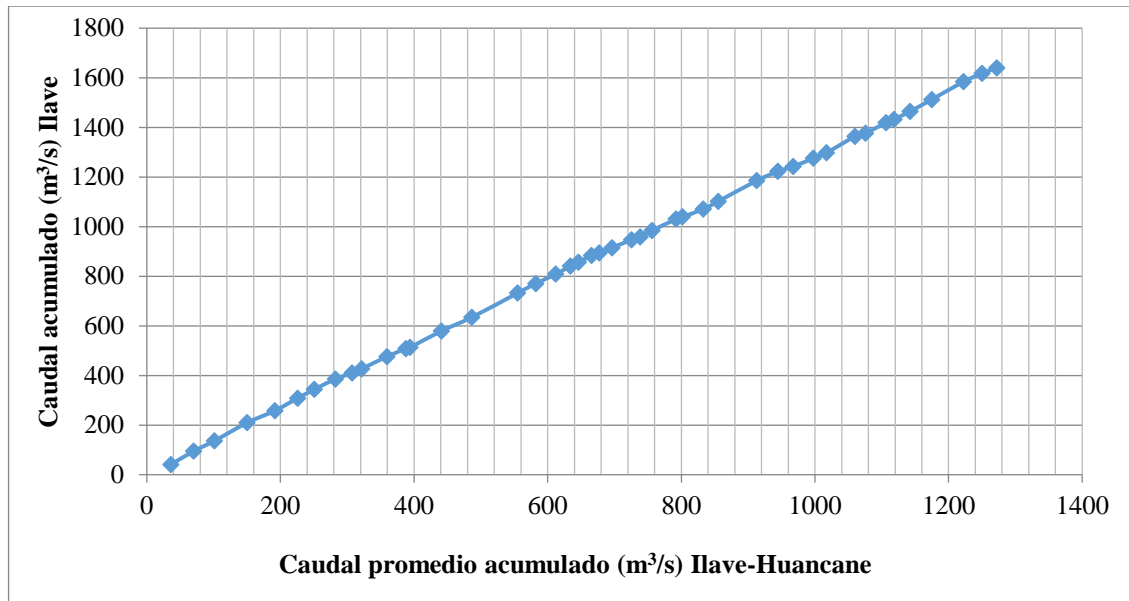
#### **4.2.5. Análisis estadístico**

En la tabla 13, se presenta los resultados del análisis estadístico, en ella se observa que el valor de T calculado es de 0.09, y el valor de T tabular es 2.02; en consecuencia, se concluye como T calculado es menos que T tabular; entonces, estadísticamente la media de la serie de los caudales del río Ilave del primer periodo es igual a la media de caudales medios del segundo periodo. El valor de F calculado es 1.21 y el valor de F tabular es 2.08; entonces también la desviación estándar de la serie de caudales del río Ilave del primer periodo son estadísticamente iguales a la desviación estándar de la serie de caudales del río Ilave del segundo periodo; en consecuencia, estadísticamente se comprueba y se concluye que no existen saltos en la serie de caudales medios anuales de la estación Ilave.

**Tabla 12.** Análisis de doble masa de caudal medio anual de la estación Ilave.

Año	Ilave	Huancané	Promedio Acum.	Ilave Acum.	Huancané Acum.
1971	40.9	30.6	35.8	40.9	30.6
1972	53.5	14.7	69.8	94.4	45.3
1973	42.4	20.5	101.3	136.8	65.8
1974	72.6	25.2	150.2	209.4	91.0
1975	48.7	34.5	191.8	258.1	125.5
1976	50.3	17.3	225.5	308.3	142.7
1977	35.1	14.6	250.4	343.4	157.4
1978	42.4	21.5	282.4	385.8	178.9
1979	24.2	25.5	307.2	410.0	204.4
1980	16.7	12.1	321.6	426.7	216.5
1981	49.6	26.0	359.4	476.3	242.5
1982	31.6	25.2	387.7	507.8	267.7
1983	5.0	7.1	393.8	512.9	274.8
1984	66.5	27.8	440.9	579.3	302.5
1985	55.2	35.7	486.4	634.5	338.3
1986	97.5	39.4	554.8	732.0	377.6
1987	38.2	16.0	581.9	770.2	393.6
1988	37.9	21.6	611.7	808.1	415.2
1989	33.1	11.9	634.1	841.2	427.1
1990	15.2	8.3	645.9	856.4	435.4
1991	27.4	12.3	665.8	883.9	447.7
1992	9.7	12.5	676.8	893.6	460.1
1993	21.1	17.5	696.1	914.6	477.6
1994	32.0	26.3	725.2	946.6	503.9
1995	12.3	13.6	738.2	958.9	517.5
1996	25.0	10.4	755.9	984.0	527.8
1997	46.1	26.3	792.1	1030.1	554.1
1998	9.5	9.2	801.4	1039.6	563.3
1999	30.5	32.3	832.9	1070.1	595.6
2000	32.0	13.0	855.4	1102.1	608.6
2001	82.9	32.0	912.8	1185.0	640.6
2002	37.4	25.5	944.3	1222.4	666.1
2003	19.5	26.3	967.2	1241.9	692.4
2004	33.6	27.5	997.7	1275.5	719.9
2005	22.7	16.8	1017.4	1298.1	736.7
2006	64.9	19.6	1059.6	1363.0	756.2
2007	13.3	18.6	1075.6	1376.3	774.8
2008	43.1	18.8	1106.5	1419.4	793.6
2009	13.1	10.1	1118.1	1432.5	803.7
2010	31.6	16.5	1142.2	1464.1	820.2
2011	48.2	16.9	1174.7	1512.3	837.1
2012	71.7	23.6	1222.3	1584.0	860.7
2013	34.3	21.5	1250.3	1618.3	882.2
2014	21.2	22.4	1272.1	1639.5	904.7

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 17.** Diagrama de doble masa de caudal medio anual de río Ilave.

**Tabla 13.** Análisis estadístico de caudal medio anual de la estación Puente Ilave.

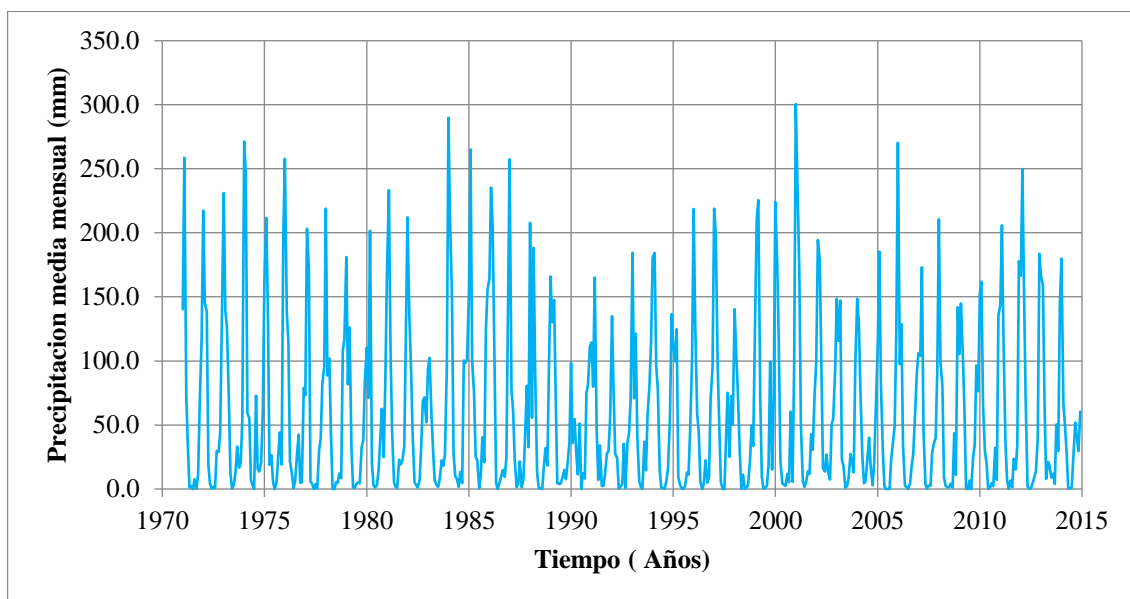
Parámetros	Ilave
Número datos periodo 1	22,00
Media del periodo 1	40.62
Desviación estándar del periodo 1	21.40
Número datos periodo 2	22,00
Media del periodo 2	33.91
Desviación estándar del periodo 2	19.41
Desviación Rst. De los promedios: Sp	20.43
Desviación estándar ponderada: Sd	6.16
Valor de T calculado: Tc	1.09
Valor de T tabular: Tt	2.02
Valor de F calculado: Fc	1.21
Valor de F tabular: Ft	2.08
Existencia de salto	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3. GENERACIÓN DE CAUDALES POR MODELO LUTZ SCHOLZ

#### 4.3.1. Precipitación media de la cuenca

En la tabla 14, se presentan los resultados de la precipitación media de la cuenca del río Ilave para un periodo de 44 años (1971 a 2014) considerando los observatorios de Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ichuña, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno. La variación de la precipitación media mensual en la cuenca es de 3.8 mm que corresponde al mes de julio y 176.3 mm que corresponde al mes de enero y la variación de la precipitación total en la cuenca es de 449.5 a 1015.4 mm y la precipitación total anual en promedio para el periodo de 44 años es de 706.2 mm. En la Figura 18 se muestra la variación de la precipitación media mensual de la cuenca del río Ilave.



**Figura 18.** Hidrograma de precipitación media mensual de la cuenca del río Ilave periodo (1971-2014).

**Tabla 14.** Precipitación media de la cuenca del río Ilave (mm), Periodo 1971–2014.

Años	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1971	140.5	258.6	73.1	33.0	1.1	2.4	0.0	7.7	0.3	11.5	66.5	117.4	712.0
1972	217.3	145.2	138.9	19.1	4.1	0.3	2.0	0.7	29.6	28.9	44.4	128.1	758.7
1973	231.2	139.2	126.6	70.7	11.9	0.5	3.4	13.7	33.0	16.5	20.4	52.9	720.0
1974	271.3	245.8	59.3	55.1	7.0	3.1	0.1	72.9	15.7	13.7	20.9	59.6	824.4
1975	161.8	211.6	138.1	18.8	26.5	6.0	0.0	5.1	24.6	44.2	19.1	196.3	852.1
1976	257.8	138.4	114.4	21.4	12.3	0.5	5.8	23.7	42.4	4.9	5.2	78.9	705.7
1977	73.4	203.1	172.1	5.7	4.0	0.0	3.9	0.3	30.3	39.8	81.9	95.2	709.7
1978	218.9	88.7	101.9	42.6	0.1	0.0	5.3	4.8	12.0	8.5	108.2	116.9	707.8
1979	181.1	81.7	126.1	32.2	1.2	0.9	4.1	5.3	4.5	33.0	37.9	84.5	592.4
1980	110.3	71.1	201.6	20.0	2.7	1.2	3.3	15.4	39.2	62.6	24.9	87.5	639.9
1981	168.5	233.4	109.6	45.1	5.1	1.7	0.8	22.9	19.1	22.2	33.1	120.7	782.1
1982	212.1	133.9	96.2	43.7	5.3	3.2	1.1	6.9	33.6	68.4	71.7	52.2	728.2
1983	94.0	102.4	57.7	30.1	6.6	2.9	1.7	8.3	22.3	18.1	26.7	96.0	466.8
1984	289.8	210.9	149.8	28.0	10.3	7.3	1.7	13.4	4.7	100.4	98.4	100.7	1015.4
1985	153.1	265.0	99.9	74.9	25.1	22.8	0.7	10.4	40.3	20.9	124.5	155.7	993.2
1986	164.1	235.2	205.2	97.9	4.7	0.0	5.3	10.3	15.0	9.5	24.5	139.9	911.5
1987	257.4	76.9	61.3	23.2	1.4	3.9	21.7	1.3	7.1	37.8	80.6	32.6	605.3
1988	208.0	55.7	188.4	89.2	13.0	0.6	0.7	0.0	17.8	31.9	18.5	95.8	719.3
1989	165.8	130.1	147.7	72.5	4.7	4.0	4.3	9.0	14.9	7.6	19.5	36.8	616.9
1990	134.2	35.9	54.6	29.1	11.4	51.1	0.0	12.0	8.2	74.9	82.0	111.7	605.0
1991	114.5	79.9	165.0	46.1	7.3	34.1	2.4	2.4	11.6	27.9	29.3	55.0	575.4
1992	134.8	74.4	27.5	24.0	0.2	1.9	3.3	35.4	0.6	36.0	42.8	68.6	449.5
1993	184.5	70.8	121.5	41.1	6.1	1.7	0.0	37.0	14.6	58.2	80.4	115.1	730.8
1994	180.9	184.5	95.9	78.5	14.7	1.0	0.6	0.4	6.6	16.8	55.9	136.7	772.4
1995	112.8	99.5	124.9	9.4	3.5	0.4	0.1	2.1	12.9	11.2	45.8	101.2	523.8
1996	218.7	128.2	58.8	44.5	5.7	0.0	4.3	22.4	5.0	9.3	70.5	95.0	662.3
1997	218.8	200.2	97.6	49.7	5.1	0.0	0.0	37.9	75.1	25.2	72.7	50.2	832.5
1998	140.5	104.9	76.1	29.0	0.0	11.2	0.0	1.0	3.0	22.4	49.6	33.7	471.5
1999	132.5	210.7	225.6	70.9	9.4	0.5	0.8	3.0	18.9	99.3	15.1	70.3	856.9
2000	224.2	176.6	112.2	21.7	4.1	3.5	2.4	12.0	5.4	60.4	5.8	98.2	726.4
2001	300.6	229.2	170.9	50.4	6.5	1.7	4.9	13.8	12.0	42.7	30.5	74.6	937.7
2002	100.2	194.3	178.6	95.2	16.4	13.6	26.9	13.1	7.3	50.5	55.0	92.9	843.9
2003	148.7	115.7	147.0	23.2	17.9	1.1	2.2	8.5	27.5	20.7	13.0	97.7	623.2
2004	219.2	130.2	75.6	25.5	4.5	6.1	24.2	40.2	17.1	2.9	20.5	62.4	628.4
2005	112.1	185.3	81.6	29.7	1.9	0.0	0.0	0.1	23.0	37.3	49.3	122.4	642.8
2006	270.4	97.4	128.7	34.0	2.7	1.4	0.0	4.3	18.1	27.4	60.2	90.1	734.7
2007	106.2	104.0	173.2	45.3	3.9	0.4	2.7	2.7	28.3	34.8	40.1	92.3	634.0
2008	210.7	98.7	81.0	9.2	2.6	1.1	1.3	4.1	1.2	43.6	11.2	141.8	606.4
2009	105.4	144.8	103.5	61.0	0.2	0.0	6.7	0.0	24.5	34.6	96.4	76.4	653.6
2010	153.2	161.8	65.4	29.0	20.0	0.0	1.2	4.7	2.1	32.1	7.2	135.4	612.1
2011	144.0	205.9	114.3	36.2	7.2	0.2	6.6	1.3	23.7	15.4	33.9	178.0	766.6
2012	166.6	249.9	155.2	71.0	1.9	0.3	0.3	4.6	9.0	13.8	40.2	183.6	896.4
2013	166.1	159.4	67.5	7.8	21.1	18.1	8.9	12.0	3.9	50.5	29.7	145.3	690.3
2014	179.9	66.6	49.8	28.5	0.9	0.1	1.2	24.1	51.9	41.2	29.7	60.4	534.2
PROM.	176.3	148.5	116.4	41.2	7.3	4.8	3.8	12.1	18.6	33.4	45.3	98.6	706.2

**Fuente:** Elaboración propia.



#### 4.3.2. Temperatura media mensual en la cuenca

En la tabla 15, se presenta los valores de las temperaturas media promedio mensual de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ichuña, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno, los mismos se ubican en la cuenca del río Ilave y cuencas aledañas; para el período que varía desde 1964 al 2007, la variación de la temperatura promedio mensual en la cuenca del río Ilave es de 4.5 °C para el mes de julio y de 9.5 °C, para el mes de diciembre; mientras que la temperatura media anual en la cuenca del río Ilave es de 7.5 °C.

**Tabla 15.** Temperatura media mensual (°C) – Periodo (1964-2007).

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Capazo	6.3	6.2	5.9	4.5	1.7	0.7	0.0	1.4	2.6	4.1	5.3	6.2	3.7
Pizacoma	9.5	9.5	9.3	8.3	6.1	4.5	4.4	5.5	7.3	8.6	9.6	10.0	7.7
Mazocruz	7.9	7.6	7.4	5.5	2.4	0.5	0.2	1.4	3.2	5.0	6.3	7.4	4.6
Laraqueri	8.7	8.6	8.5	7.8	6.1	4.4	4.2	5.7	7.1	8.3	9.1	9.0	7.3
Chilligua	9.0	9.0	8.8	7.8	5.8	4.3	4.3	5.3	6.6	8.1	8.7	9.2	7.2
Ichuña	12.8	12.3	12.2	12.1	9.4	9.1	9.1	9.0	10.3	12.3	12.8	13.3	11.2
Juli	9.4	9.4	9.2	8.7	7.2	6.0	5.7	6.5	7.8	9.0	9.6	9.7	8.2
Ilave	9.7	9.6	9.5	8.9	7.1	5.5	5.2	6.3	7.8	9.1	9.7	10.0	8.2
RC Acora	9.4	9.6	9.4	9.2	7.8	6.1	6.1	7.1	8.4	9.1	9.4	10.0	8.5
Puno	10.3	10.1	9.9	9.2	7.6	6.4	6.2	7.3	8.6	9.7	10.4	10.6	8.9
Prom.	9.3	9.2	9.0	8.2	6.1	4.7	4.5	5.6	7.0	8.3	9.1	9.5	7.6

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.3.3. Evapotranspiración potencial

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método de Hargreaves se presentan en la tabla B.1, del Anexo B; para ello se ha considerado la ubicación geográfica de la estación hidrométrica puente Ilave: Latitud sur 16°05'04"; Longitud Oeste 69°37'47" y Altitud: 3825 msnm. La temperatura a considerar es el promedio de las temperaturas mensuales de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazocruz,

Chilligua, Laraqueri, Ichuña, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno, los mismos se presentan en la tabla 15.

La evapotranspiración potencial anual en la cuenca del río Ilave es de 1359.6 mm; obteniéndose valores de evapotranspiración potencial mensual en un rango de 75.2 a 145.9 mm; que corresponden a los meses de junio y diciembre, respectivamente.

#### 4.3.4. Coeficiente de escurrimiento

Los resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento y déficit de escurrimiento, según la fórmula de L. Turc, se presentan en la tabla 16, cuyos valores son de 0.40 y 421.80 mm/año, respectivamente.

**Tabla 16.** Resultados del coeficiente de escurrimiento – Método Turc.

Parámetro		Valor
Precipitación total anual promedio: P	mm/año	706.20
Temperatura media anual: T	°C	7.60
Coeficiente de temperatura: L		511.90
Déficit de escurrimiento: D	mm/año	421.80
Coeficiente de escurrimiento: C		0.40

**Fuente:** Elaboración propia.

Considerando las ecuaciones para determinar los coeficientes de escurrimiento mediante el método de la Misión Alemana, validado para la región de la sierra del sur de Perú, el coeficiente de escurrimiento para la cuenca del río Ilave es de 0.40; en la tabla 17 se presentan los resultados.



**Tabla 17.** Resultados del coeficiente de escurrimiento– Método Misión Alemana.

Parámetro		Valor
Precipitación total anual promedio: P	mm/año	706.20
Temperatura media anual: T	°C	7.60
Evapotranspiración potencial total anual: ETPL	mm/año	1359.60
Coeficiente de escurrimiento: C		0.21

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores de coeficiente de escurrimiento (C) calculados mediante el método de Turc y el método de la Misión Alemana, varía de 0.40 a 0.21, respectivamente, estos valores nos servirán de referencia, para iniciar la calibración del modelo Lutz Scholz; sin embargo, el verdadero valor se encontrará luego de la calibración del modelo.

#### 4.3.5. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulte igual al coeficiente de escurrimiento.

Para estimar la precipitación efectiva el USBR (US Bureau of Reclamation) considera que existe tres curvas tipo de precipitación efectiva en función de la precipitación total. Estas curvas se muestran en la tabla 18.

**Tabla 18.** Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation (USBR).

P Mm	P Efectiva: Pe (mm)		
	Curva I	Curva II	Curva III
0	0	0	0
10	0	1	2
20	0	2	4
30	0	3	6
40	0.5	4	8
50	1	6	11
60	1.5	8	14
70	3	10	18
80	4	14	24
90	5.5	18	30
100	8	23	39
110	11	29	48
120	15	36	58
130	19	43	68
140	24	52	78
150	30	60	88
160	37	69	98
170	45	79	108
180	55	89	118

**Fuente:** Elaboración propia.

Para determinar la precipitación efectiva desde la lluvia real para cuenca del río Ilave se tiene que interpolar estos valores con una regresión polinomial, Los coeficientes de regresión son útiles para interpolar adecuadamente los valores de precipitación efectiva. Los coeficientes de regresión son importantes para interpolar adecuadamente los valores de precipitación efectiva. Los valores de estos coeficientes se obtienen de la correlación entre la precipitación y la precipitación efectiva correspondiente a cada curva., los mismos se presentan en la siguiente tabla 19.

**Tabla 19.** Coeficientes de regresión para las curvas de precipitación efectiva.

Coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
A0	-0.047	-0.106	-0.417
A1	0.009	0.147	0.379
A2	0	-0.002	-0.01
A3	0.00002	0.00005	0
A4	-0.00000005	-0.0000002	-9.00e-07
A5	2e-10	2e-10	1.00e-09

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados de la estimación de la precipitación efectiva se presentan en la tabla 20, en ella se puede apreciar que la precipitación efectiva mensual varía de 0.44 a 55.58 mm, que corresponden a los meses de junio y enero, respectivamente. La precipitación efectiva anual es de 162.42 mm.

**Tabla 20.** Precipitación efectiva mensual (mm).

Mes	N° días mes	P total mm/mes	Precipitación efectiva		
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes
Enero	30	176.27	50.62	149.34	55.58
Febrero	28	148.53	38.81	122.75	43.02
Marzo	31	116.35	24.19	78.41	26.91
Abril	30	41.20	4.00	9.59	4.28
Mayo	31	7.32	0.84	1.90	0.89
Junio	30	4.78	0.54	1.19	0.57
Julio	31	3.79	0.41	0.89	0.44
Agosto	31	12.07	1.34	3.02	1.42
Septiembre	30	18.59	1.94	4.33	2.06
Octubre	31	33.39	3.21	7.36	3.42
Noviembre	30	45.31	4.48	11.04	4.81
Diciembre	31	98.56	17.14	54.73	19.02
Año		706.18	147.51	444.54	162.42

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.3.6. Retención de la cuenca**

Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual; considerando que en la cuenca se encuentra lagunas que contribuyen a la retención de aproximadamente de 109 km<sup>2</sup>, nevados con una extensión aproximada de 33 km<sup>2</sup> y acuíferos con una extensión de 600 km<sup>2</sup>, aproximadamente, según estudios realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales. El gasto de la retención (R), es de 32 mm/año.

#### **4.3.7. Coeficiente de agotamiento**

Considerando que la zona en estudio se encuentra en una zona con vegetación escasa, poco desarrollada (Puna), cuencas con agotamiento rápido y mediana retención, a partir de las fórmulas empíricas propuesto en la metodología, se obtiene que el coeficiente de agotamiento “a” tienen un valor de 0.0074.

#### **4.3.8. Relación de caudales**

Considerando el coeficiente de agotamiento y el número de los días del mes, la relación de caudales (b<sub>0</sub>), a partir de la formula empírica propuesto en el capítulo anterior, se obtiene un valor de “b<sub>0</sub>” igual a 0.80.

#### **4.3.9. Gasto de la retención**

Los resultados de la contribución mensual de la estación seca (abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre), estimados con las fórmulas empíricas correspondientes, se presenta en la tabla 21, no se considera los meses húmedos o lluviosos, como son: noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Los gastos de la retención varían de 2.13



a 8.09 mm/mes que corresponde a los meses de octubre y abril, respectivamente. El gasto de la retención anual es de 32 mm.

**Tabla 21.** Resultados del gasto de la retención mensual (mm/mes).

MES	N° días mes	Gasto	
		bi	Gi mm/mes
Enero	30		
Febrero	28		
Marzo	31		
Abril	30	0.80	8.09
Mayo	31	0.64	6.48
Junio	30	0.51	5.18
Julio	31	0.41	4.15
Agosto	31	0.33	3.32
Septiembre	30	0.26	2.66
Octubre	31	0.21	2.13
Noviembre	30		
Diciembre	31		
Año		3.16	32.00

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.3.10. Abastecimiento de la retención

Los resultados del cálculo de la lámina de abastecimiento durante la estación lluviosa y no lluviosa para la zona en estudio, se presenta en la tabla 22. El abastecimiento de la retención anual en la cuenca del río Ilave es de 32 mm. Para la calibración se ha modificado los coeficientes de abastecimiento en (%) de cada mes.

**Tabla 22.** Resultados del Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes).

Mes	N° días mes	Abastecimiento	
		ai	Ai mm/mes
Enero	30	0.77	24.64
Febrero	28	0.05	1.60
Marzo	31	-0.29	-9.28
Abril	30		
Mayo	31		
Junio	30		
Julio	31		
Agosto	31		
Septiembre	30		
Octubre	31		
Noviembre	30	0.07	2.24
Diciembre	31	0.40	12.80
Año		1.00	32.00

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4. GENERACIÓN DE CAUDAL MENSUAL PARA UN AÑO PROMEDIO

Los resultados de la generación de caudales mensuales para un año promedio se presentan en la tabla 23. La variación de los caudales mensuales durante el año promedio es de 7.70 a 133.07 m<sup>3</sup>/s para los meses de noviembre y febrero, respectivamente, y se obtiene un caudal promedio anual de 40.8 m<sup>3</sup>/s. El caudal anual es de 40.80 m<sup>3</sup>/s.

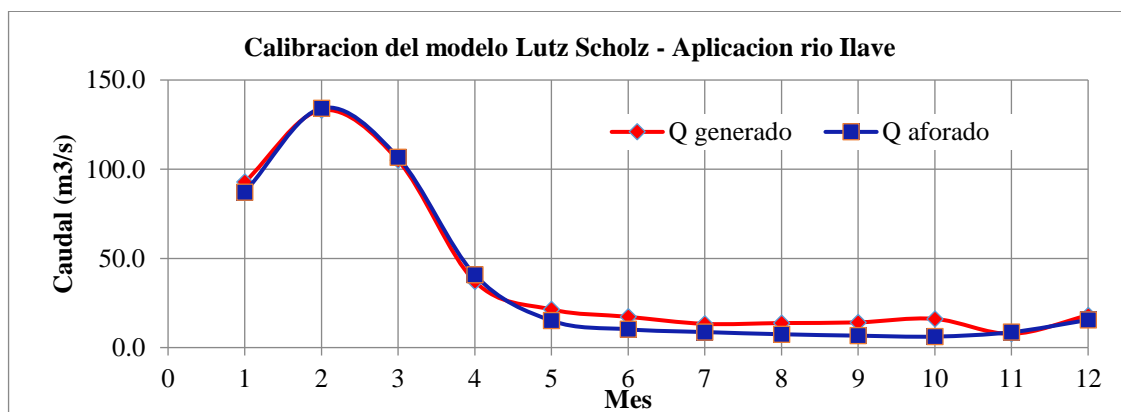
Luego de calibrar el modelo a partir del coeficiente de abastecimiento, en la figura 17, se muestra la comparación de los caudales generados y los caudales aforados en el río Ilave.



**Tabla 23.** Resultados de caudales generados para un año promedio (mm/s).

mes	N° días mes	Caudal generado	
		mm/mes	m <sup>3</sup> /s
Enero	30	30.94	92.75
Febrero	28	41.42	133.07
Marzo	31	36.19	105.00
Abril	30	12.37	37.10
Mayo	31	7.37	21.38
Junio	30	5.75	17.25
Julio	31	4.59	13.31
Agosto	31	4.74	13.76
Septiembre	30	4.71	14.13
Octubre	31	5.55	16.10
Noviembre	30	2.57	7.70
Diciembre	31	6.22	18.06
Año		162.42	40.80

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 19.** Calibración de caudales generados para un año promedio - río Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia (Q generados y Q aforados por SENAMHI).

Al realizar la correlación entre los datos generados y los datos registrados, se obtiene un coeficiente de correlación  $r^2$  de 0.9972, esto nos indica que la calibración del modelo de generación de descargas medias para un año promedio del río Ilave mediante del modelo Lutz Scholz es apropiado.

## 4.5. GENERACIÓN DE CAUDALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS

### 4.5.1. Precipitación efectiva de la cuenca

Para la generación de caudales para periodos extendidos, primero se tiene que determinar la precipitación efectiva de la cuenca a partir de la precipitación media determinado mediante el método de promedio aritmético para la cuenca del río Ilave, desde el punto de aforo aguas arriba. Los resultados se presentan en la tabla 24.

**Tabla 24.** Precipitación efectiva (mm) generada para la cuenca del río Ilave

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total.
1971	35.5	117.8	5.3	0.2	9.0	8.3	9.6	5.8	9.4	4.4	3.6	23.1	232.0
1972	86.4	38.3	34.6	2.1	7.5	9.4	8.5	9.2	0.4	0.5	0.2	28.6	225.7
1973	96.8	34.8	27.9	4.7	4.2	9.3	7.8	3.6	0.2	2.8	1.8	1.0	194.9
1974	127.8	107.8	2.1	1.3	6.1	7.9	9.5	5.3	3.0	3.6	1.7	2.1	278.2
1975	48.4	82.3	34.2	2.2	0.8	6.6	9.6	7.0	1.1	0.2	2.1	71.4	265.9
1976	117.2	34.3	21.6	1.6	4.1	9.3	6.6	1.2	0.1	7.1	6.9	7.1	217.1
1977	5.4	76.2	55.0	6.7	7.5	9.6	7.5	9.4	0.4	0.0	8.1	13.0	198.8
1978	87.6	10.5	15.8	0.1	9.5	9.6	6.9	7.1	4.2	5.5	18.7	22.8	198.3
1979	60.9	8.0	27.6	0.2	8.9	9.1	7.5	6.9	7.3	0.2	0.0	9.0	145.6
1980	19.6	4.8	75.1	1.9	8.1	8.9	7.8	3.1	0.0	2.7	1.0	10.1	143.1
1981	52.7	98.4	19.3	0.2	7.0	8.7	9.2	1.4	2.1	1.5	0.1	24.8	225.4
1982	82.7	31.8	13.4	0.1	6.9	7.9	9.0	6.2	0.1	4.1	5.0	0.9	168.1
1983	12.5	16.0	1.8	0.4	6.3	8.0	8.6	5.6	1.5	2.4	0.7	13.3	77.1
1984	142.7	81.8	41.0	0.6	4.8	6.0	8.7	3.7	7.2	15.2	14.3	15.3	341.3
1985	43.0	122.8	15.0	5.9	1.0	1.4	9.2	4.7	0.0	1.7	26.7	44.6	276.0
1986	49.9	99.8	77.6	14.1	7.2	9.6	6.9	4.8	3.2	5.1	1.1	35.2	314.5
1987	116.8	6.5	2.5	1.3	8.8	7.5	1.6	8.8	6.1	0.0	7.6	0.2	167.7
1988	79.7	1.4	65.9	10.7	3.9	9.3	9.2	9.6	2.5	0.2	2.3	13.3	208.0
1989	50.9	29.7	39.8	5.2	7.2	7.5	7.3	5.3	3.3	5.9	2.1	0.0	164.2
1990	32.0	0.0	1.3	0.5	4.4	0.8	9.6	4.2	5.6	5.9	8.1	20.3	92.7
1991	21.7	7.4	50.4	0.3	6.0	0.1	8.3	8.3	4.3	0.6	0.4	1.3	109.1
1992	32.3	5.7	0.6	1.2	9.5	8.6	7.8	0.0	9.2	0.0	0.1	4.1	79.1
1993	63.2	4.7	25.2	0.0	6.5	8.7	9.6	0.0	3.3	1.9	7.6	22.0	152.7
1994	60.8	63.2	13.3	7.0	3.3	9.1	9.2	9.4	6.3	2.7	1.5	33.4	219.2
1995	20.9	14.8	26.9	5.2	7.7	9.4	9.5	8.4	3.9	4.5	0.3	15.5	127.0
1996	87.5	28.7	2.0	0.2	6.7	9.6	7.4	1.4	7.0	5.2	4.6	12.9	173.2
1997	87.5	74.1	14.0	0.6	7.0	9.6	9.6	0.0	5.9	1.0	5.2	0.7	215.2
1998	35.5	17.2	6.2	0.5	9.6	4.5	9.6	9.0	8.0	1.4	0.6	0.1	102.2
1999	31.0	81.7	92.6	4.7	5.1	9.3	9.2	8.0	2.2	14.7	3.2	4.6	266.3
2000	91.5	58.0	20.5	1.6	7.5	7.7	8.3	4.2	6.8	2.3	6.7	14.2	229.3
2001	151.6	95.2	54.2	0.7	6.4	8.6	7.1	3.6	4.2	0.1	0.3	5.8	337.8
2002	15.1	70.0	59.3	13.0	2.8	3.7	0.7	3.8	6.0	0.7	1.3	12.1	188.5
2003	40.4	22.3	39.3	1.3	2.4	9.0	8.4	5.5	0.7	1.8	3.9	14.1	149.1
2004	87.8	29.8	6.1	0.9	7.2	6.5	1.1	0.0	2.6	8.1	1.8	2.7	154.6
2005	20.5	63.8	8.0	0.4	8.5	9.6	9.6	9.5	1.3	0.0	0.6	25.6	157.4
2006	127.1	13.9	29.0	0.1	8.1	8.8	9.6	7.4	2.4	0.7	2.2	11.0	220.3
2007	17.8	16.7	55.7	0.2	7.5	9.4	8.1	8.1	0.6	0.1	0.0	11.8	136.0
2008	81.6	14.5	7.8	5.2	8.2	9.0	8.9	7.5	8.9	0.1	4.5	36.3	192.5
2009	17.4	38.1	16.6	2.4	9.5	9.6	6.3	9.6	1.1	0.1	13.5	6.3	130.5
2010	43.1	48.4	3.3	0.5	1.9	9.6	8.9	7.1	8.5	0.2	6.0	32.7	170.2
2011	37.6	78.2	21.6	0.0	6.1	9.5	6.3	8.8	1.2	3.1	0.1	58.9	231.4
2012	51.5	111.0	44.3	4.8	8.6	9.4	9.4	7.2	5.3	3.6	0.0	62.7	317.8
2013	51.1	46.9	3.9	5.8	1.7	2.4	5.3	4.2	7.6	0.7	0.4	38.3	168.3
2014	60.2	3.6	0.6	0.5	9.1	9.6	8.9	1.1	0.9	0.0	0.4	2.3	97.2
Prom.	61.0	45.7	26.8	2.7	6.4	7.9	7.9	5.6	3.8	2.8	4.0	17.9	192.3

#### 4.5.2. Números aleatorios

En el presente trabajo se generó los números aleatorios normalmente distribuidos con media igual a cero y desviación estándar igual a 1. En la tabla 25, se presentan la información de números aleatorios empleado.

**Tabla 25.** Números aleatorios generados con distribución normal (0,1).

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1971	0.39	-1.02	1.25	-1.6	-0.04	1.43	0.36	-0.3	-1.01	-0.07	-0.51	-0.96
1972	1.28	-0.04	-0.32	1.49	-0.59	1.77	-0.66	0.71	0.75	-1.45	0.04	0.5
1973	1.46	-0.27	1.28	1.26	0.4	-0.18	-0.06	0.35	0.36	0.53	1.03	0.72
1974	-0.57	-0.23	0.01	0.09	-0.66	0.78	-0.21	0.35	1.96	2.24	0.24	-1.37
1975	0.55	0.05	0.61	-2.61	-0.74	0.62	-1.28	0.21	-0.2	0.89	0.1	-0.1
1976	0.63	1.27	0.78	-0.33	-0.17	0.38	-0.02	-0.64	-0.59	0.77	1.45	0.45
1977	-0.95	0.93	2.44	-0.33	0.21	-1.17	0.01	-0.51	0.05	-0.93	-0.08	-1.39
1978	-1.67	-0.19	0.73	0.99	0.66	0.81	0.91	-0.01	0.75	-0.81	0.6	1.4
1979	1.72	-1.09	0.25	-2.9	0.36	-0.08	-1.31	-0.56	2.32	0.05	0.05	0.08
1980	-0.88	0.51	1.03	0.34	0.01	0	0.25	0.44	-2.2	1.22	1.96	-1.59
1981	0.53	0.94	0.18	-1.36	0.2	-0.2	-0.57	-0.44	0.73	0.03	-0.79	-0.11
1982	0.51	0.19	-1.27	-0.18	0.21	-0.48	1.52	0.35	-0.93	-0.4	-0.09	1.31
1983	1.15	1.24	0.62	0.97	-1.55	0.86	-0.09	1.74	-0.66	0.29	0.36	0.96
1984	-0.17	-0.78	1.32	0.04	-0.19	-0.19	-0.66	0.06	0.53	0	0.29	0.31
1985	0.22	0.16	0.17	0.69	-0.54	0.54	1.18	1.12	0.43	-1.82	0.15	3.1
1986	1.74	-1.05	1.29	1.38	-0.79	-0.09	-0.58	1.68	-1.33	2.09	-0.33	-0.21
1987	0.34	1.2	0.13	1.12	-0.19	-1.37	-0.21	0.05	-0.51	-1.11	-1.31	1.35
1988	-0.07	-0.88	-1.89	0.95	-0.27	-0.65	-1.49	-0.89	-0.09	-0.64	-1.59	0.26
1989	0.89	-1.52	0.52	-1.82	0.06	-0.28	-0.5	0.86	-0.24	1.99	0.27	2.5
1990	-0.18	0.2	1.41	-0.38	1.3	0.62	0.37	1.54	0.67	-1.47	-0.61	0.1
1991	2.18	1.6	-0.9	-0.03	0.26	-1.81	-0.47	-0.11	0.87	0.96	-1.45	-0.55
1992	0.84	-1.16	1.1	0.24	-1.17	0.33	0.19	0.27	-0.13	-0.39	-0.71	-2.04
1993	1	2.74	1.61	-0.11	-0.49	-0.42	-2.23	-1.87	-1.9	0.55	-0.23	1.35
1994	0.78	0.75	-1.78	-0.76	0.35	1.56	-0.12	0.92	0.44	-1.54	1.77	0.05
1995	0.96	0.79	-0.48	-1.65	-0.49	0.27	-1.33	-1.01	0.03	0.6	-0.2	-0.02
1996	-1.26	-0.47	0.29	2.25	-0.73	1.15	0.01	-0.92	1.81	-0.34	-0.95	0.56
1997	-0.06	-1.51	-1.16	-0.4	1.62	-0.49	0.12	0.81	-0.06	-0.19	-1.37	1.83
1998	1.32	0.82	1.35	1.27	0.34	0.4	1.72	-0.28	0.84	0.59	-1.56	-1.52
1999	-0.45	-2.05	-1.15	-1.23	1.75	1.14	0.82	-0.41	0.12	0.08	1.15	0.11
2000	0.68	-0.3	-0.15	0.58	-0.86	-0.22	0.8	0.17	-0.39	-0.08	0.64	-1.15
2001	-1.55	3.03	-0.42	1.92	0.04	0.34	0.01	-0.74	0.47	1.74	-0.75	1.06
2002	0	0.33	-0.6	1.35	1.18	-0.78	-0.24	0.29	0.24	-0.96	0.09	-1.11
2003	0.93	-1.41	0.31	-0.95	1.36	-0.03	-1.39	0.36	-0.69	0.16	-1.37	0.28
2004	1.17	1.27	1.8	-0.89	-0.39	0.6	-0.3	0.58	-0.73	1.31	0.25	0.01
2005	-0.62	-0.04	0.47	-0.12	0.77	-0.04	1.68	-1.39	0.71	-0.28	-0.15	1.02
2006	0.4	1.95	-1.72	-0.94	-0.1	0.67	-0.08	-0.56	-0.52	-1.52	0.2	1.07
2007	-0.72	0.86	-0.21	0.5	-0.93	0.06	0.64	0.81	-1.22	0.62	1.42	1.26
2008	-0.13	-1.69	-0.47	-0.42	0.19	0.01	-0.08	0.04	-0.23	-1.45	-0.47	0.86
2009	-1.16	0.68	-0.05	-0.52	-1.94	0.02	-0.64	0.88	-0.98	1.04	0.49	-1.95
2010	1.09	0.27	-1.64	-0.98	1.16	-0.82	0.13	1.53	-0.19	-1.17	0.67	-0.29
2011	0.48	0.16	0.63	2.48	-1.77	-0.16	-0.16	1.2	2.03	-0.59	0.53	0.69
2012	0.37	-0.05	1.62	-2.82	-0.8	0.15	0.26	1.71	-1.49	1.39	-2.51	-0.23
2013	-1.72	-0.82	-1.25	0.71	-0.38	-0.59	-0.55	0.85	2.47	1.32	-0.09	-0.67
2014	1.29	0.78	0.37	0.73	1.05	1	-0.62	0.11	0.68	0.15	0.98	1.5

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.3. Descargas medias mensuales generadas

Para determinar los parámetros  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $r$  y  $S$ , sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante el cálculo de regresión con  $Q_t$  como valor dependiente y  $Q_{t-1}$  y  $PE_t$ , como valores independientes, los datos de las variables se presentan en la siguiente tabla 26.

**Tabla 26.** Datos de la variable dependiente e independiente.

$Q_t$	$Q_{t-1}$	PE
30.94	6.22	55.58
41.42	30.94	43.02
36.19	41.42	26.91
12.37	36.19	4.28
7.37	12.37	0.89
5.75	7.37	0.57
4.59	5.75	0.44
4.74	4.59	1.42
4.71	4.74	2.06
5.55	4.71	3.42
2.57	5.55	4.81
6.22	2.57	19.02

**Fuente:** Elaboración propia.

Luego de realizar la regresión lineal múltiple se obtuvo los siguientes resultados:

Coefficientes de la regresión lineal múltiple  $b_1 = - 0.092$

Coefficientes de la regresión lineal múltiple  $b_2 = 0.4666$

Coefficientes de la regresión lineal múltiple  $b_3 = 0.5402$

Error estándar de la regresión múltiple  $S = 3.650$

Coefficiente de correlación múltiple  $r^2 = 0.9447$

Considerando la ecuación integral para la generación de caudales mensuales del río Ilave, en donde están en función de los coeficientes de la regresión lineal múltiple, error estándar de la regresión múltiple, coeficiente de correlación múltiple, precipitación



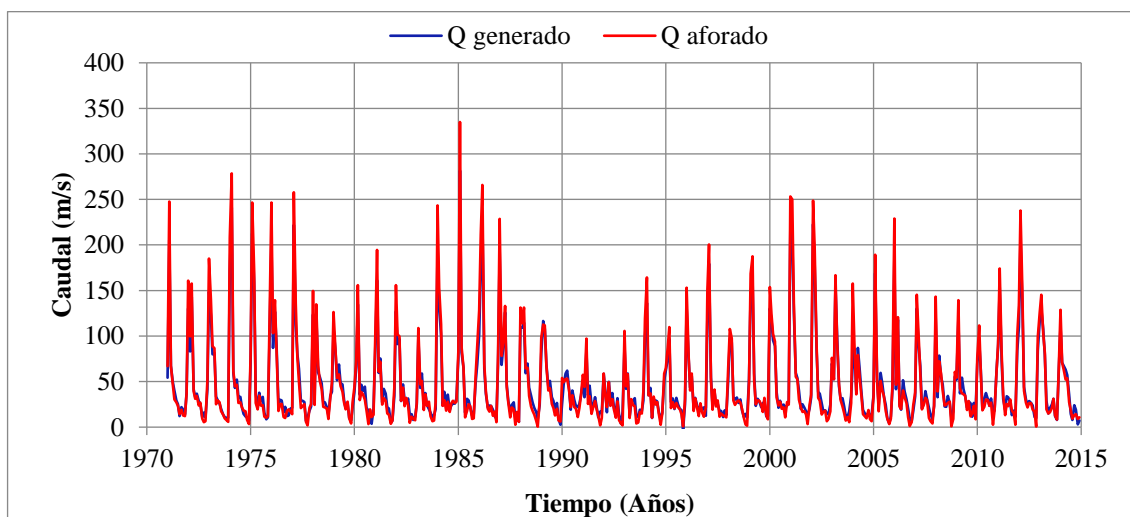
efectiva y caudal del mes anterior; en la tabla 27, se presenta la serie de descargas media mensuales (mm) generadas para cuenca del río Ilave.

**Tabla 27.** Descargas medias mensuales generados (mm) – cuenca Ilave

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1971	22.3	77.1	23.2	15.5	10.5	9.1	8.1	4.9	6.3	4.4	4.0	12.8
1972	53.6	31.0	54.3	13.1	10.7	11.4	8.2	9.3	3.1	1.9	2.1	17.7
1973	61.7	43.5	30.5	28.9	8.6	9.8	9.4	6.0	4.6	3.3	2.6	2.0
1974	69.4	86.7	21.3	14.9	16.1	8.9	9.4	7.4	6.0	5.9	2.6	1.1
1975	27.0	76.8	59.4	8.8	6.7	11.5	8.1	8.3	3.8	3.6	3.9	39.6
1976	82.2	32.1	48.1	28.2	6.1	8.4	8.8	3.8	3.3	6.2	6.5	6.0
1977	4.8	80.2	46.7	25.7	17.3	6.9	7.9	8.7	1.9	0.7	7.1	8.8
1978	49.9	7.7	46.5	22.6	17.6	13.9	7.7	7.4	6.9	3.1	10.8	16.7
1979	42.1	26.6	18.6	19.2	15.6	13.0	9.3	6.7	9.3	3.3	1.4	9.9
1980	14.4	22.6	53.8	9.9	13.3	12.0	10.4	6.3	1.2	6.8	3.7	4.6
1981	31.0	60.6	21.0	23.9	8.5	10.6	10.0	5.1	4.6	1.3	2.4	14.9
1982	52.0	31.7	34.3	9.6	15.0	7.7	11.0	8.2	1.6	3.9	3.1	2.7
1983	8.9	33.9	16.2	17.0	6.5	12.0	8.1	9.6	4.0	2.2	2.4	9.4
1984	81.2	47.6	39.0	7.8	10.3	6.0	9.6	5.7	8.7	10.0	8.9	9.6
1985	27.8	104.3	30.4	21.9	3.6	5.9	8.7	7.9	2.9	3.3	19.1	30.8
1986	42.7	65.9	91.6	22.9	13.3	6.7	5.9	8.0	4.2	5.8	1.8	27.7
1987	76.2	24.4	32.1	44.3	15.2	9.0	3.7	7.5	6.5	0.9	5.6	2.0
1988	43.8	35.5	45.3	21.5	22.5	11.5	7.8	6.1	4.7	2.5	0.2	9.9
1989	32.8	35.1	38.4	22.3	13.9	14.2	8.8	7.1	4.3	7.0	2.4	2.2
1990	18.0	15.4	18.2	17.8	13.8	7.3	12.0	7.6	6.8	3.8	7.0	12.1
1991	19.2	13.7	33.5	8.5	11.7	4.8	7.4	9.9	6.5	4.2	0.7	3.4
1992	19.7	10.9	7.6	16.4	8.0	10.3	6.5	3.6	9.4	2.6	1.3	0.7
1993	35.2	14.0	20.0	3.3	10.7	8.0	8.0	1.4	1.7	5.8	5.0	13.6
1994	39.8	51.1	12.1	12.4	3.5	11.1	8.5	9.5	4.3	0.9	4.9	20.3
1995	21.5	27.1	37.9	6.9	9.4	6.9	9.1	7.5	6.5	4.9	0.3	10.6
1996	51.0	25.0	13.9	19.6	6.1	10.5	7.1	4.1	8.8	5.4	3.9	7.5
1997	50.6	62.5	18.2	6.4	14.2	7.5	10.1	3.9	5.0	4.4	4.1	3.7
1998	21.9	33.5	33.6	9.7	8.4	9.3	10.1	9.2	6.8	3.5	0.9	0.6
1999	16.5	52.5	64.6	17.0	8.7	9.8	9.9	8.6	5.5	11.1	4.2	2.9
2000	51.3	38.7	35.4	31.4	11.2	7.9	9.7	7.0	7.2	3.7	9.2	8.6
2001	84.5	77.9	46.9	18.4	18.1	10.1	7.5	5.7	5.8	4.8	1.1	8.3
2002	11.9	77.4	67.8	30.0	11.0	9.7	4.8	5.7	6.0	2.2	2.9	6.0
2003	25.3	16.3	57.5	31.4	16.4	9.9	7.8	5.4	2.3	3.8	1.9	9.1
2004	52.6	28.9	12.4	26.5	18.1	11.6	4.9	4.0	3.2	6.5	2.9	2.2
2005	11.5	58.9	18.1	5.8	17.5	13.5	11.9	6.1	3.1	1.2	3.1	16.0
2006	76.4	14.5	41.6	7.6	6.9	13.4	11.3	9.0	3.6	0.4	1.8	8.2
2007	12.7	45.3	36.6	19.8	6.7	8.3	11.1	10.3	3.4	2.2	1.3	8.2
2008	47.7	12.2	24.9	19.4	13.8	7.9	8.5	9.2	9.3	0.3	3.0	20.9
2009	18.1	43.3	14.5	12.4	12.4	11.5	6.4	9.8	3.9	5.2	7.8	3.0
2010	25.5	34.7	20.5	6.1	7.7	10.2	10.2	8.1	8.9	0.9	6.2	20.9
2011	30.4	54.2	28.3	11.6	4.5	8.5	7.9	10.5	6.1	5.2	0.8	35.2
2012	44.5	74.0	50.5	13.3	9.3	7.2	9.2	9.0	6.4	5.9	0.2	34.0
2013	41.9	45.3	35.5	27.2	6.7	5.0	5.7	7.2	10.3	4.4	2.8	20.1
2014	42.9	22.1	21.7	17.4	18.4	9.1	6.5	3.2	4.3	4.9	3.0	3.7

Considerando el área de drenaje de la cuenca de 7771.50 km<sup>2</sup> hasta el punto de aforo, y el número de días de cada mes, en tabla 28, se presenta la serie de descargas media mensuales (m<sup>3</sup>/s) generadas para la cuenca del río Ilave. De este cuadro se puede indicar que los caudales generados para el río Ilave mediante la metodología de Lutz Scholz es: 98.4, 120.4, 93.3, 55.5, 37.7, 32.9, 28.5, 23.5, 19.8, 14.4, 14.1 y 31.3 m<sup>3</sup>/s, que corresponden a los meses de enero a diciembre, respectivamente. La descarga media anual generada del río Ilave es de 569.73 m<sup>3</sup>/s.

En la figura 20, se muestran los hidrogramas de los caudales generados y caudales aforados en el puente Ilave, para el periodo de 1971 al 2014; en ellas se puede observar que existen similitud en su comportamiento a través del tiempo, para su validación se realiza la prueba de consistencia de las medias y la prueba de consistencia de la desviación estándar.



**Figura 20.** Hidrograma de caudales generados y aforados – periodo 1971-2014.



**Tabla 28.** Descargas medias mensuales generados (m<sup>3</sup>/s) – cuenca llave.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1971	54.18	205.46	67.31	49.54	40.06	29.44	25.18	12.15	21.94	19.54	14.02	37.62	576.4
1972	130.30	82.94	142.91	41.74	32.97	36.72	28.81	25.53	10.73	16.14	10.83	41.28	600.9
1973	148.66	122.53	79.81	81.47	33.73	29.71	25.86	20.01	13.90	11.10	10.09	10.20	587.1
1974	172.13	240.85	59.69	43.07	52.23	33.00	33.08	21.74	14.55	11.93	10.52	7.36	700.2
1975	71.86	212.58	159.55	36.30	20.75	37.63	28.19	33.19	15.50	8.49	10.68	95.36	730.1
1976	205.45	87.09	126.59	90.09	25.35	30.00	29.38	15.88	22.27	12.21	12.71	20.13	677.1
1977	21.38	221.84	112.59	80.53	64.17	28.63	29.00	27.72	6.97	10.81	18.06	22.69	644.4
1978	123.52	32.23	124.30	60.04	55.29	47.89	27.25	27.27	22.12	13.11	34.52	38.81	606.4
1979	108.52	84.33	51.62	68.68	48.24	46.95	29.41	20.39	26.16	10.10	7.22	23.23	524.9
1980	37.44	66.40	134.71	35.55	46.47	39.54	44.55	21.31	18.15	15.16	3.78	20.55	483.6
1981	80.51	161.23	59.53	75.34	27.08	41.89	36.63	21.22	20.63	4.66	7.04	34.27	570.0
1982	127.02	91.05	96.39	28.54	47.06	30.09	26.72	31.49	13.89	14.18	7.89	11.37	525.7
1983	24.65	97.75	43.19	58.81	25.42	37.45	24.00	19.91	15.93	10.64	13.30	19.89	390.9
1984	196.81	132.34	100.61	23.62	38.68	26.99	35.67	18.33	23.99	25.84	25.71	31.49	680.1
1985	75.75	281.61	82.21	65.33	15.84	31.19	29.28	21.67	12.34	14.17	49.40	68.92	747.7
1986	101.62	173.69	232.80	64.23	36.42	21.50	23.74	23.51	19.05	12.23	9.41	70.47	788.7
1987	193.38	68.40	87.69	125.92	47.39	28.48	16.97	24.55	27.22	9.29	16.23	5.74	651.2
1988	109.85	109.16	114.77	59.37	69.64	43.39	34.68	26.93	21.36	16.85	9.42	24.05	639.5
1989	80.92	116.36	107.57	68.58	44.40	50.93	32.80	28.59	19.28	26.49	8.72	2.68	587.3
1990	41.45	47.31	58.84	62.06	41.29	19.08	40.20	29.94	23.31	21.94	25.45	34.56	445.4
1991	49.81	32.70	84.04	34.92	45.45	24.49	22.06	32.76	21.95	10.57	17.01	16.19	392.0
1992	58.47	39.68	16.19	49.72	31.41	37.54	21.14	16.93	31.74	13.31	3.54	16.77	336.5
1993	89.51	42.15	58.94	11.79	25.60	29.36	31.96	11.80	11.57	19.26	17.23	29.17	378.3
1994	99.03	136.08	34.81	43.08	9.94	29.01	29.24	28.19	15.05	8.32	16.03	51.16	500.0
1995	61.89	75.01	96.96	27.47	31.33	19.94	32.26	25.07	19.79	18.75	-2.85	25.11	430.7
1996	131.77	77.50	43.32	55.90	20.30	32.04	23.30	20.17	22.75	20.23	21.67	12.61	481.6
1997	123.61	179.48	54.62	23.32	39.36	24.23	25.86	17.26	17.73	11.12	18.34	13.03	548.0
1998	52.46	96.76	93.03	32.90	29.94	32.50	26.66	30.34	18.61	11.17	14.46	10.51	449.3
1999	53.30	147.18	162.16	58.81	23.22	31.18	28.41	21.85	26.03	27.89	11.78	11.98	603.8
2000	130.20	118.07	95.35	88.97	38.90	21.24	28.83	22.78	24.79	21.50	23.83	26.80	641.3
2001	215.55	208.80	125.83	59.67	53.88	39.89	19.71	25.11	21.09	17.39	12.55	20.05	819.5
2002	32.57	222.60	178.04	84.90	38.46	36.76	26.28	17.26	18.29	15.11	13.86	24.66	708.8
2003	69.68	52.44	156.19	102.16	44.90	31.19	31.73	22.93	12.50	11.37	17.39	34.22	586.7
2004	132.32	85.69	40.36	87.09	61.61	38.68	18.90	14.78	11.91	16.45	11.59	13.13	532.5
2005	35.16	168.97	52.04	23.70	59.44	48.50	34.42	24.52	9.44	4.20	11.92	40.81	513.1
2006	185.43	41.74	117.94	24.64	19.04	51.33	39.09	30.43	20.17	9.20	6.37	17.59	563.0
2007	33.95	130.31	92.58	66.89	20.85	25.40	39.40	30.75	21.32	13.81	8.56	23.01	506.8
2008	120.24	32.77	78.52	55.16	46.97	22.48	22.31	34.20	26.25	10.48	16.97	55.81	522.2
2009	51.95	118.47	36.93	54.39	41.51	34.59	21.41	28.37	26.34	11.41	26.65	20.09	472.1
2010	69.91	93.89	62.40	19.92	30.74	37.47	30.64	23.31	31.57	16.75	18.16	60.98	495.7
2011	88.13	153.26	74.10	30.61	19.26	34.00	32.39	26.65	13.20	17.92	11.27	84.00	584.8
2012	110.28	207.41	133.12	43.99	30.38	24.43	28.71	26.50	23.72	11.21	9.92	83.64	733.3
2013	116.37	129.76	107.02	79.37	29.05	14.75	20.98	24.78	31.01	12.09	7.94	56.85	630.0
2014	110.83	70.87	67.36	63.16	56.98	35.31	14.74	7.87	23.90	19.24	2.89	7.31	480.5
PROM	98.4	120.4	93.3	55.5	37.7	32.9	28.5	23.5	19.8	14.4	14.1	31.3	569.7

#### 4.5.4. Test estadístico

Los resultados de las pruebas estadísticas T de Student y F de Fisher, se presentan en la tabla 29.

**Tabla 29.** Resultados de las pruebas estadísticas T y F.

Parámetro	Q generado	Q aforado
Media	47.33	48.72
Desviación Estándar.	45.25	54.36
Nº datos	528.00	528,00
T calculado.	0.45	
T tabular	1.64	-----
F calculado	0.69	
F tabular	1.15	-----

**Fuente:** Elaboración propia.

De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que las medias de los caudales generados son iguales estadísticamente a la media de los caudales aforados, puesto que el valor de T calculado (0.45) es menor que el valor de T tabular (1.15); y la desviación estándar de los caudales generados son estadísticamente iguales a la desviación estándar de los caudales aforados, dado que el valor de F calculado (0.45) es menor que F tabular (1.64).

Al realizar una regresión entre los caudales generados y los caudales aforados se obtiene la siguiente ecuación:  $Y = 7.5889 + 1.1896 X$ , obteniendo un coeficiente de correlación de  $r^2 = 98.06$ , que es altamente significativo; en consecuencia, el modelo hidrológico Lutz Scholz es aplicable para la generación de caudales medios mensuales a partir de la precipitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca.



#### 4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los parámetros utilizados: área de la cuenca 7771.50 km<sup>2</sup>, altitud media 4309.3 msnm, pendiente 0.0055 m/m, temperatura 7.60 °C y una Evapotranspiración potencial 1359.6 mm/año, los caudales generados para un año promedio varía de 7.70 a 133.07 m<sup>3</sup>/s así mismo obteniéndose un caudal total anual de 40.80 m<sup>3</sup>/s, al realizar la correlación entre los caudales generados y registrados, se obtuvo al realizar el análisis de consistencia de la información hidrométrica, se puede concluir que la serie histórica de precipitación media mensual y anual registradas en las estaciones Capazo, Pizacoma, Ichuña, Laraqueri, Chilligua, Ichuña, Juli, Ilave, Rincon de la Cruz Acora y Puno, son consistentes y homogéneos porque no presentan saltos en el histograma y en el análisis de doble masa la línea de doble masa es una recta; y al realizar el análisis estadístico, para las 10 series en estudio, los valores de T calculado son menores que los valores de T tabular y los valores de F calculado son menores que los valores de F tabular.

La precipitación media anual de la cuenca del río Ilave; para el periodo de 1971 al 2014, es de 706.2 mm, determinados mediante el método de promedio aritmético, considerando las 10 estación meteorológicas. Para la cuenca del río Ilave la evapotranspiración potencial anual calculada mediante el método de Hargreaves es de 1359.6 mm, considerando los registros de temperatura de las 10 estaciones consideradas. El coeficiente de escurrimiento para la cuenca del río Ilave, estimado mediante la fórmula de Turc es de 0.40 y mediante la ecuación de la Misión Alemana es de 0.21.

Los caudales medios mensuales generados para el río Ilave, para un periodo de registro de 1971 al 2014, en promedio de enero a diciembre son: 98.4, 120.4, 93.3, 55.5, 37.7, 32.9, 28.5, 23.5, 19.8, 14.4, 14.1 y 31.3 m<sup>3</sup>/s, que corresponden a los meses de enero a diciembre, respectivamente. La descarga media anual generada del río Ilave es de



569.73 m<sup>3</sup>/s. De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que estadísticamente la media de los caudales generados es igual a la media de los caudales aforados del río Ilave, puesto que el valor de T calculado (0.45) es menor que el valor de T tabular (1.96); y la desviación estándar de los caudales generados y aforados también son estadísticamente iguales, dado que el valor de F calculado (0.69) es menor que F tabular (1.15).

El modelo matemático precipitación-escorrentía del experto Lutz Scholz puede ser empleado para la generación de caudales en la cuenca del río Ilave, tomando en cuenta que el régimen de aporte y almacenamiento que se produce dentro de las subcuencas tienen un comportamiento particular debido a la presencia de los nevados y lagunas. Con la presente investigación se puede demostrar que es posible determinar los caudales medios mensuales a partir de precipitación medio mensual utilizando modelos determinísticos – estocásticos en cuencas grandes.



## V. CONCLUSIONES

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca: área es de 7771.50 km<sup>2</sup>, altitud media 4309.3 msnm, pendiente 0.0055 m/m, temperatura 7.60 °C y una evapotranspiración potencial 1359.6 mm/año.

Los caudales medios mensuales generados para un año promedio varía de 7.70 a 133.07 m<sup>3</sup>/s, con un caudal total anual de 40.80 m<sup>3</sup>/s, los caudales generados y registrados tienen una correlación de  $r^2 = 0.9972$ , con una consistencia de la media de los caudales generados son iguales estadísticamente a la media de los caudales aforados, puesto que el valor de T calculado (0.45) es menor que el valor de T tabular (1.15), así como la desviación estándar de los caudales generados son estadísticamente iguales a la desviación estándar de los caudales aforados, dado que el valor de F calculado (0.45) es menor que F tabular (1.64).

Mediante la regresión lineal simple se obtuvo la ecuación de tendencia entre los caudales generados y los caudales aforados ( $Y = 7.5889 + 1.1896X$ ) con un coeficiente de correlación de  $r^2 = 98.06$ , esto indica que es altamente significativo; en consecuencia, el modelo hidrológico Lutz Scholz es aplicable para la generación de caudales medios mensuales a partir de la precipitación pluvial registrados y parámetros geomorfológicos de la cuenca.



## VI. RECOMENDACIONES

El modelo matemático precipitación-escorrentía del experto Lutz Scholz puede ser empleado para la generación de caudales en la cuenca del río Ilave, tomando en cuenta que el régimen de aporte y almacenamiento que se produce dentro de las subcuencas tienen un comportamiento particular debido a la presencia de los nevados y lagunas

Con la presente investigación se puede demostrar que es posible determinar los caudales medios mensuales a partir de precipitación medio mensual utilizando modelos determinísticos – estocásticos en cuencas grandes.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, van a servir como referencia a las posteriores investigaciones realizar estudios de determinación de caudales medios mensuales mediante modelos estocásticos y realizar comparaciones con los resultados obtenidos en esta investigación y así mismo el modelo hidrológico de Lutz Scholz se puede utilizar para la determinación de caudales medios mensuales de las cuencas sin información hidrométrica.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, F. (2015). *Análisis de peligros en el distrito de Sandia. Proyecto evaluación de riesgos de desastres del distrito de Sandia*. Puno - Peru: Municipalidad de Sandia.
- ANA, (. N. (2009). *Evaluacion de los recursos Hidricos en la Cuenca del Rio Ilave- estudio Hidrologico*. ALA-Ilave-Puno: Direccion de Conservacion y Planeamiento de Recursos Hidricos Administracion Local de Agua Ilave.
- Belizario, G. (2014). *Impactos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú* [Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/256>
- Belizario, G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(1), 47–52.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Belizario, G., Huaquisto, E., & Chirinos, T. (2013a). Efectos del cambio climático en la temperatura y precipitación - Capachica, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 15(4), 15–24.
- Belizario, G., Huaquisto, E., & Chirinos, T. (2013b). Influencia del cambio climático en los elementos climáticos de la cuenca del río Coata-Puno. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 15(1), 35–54.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607224>
- Canaza, M., & Gamarra, E. (2017). *Alteración de los caudales del río Asmayacu por la presencia de los fenómenos del Niño y de la Niña en los últimos 30 años para la determinación de las probables zonas de inundación en la cuenca Asmayacu-Curahuasi*. Peru: Universidad Andina del Cusco.



- Chavarri, V. E. (2017). *Copias del curso Métodos de Analisis en Recursos Hídricos*.  
Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. 582 p.  
International Edition.
- Diaz, J. (2017). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del rio Cumbaza-San Martin*. Lima-Perú: Universidad Peruana Unión tesis.
- FAO, O. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos*.
- Jalcamoro, J. (2017). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del rio Tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel, Cajamarca*. . Peru: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Mejia, M. A. (2006). *Hidrologia Aplicada*. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Raghunath, H. (2006). *Hydrology Principles Analysis Desingn*. New Delhi: New Age International.
- Santayana, V. S. (2007). *Separatas de Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Agrícola*. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sarango, D., Rozas, G., Salvador, B., Velasquez, T., Sullca, J., & Mansilla, J. (2012).  
Determinación del rendimiento hídrico en la cuenca alta del río Grande en Puno.  
*Revista de investigación de física. (I. de investigación de Física, Ed.) (15th ed.)*.  
Universidad Nacional de San Marcos.



- Scholz, L. (2008). *Generacion de Caudales Mensuales de la sierra del Peru*. Cuzco Peru: Proama nacional de Pequeñas y medianas Irregaciones Plan Meris.
- Slavador, F., & Gargallo, P. (2013). *Análisis exploratorio de datos (en línea)*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Consultado el 15 de agosto del 2013, Disponible en: <http://www.5campus.com/leccion/aed>.
- TDPS, T.-D. P.-S. (2011). *Perspectivas del Medio Ambiente*. Impreso en Colombia por Panamericana Formas e Impresos, S.A.: Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Te Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1996). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Tito, L. (2000). *Calibración del modelo Lutz Scholz en la sub cuenca del rio Ayaviri*. . Puno Peru: Facultad de Ingeniería agrícola, Universidad Nacional del Altiplano.
- Ttimpo, T. N. (2012). *generacion de descargas medias mensuales aplicando el Modelo Lutz Schol para la subcuenca de Azangaro*. Puno Peru: Universidad Nacional del Altiplano de Puno Facultad de Ingenieria Agricola-Tesis.
- Tucci. (1993). *Escoamento superficial. In Hidrología: ciencia y aplicación*. Sao Paulo: Universidade de Sao Paulo.
- Villon, M. (2004). *Hidrologia. (Tecnológica de Costa Rica, Ed.) (Editorial)* . Lima Perú: Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/312660908/HIDROLOGIA-Ing-Maximo-Villon-Bejar-pdf>.
- Warren, V. J., & Lewis, G. L. (2002). *Introduction to Hydrology*. Prentice Hall.



## ANEXOS

### Anexo 1. Precipitación total mensual en (MM).

**Tabla 30.** Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Capazo.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	139.6	244.6	117.1	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	84.1
1972	131.5	87.2	160.1	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	20.5	25.9	51.9
1973	230.3	128.4	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	12.8	0.0	4.1	30.0
1974	320.6	196.4	7.3	14.2	0.0	0.5	0.0	75.8	0.0	0.0	12.1	23.0
1975	137.1	199.7	209.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	205.8
1976	297.1	98.9	58.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	5.0	0.0	0.0	20.8
1977	72.3	253.0	169.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	52.1	90.5
1978	268.2	74.9	182.2	67.6	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	92.8	138.1
1979	226.5	71.9	142.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1	16.0	99.5
1980	104.8	81.5	341.9	41.2	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	42.4	0.0	57.0
1981	115.8	282.4	212.1	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	149.3
1982	227.1	226.8	52.9	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	31.9	54.4	33.9
1983	38.8	26.3	31.8	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	8.5	0.0	50.2
1984	264.7	257.8	85.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.8	72.7	155.5
1985	176.9	171.3	114.0	10.1	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	80.2	218.0
1986	227.8	263.7	236.3	12.7	0.0	0.0	0.0	3.2	4.6	0.0	0.0	102.2
1987	255.5	104.8	41.4	4.6	0.0	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	24.1	73.2
1988	163.0	50.6	167.0	28.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	44.2
1989	16.7	161.4	199.5	123.6	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	14.7
1990	127.0	33.4	64.4	17.7	0.0	56.0	0.0	0.0	0.0	24.1	82.7	156.7
1991	178.3	87.8	147.9	33.7	4.2	30.2	0.0	0.0	0.0	12.7	11.5	40.6
1992	270.4	17.3	12.3	0.8	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	17.6	40.5	146.9
1993	258.2	120.0	74.9	17.2	0.0	0.0	0.0	28.9	0.0	13.7	67.3	177.8
1994	240.8	264.7	29.8	57.0	9.8	0.0	0.0	0.6	2.7	2.4	28.5	132.6
1995	75.1	50.3	87.7	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	27.1	31.6
1996	154.6	94.3	37.3	20.0	3.1	0.0	0.0	2.7	0.0	0.1	30.2	66.6
1997	189.1	189.0	50.8	11.8	20.5	0.0	0.0	17.7	36.0	3.7	21.2	37.9
1998	171.5	79.6	25.1	9.7	0.0	2.0	0.0	0.3	0.0	0.2	29.9	17.3
1999	57.3	175.9	209.2	57.0	0.1	0.0	0.0	2.1	1.5	19.5	0.0	36.3
2000	165.7	130.7	139.8	14.8	3.8	0.0	0.0	0.0	0.9	19.6	1.7	61.0
2001	266.8	257.8	134.7	37.4	0.0	3.1	0.0	2.2	0.4	5.8	9.4	33.8
2002	64.8	159.3	160.4	67.1	7.4	9.2	12.2	2.1	0.0	35.7	42.4	108.1
2003	86.2	82.2	78.1	0.0	6.4	0.0	6.2	0.0	0.0	66.9	2.5	53.5
2004	150.4	73.9	60.5	11.7	0.0	47.8	31.0	25.5	1.3	0.0	0.0	39.3
2005	91.0	187.8	48.4	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	5.7	19.1	108.2
2006	188.0	101.9	139.1	22.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	27.4	87.2
2007	108.3	102.4	92.4	18.3	1.9	0.0	1.9	0.0	3.8	5.2	31.4	65.0
2008	145.8	86.9	53.2	1.5	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.6	110.7
2009	60.4	77.3	58.4	77.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	1.4	80.7	51.8
2010	103.5	76.4	42.5	24.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	3.2	130.6
2011	114.4	152.6	47.6	34.5	3.6	1.5	4.8	0.0	6.0	0.0	20.7	143.8
2012	133.8	154.8	63.4	46.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	12.1	33.1	135.4
2013	144.1	102.5	42.9	0.0	12.5	14.6	2.7	2.2	0.0	13.9	7.6	86.2
2014	133.8	16.8	12.5	48.8	0.0	0.0	0.0	16.5	5.3	44.2	28.5	24.7
2015	116.3	102.9	149.1	82.2	0.0	0.0	0.2	2.7	3.7	12.7	11.0	1.4
2016	40.3	155.2	25.1	53.3	0.0	4.3	5.0	0.0	1.2	1.6	4.7	39.6





**Tabla 31.** Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Pizacoma

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	195.5	328.6	124.5	23.2	0.0	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	68.4	180.0
1972	239.0	132.0	94.2	28.0	4.4	0.0	6.4	0.0	33.7	27.0	53.8	101.2
1973	206.1	148.7	98.8	76.1	23.2	4.1	1.8	35.0	14.6	20.0	27.1	55.0
1974	371.1	380.6	83.8	14.6	1.6	1.4	0.0	56.0	13.2	7.8	49.0	124.4
1975	181.2	268.7	62.2	22.6	3.6	8.6	0.0	3.5	6.2	33.6	7.1	35.2
1976	269.2	77.6	23.4	10.4	1.4	0.0	5.8	9.6	36.8	0.0	0.0	110.0
1977	87.8	157.1	95.0	2.7	3.8	0.0	0.0	0.0	8.3	1.6	96.6	77.9
1978	183.2	102.2	41.6	53.4	0.0	0.0	2.6	2.8	2.8	1.6	66.3	133.0
1979	247.2	47.7	70.0	6.4	0.0	0.0	1.6	0.0	1.4	10.2	10.0	17.8
1980	59.2	34.2	106.6	35.8	7.7	2.2	0.0	26.0	18.1	16.6	49.1	127.5
1981	259.7	285.9	97.0	32.7	6.6	2.0	2.5	22.1	16.4	14.9	46.8	116.1
1982	242.8	250.1	91.8	31.1	6.0	1.9	2.3	20.0	15.5	14.0	45.6	110.1
1983	233.3	229.9	88.9	30.2	5.6	1.8	2.2	18.8	15.0	13.5	44.9	106.7
1984	227.6	217.9	87.2	29.6	5.4	1.8	2.1	18.1	14.7	13.1	44.5	104.7
1985	224.1	210.5	86.1	29.3	5.3	1.8	2.1	17.6	14.6	12.9	44.2	103.4
1986	179.8	265.7	222.6	130.2	4.2	0.0	2.2	2.6	2.3	2.7	32.9	250.2
1987	389.3	113.8	68.4	9.4	0.8	0.4	29.5	0.6	2.6	30.2	60.0	34.5
1988	290.8	69.5	211.0	134.4	14.9	2.4	0.0	0.0	8.3	10.6	20.8	215.0
1989	171.8	135.4	205.0	79.8	1.4	1.7	7.8	0.0	3.0	1.3	3.0	17.8
1990	38.1	39.3	27.7	7.9	0.0	32.9	0.0	0.0	4.5	43.5	67.2	118.3
1991	99.7	86.1	204.6	54.2	0.0	38.7	0.0	0.0	0.0	4.8	37.8	59.8
1992	169.2	68.2	17.1	8.2	0.0	0.0	0.0	20.2	0.0	37.0	32.1	25.8
1993	127.5	21.8	62.4	9.3	5.0	0.0	0.0	56.9	0.0	46.4	38.9	166.4
1994	267.9	214.6	39.6	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.5	242.2
1995	129.8	47.4	102.7	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	14.8	4.4	12.5	89.7
1996	162.2	75.4	41.7	26.1	3.4	0.0	0.0	25.4	0.0	5.2	44.6	83.8
1997	226.4	201.4	96.4	24.1	0.0	0.0	0.0	41.4	32.3	8.1	57.6	31.6
1998	96.0	96.0	29.9	9.7	0.0	34.7	0.0	0.0	0.0	2.2	53.9	0.0
1999	90.9	177.8	151.4	62.1	3.4	0.0	0.0	0.0	23.6	22.2	0.0	42.4
2000	208.6	99.4	95.8	6.2	1.5	0.7	0.0	9.6	2.0	24.6	0.0	90.2
2001	317.3	226.5	92.1	16.5	0.0	4.6	0.4	5.6	1.8	10.7	22.7	37.9
2002	85.7	129.5	130.0	51.8	22.5	12.8	15.4	1.3	0.4	18.4	46.3	40.9
2003	127.7	143.6	143.5	9.2	4.6	0.0	5.3	5.8	2.7	3.7	2.8	94.1
2004	139.4	162.3	64.7	0.0	0.0	0.0	46.6	46.8	0.0	1.8	9.1	18.3
2005	123.6	259.1	68.8	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	27.8	21.0	175.9
2006	257.6	81.8	57.8	18.3	2.0	0.0	0.0	0.9	2.1	26.3	9.8	125.1
2007	150.1	37.1	147.9	30.0	0.0	0.0	0.0	0.9	7.5	17.0	32.9	84.1
2008	175.8	136.4	99.2	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	13.5	0.0	143.4
2009	47.1	153.4	56.7	12.4	0.0	0.0	17.2	0.0	15.2	14.7	63.5	59.8
2010	122.0	139.0	97.9	37.6	21.8	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	2.9	125.4
2011	89.3	170.8	95.9	15.3	10.2	0.0	7.9	7.9	1.6	6.6	0.0	222.8
2012	131.9	206.3	129.6	68.5	0.4	0.0	0.0	1.4	11.6	12.1	21.0	137.1
2013	171.4	159.6	29.0	0.0	22.5	24.2	0.0	25.1	2.1	84.4	12.5	162.8
2014	149.6	50.3	16.8	5.7	0.0	0.0	0.0	10.2	35.8	20.1	16.6	57.1
2015	166.9	127.5	78.3	69.8	5.0	0.0	0.0	8.8	11.4	32.5	31.8	27.2
2016	52.7	204.9	20.9	96.5	0.0	4.8	3.8	0.8	4.1	11.2	13.2	89.6



**Tabla 32.** Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Mazocruz.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	101.0	268.2	28.4	25.2	0.0	2.9	0.0	9.1	1.2	19.5	93.5	103.6
1972	210.8	130.9	164.0	37.2	6.6	0.0	0.0	0.0	37.3	32.6	46.1	132.6
1973	238.2	131.7	159.1	97.6	13.3	0.0	1.8	6.1	32.5	16.4	29.8	70.8
1974	253.0	206.8	54.9	57.6	0.2	2.5	0.2	51.2	36.5	12.5	27.3	48.1
1975	157.2	177.6	158.6	37.5	43.7	0.7	0.1	6.5	48.7	53.3	24.7	235.2
1976	200.2	149.5	169.2	25.6	9.9	0.4	1.4	16.9	44.4	9.1	11.6	119.8
1977	49.1	206.1	209.8	5.8	8.8	0.0	2.3	0.0	48.1	53.9	49.7	108.8
1978	224.5	95.3	136.3	28.3	0.4	0.0	3.2	0.4	17.5	24.9	143.7	155.0
1979	131.2	35.2	143.1	44.1	1.4	0.0	0.9	1.8	8.5	45.5	31.7	83.9
1980	60.8	57.3	258.4	18.5	1.3	0.1	4.9	13.5	66.1	72.8	25.8	34.9
1981	133.9	207.3	111.3	68.9	4.7	0.0	0.0	37.8	21.1	25.6	49.0	129.0
1982	232.1	83.5	99.7	75.0	2.6	5.2	1.9	0.0	52.6	114.4	103.0	24.5
1983	20.7	70.4	57.6	55.5	14.2	2.3	1.5	4.8	46.4	26.7	29.8	104.2
1984	318.9	86.2	223.0	44.4	18.3	4.2	3.7	25.7	0.0	157.5	73.8	96.2
1985	130.0	337.6	12.3	90.7	24.9	27.3	0.0	8.2	40.1	32.7	123.5	134.2
1986	145.1	251.1	221.2	105.8	0.1	0.0	5.2	8.4	42.0	4.2	9.2	131.6
1987	224.3	71.5	73.8	44.2	1.7	3.8	12.5	0.0	4.3	58.4	110.8	25.4
1988	213.4	73.5	228.9	72.9	23.3	0.0	0.3	0.0	20.5	70.5	46.2	99.1
1989	203.8	130.0	137.1	100.9	0.0	0.4	1.7	14.7	17.6	14.2	21.4	42.9
1990	167.2	22.4	59.9	43.0	12.1	54.7	0.0	11.8	10.1	107.9	91.7	63.0
1991	124.1	67.7	185.8	46.2	6.8	33.6	0.0	3.0	14.7	20.4	44.2	50.3
1992	66.0	89.7	15.7	38.8	0.0	0.5	2.3	42.2	0.0	34.4	29.4	55.1
1993	175.6	100.7	107.0	52.5	6.6	1.1	0.0	37.9	18.0	69.1	79.2	111.5
1994	180.0	183.1	113.3	116.2	29.9	0.4	0.0	0.0	18.3	36.6	52.6	73.2
1995	122.7	102.9	124.0	2.1	4.1	0.0	0.0	3.0	21.9	15.3	50.3	80.2
1996	252.7	130.5	60.8	76.3	0.0	0.0	2.9	12.8	0.8	10.4	88.3	118.0
1997	239.6	213.2	98.6	88.6	0.9	0.0	0.0	21.9	108.2	30.1	62.9	44.9
1998	196.4	115.5	135.3	25.4	0.0	4.9	0.0	4.3	4.5	26.9	43.9	58.0
1999	193.7	244.5	202.0	86.0	7.5	0.0	1.5	1.9	16.1	150.3	32.0	68.4
2001	248.7	214.6	224.1	69.8	12.2	2.2	0.0	12.5	27.1	68.4	46.2	81.0
2002	129.6	180.0	170.6	105.3	15.4	21.1	22.7	30.6	11.6	65.9	43.8	112.2
2003	174.5	114.4	113.4	46.1	36.7	4.8	0.2	9.6	42.9	25.4	14.3	131.8
2004	208.9	125.2	115.5	29.2	6.2	0.0	10.2	43.0	34.3	5.6	41.2	59.1
2005	103.3	157.9	134.6	45.7	0.4	0.0	0.0	0.0	11.8	39.5	80.5	100.8
2006	291.1	64.3	159.6	44.6	0.9	0.0	0.0	0.6	21.2	37.4	53.8	101.5
2007	84.8	171.0	236.7	49.7	10.6	0.0	3.3	1.6	61.3	77.0	44.2	74.1
2008	209.7	85.8	95.0	8.4	6.8	1.4	0.2	0.8	2.4	79.4	27.2	144.2
2009	154.0	136.1	148.3	83.0	0.4	0.0	2.5	0.0	16.4	56.4	88.9	62.5
2010	99.3	192.8	56.3	12.3	16.1	0.0	0.0	7.1	2.9	33.4	15.0	146.7
2011	121.6	153.6	46.6	47.7	5.8	0.0	3.2	0.0	12.4	0.4	37.6	171.6
2012	183.0	174.4	87.1	73.8	0.2	0.0	0.4	3.4	0.9	7.6	36.0	142.6
2013	152.4	166.0	49.4	1.8	22.4	8.2	4.0	8.0	2.6	65.8	18.0	141.8
2014	160.5	28.2	37.0	18.1	0.0	0.0	0.0	15.0	24.6	33.0	47.8	57.4
2015	142.4	101.6	103.0	61.5	1.2	0.0	2.0	14.4	9.0	38.0	39.0	18.8
2016	33.8	174.8	26.0	72.0	0.0	8.8	4.6	0.0	4.0	9.9	11.0	39.4



**Tabla 33.** Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Ichuña.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	123.7	235.3	83.8	26.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	24.3	85.0
1972	142.5	100.0	124.6	6.6	1.2	0.0	0.0	0.0	47.3	11.6	20.9	214.4
1973	208.7	120.3	89.7	53.5	2.0	0.0	0.0	6.2	31.2	0.0	2.1	33.2
1974	231.1	131.8	49.1	44.4	1.0	10.2	0.0	84.0	5.2	3.3	4.0	78.9
1975	160.0	145.4	84.7	5.6	7.9	2.2	0.0	0.0	3.6	10.6	9.7	173.3
1976	140.9	132.3	69.2	31.5	6.2	0.0	6.6	12.5	33.9	0.0	0.0	69.8
1977	97.9	198.7	101.7	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	42.4	110.1	66.5
1978	155.3	12.5	40.2	65.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	55.9	115.8
1979	141.8	47.5	85.8	23.4	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	20.2	54.7	95.2
1980	39.8	40.7	104.5	10.0	0.1	0.0	0.0	0.0	15.3	74.7	13.5	23.4
1981	120.3	288.7	42.8	52.9	0.0	0.0	0.0	12.3	22.8	13.8	16.7	109.3
1982	189.7	33.2	50.0	36.1	0.0	0.0	0.0	3.4	21.7	54.6	64.9	14.7
1983	29.7	33.2	42.0	20.6	3.5	0.0	0.0	0.5	5.7	9.1	0.0	101.7
1984	217.2	168.6	47.9	13.2	0.0	7.1	0.0	6.0	0.0	70.2	141.3	82.3
1985	69.7	198.4	74.8	56.8	17.4	7.6	2.2	2.1	19.4	4.8	65.7	62.8
1986	181.2	155.8	155.4	69.7	5.2	0.0	24.1	3.4	3.1	0.0	10.9	104.7
1987	260.3	65.9	29.6	0.0	0.0	2.5	25.3	0.0	0.0	4.4	28.5	8.3
1988	131.2	23.9	81.4	36.9	12.4	0.0	0.0	0.0	3.6	14.2	0.0	72.1
1989	124.8	60.2	65.1	24.9	6.7	8.4	4.6	0.0	9.2	3.5	11.5	18.4
1990	111.4	32.6	48.3	20.1	10.8	42.9	0.0	8.9	0.0	22.0	73.2	46.1
1991	72.5	74.7	116.4	16.1	1.3	23.6	0.0	0.0	3.3	10.5	10.2	29.1
1992	84.5	29.0	2.5	8.2	0.0	4.0	0.0	20.3	0.0	16.7	11.8	59.9
1993	215.8	37.0	137.0	28.6	0.0	7.1	0.0	15.4	2.1	32.0	77.7	74.3
1994	165.3	234.8	92.3	106.4	4.8	0.0	0.0	0.0	2.1	0.3	41.8	103.8
1995	85.2	67.5	111.2	17.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.9	25.7	81.6
1996	245.7	139.9	54.4	31.9	8.9	0.0	0.0	22.9	2.1	7.5	37.0	67.6
1997	145.9	200.7	27.8	33.7	8.5	0.0	0.0	41.3	41.9	14.1	47.3	54.9
1998	192.3	94.0	50.5	8.6	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	2.6	55.6	27.5
1999	62.0	214.3	183.1	54.4	1.3	0.0	0.0	4.7	0.5	45.0	1.0	68.0
2000	198.4	142.7	54.4	21.1	3.1	0.0	0.0	4.7	0.0	30.0	5.1	118.4
2001	233.6	195.3	116.0	38.9	4.1	0.0	0.5	6.7	2.6	23.4	29.3	83.1
2002	73.6	176.6	180.8	44.0	7.0	0.5	18.3	0.6	7.1	45.2	44.6	80.6
2003	76.2	120.7	100.2	27.1	3.2	0.0	0.0	4.1	0.0	14.6	1.7	63.3
2004	139.1	123.7	79.4	51.9	0.0	0.0	14.9	9.4	18.2	0.0	14.0	48.2
2005	114.1	168.6	58.6	27.1	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7	4.7	27.4	77.0
2006	186.2	82.8	110.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	10.9	59.5	91.9
2007	143.7	55.4	145.1	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	9.4	29.6	95.0
2008	174.2	92.1	67.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	5.7	0.0	136.5
2009	73.4	161.6	48.6	36.9	1.2	0.0	13.6	0.0	26.5	7.6	60.9	86.4
2010	129.8	191.0	30.5	38.7	10.5	0.0	1.7	0.0	0.0	8.6	5.2	167.6
2011	155.8	205.7	77.4	62.3	1.2	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	33.2	114.0
2012	220.6	243.7	151.5	76.2	15.1	0.0	0.0	0.0	4.0	9.7	26.9	148.7
2013	146.5	118.3	80.6	2.4	17.0	10.1	8.3	15.3	0.0	51.4	26.8	116.3
2014	156.1	40.7	70.1	38.9	1.6	0.0	0.0	11.2	16.0	18.8	19.4	29.1
2015	142.8	94.2	121.6	88.7	0.0	0.0	5.7	15.9	10.0	13.7	44.3	20.0
2016	42.7	187.6	36.3	61.5	0.0	5.0	4.0	1.2	6.8	7.2	9.0	55.2



**Tabla 34.** Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Chilligua.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1969	110.9	70.8	12.1	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	4.4	14.2	47.4	53.2
1970	141.6	122.3	137.0	35.7	10.0	0.0	0.0	0.0	8.2	31.2	21.2	149.5
1971	156.1	198.1	93.2	33.1	3.4	1.4	0.0	0.0	0.0	7.1	39.2	127.3
1972	241.5	208.1	147.6	2.5	0.0	0.0	1.6	0.0	12.8	26.6	65.2	84.4
1973	209.6	136.3	149.4	58.8	14.1	0.0	2.0	9.6	15.2	0.0	5.4	21.9
1974	235.8	227.7	48.7	17.9	0.0	0.0	0.0	72.0	0.0	0.0	0.0	39.2
1975	160.0	229.1	141.1	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.8	3.0	16.9	154.4
1976	267.2	160.2	81.8	13.8	3.5	0.0	6.5	29.6	13.5	0.0	1.8	67.0
1977	50.1	198.2	147.9	13.8	6.8	0.0	0.0	0.0	21.8	21.2	89.8	90.8
1978	231.8	52.7	77.2	38.1	0.0	0.0	11.8	10.4	5.9	5.9	80.5	90.2
1979	161.1	89.9	93.2	22.6	0.0	0.0	9.3	4.8	0.0	19.9	0.7	72.6
1980	37.8	41.9	154.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	24.8	65.4	16.3	44.7
1981	187.5	184.9	65.8	13.0	0.0	0.0	0.0	37.5	14.1	33.3	22.2	80.2
1982	238.1	58.1	135.1	44.4	8.3	2.2	0.0	0.0	61.8	93.6	82.4	36.1
1983	33.8	25.7	4.0	5.5	0.0	3.1	0.0	5.8	17.5	0.0	31.4	124.7
1984	420.7	273.1	120.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	135.4	158.3	92.1
1985	170.8	302.2	115.2	87.7	19.3	23.4	0.0	15.1	29.1	12.7	89.1	163.0
1986	145.5	141.0	202.4	103.0	10.2	0.0	9.0	10.6	3.4	5.2	52.4	169.9
1987	208.7	26.6	25.2	15.6	0.0	3.5	24.5	0.0	12.7	60.3	61.9	18.2
1988	212.1	45.7	148.7	94.3	7.9	0.0	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	68.5
1989	135.1	89.1	124.9	32.5	18.7	7.7	8.1	14.1	11.5	5.2	22.3	31.8
1990	150.8	25.5	38.8	40.5	12.5	30.6	0.0	21.4	7.7	74.6	79.2	108.2
1991	89.6	63.6	122.9	44.3	6.0	19.2	6.8	3.2	21.4	40.6	17.3	57.9
1992	137.5	45.2	18.6	20.1	1.6	4.6	4.5	59.7	0.8	72.3	47.1	89.6
1993	95.3	106.8	173.1	55.9	13.1	1.4	0.0	39.7	21.1	80.0	75.2	97.6
1994	134.8	188.0	131.4	72.5	13.8	0.9	3.1	1.7	4.7	37.6	81.7	126.9
1995	98.3	118.7	105.4	14.6	7.5	2.2	0.0	1.9	18.0	21.4	42.5	109.7
1996	198.3	129.9	65.3	51.8	0.0	0.0	0.0	20.0	5.3	11.5	67.1	110.2
1997	180.2	174.1	96.6	37.9	0.0	0.0	0.0	47.0	66.5	33.0	91.2	81.0
1998	131.4	103.3	44.0	13.3	0.0	24.6	0.0	0.6	1.3	15.2	58.0	24.0
1999	110.8	232.8	259.6	69.1	6.2	1.8	0.0	0.0	7.6	69.4	11.5	112.3
2000	300.1	174.9	86.7	21.7	7.6	3.3	0.0	16.1	3.9	58.1	5.7	82.1
2001	343.5	208.5	174.2	27.1	3.1	0.0	6.0	19.7	2.0	42.2	25.7	42.1
2002	87.9	202.3	122.1	63.9	22.8	10.7	24.1	11.2	6.1	57.7	61.3	90.6
2003	136.8	157.9	152.3	6.2	8.0	0.0	4.6	16.6	18.7	11.8	8.2	108.3
2004	225.0	161.1	77.3	15.7	0.0	5.3	42.5	64.4	20.7	0.0	16.2	86.8
2005	83.4	164.0	58.2	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	46.3	40.4	60.0	191.7
2006	238.2	123.9	124.0	52.4	2.8	1.6	0.0	7.8	20.4	35.5	55.9	63.6
2007	101.9	94.3	153.2	33.4	2.3	0.3	2.8	1.6	19.6	29.9	37.6	87.9
2008	211.7	89.3	71.5	5.8	1.3	0.5	1.2	5.7	0.7	34.5	7.2	132.9
2009	93.6	137.4	85.4	46.2	0.3	0.0	7.5	0.0	24.3	29.4	85.9	74.0
2010	150.1	141.3	60.5	30.1	17.6	0.0	0.3	4.1	1.4	37.6	6.0	123.4
2011	129.1	189.6	105.4	32.7	5.8	0.1	7.0	1.5	19.8	15.1	33.3	168.2
2012	162.5	241.7	154.7	61.9	2.6	0.2	0.3	5.1	10.0	17.8	37.1	171.1
2013	158.3	154.6	62.3	5.7	19.3	11.2	8.2	14.0	3.1	72.9	26.8	136.9
2014	175.1	61.2	48.9	21.9	1.3	0.5	1.0	27.1	44.5	52.9	28.3	63.4



**Tabla 35. Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Laraqueri.**

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	138.5	252.8	52.2	25.0	2.1	1.3	0.0	3.1	0.0	4.3	56.2	129.6
1972	230.2	197.8	111.7	16.3	3.6	0.0	0.0	0.0	29.6	49.7	51.0	170.3
1973	195.9	123.7	129.7	46.7	18.7	0.0	5.0	12.2	55.7	10.9	26.7	85.2
1974	274.1	245.8	100.5	51.0	0.0	1.1	0.0	57.4	20.0	12.1	16.5	74.5
1975	153.1	258.0	112.4	23.5	31.7	3.1	0.0	8.1	21.7	61.8	43.1	260.8
1976	355.5	135.4	218.3	40.8	18.4	0.0	27.6	29.8	64.4	14.6	11.0	84.6
1977	66.8	191.0	148.3	7.0	5.3	0.0	0.0	0.0	21.1	55.6	88.3	126.4
1978	209.0	147.5	101.9	43.1	0.0	0.0	18.6	1.5	15.2	8.4	153.1	109.2
1979	190.2	115.0	125.6	22.3	0.0	1.2	9.3	1.7	5.0	29.7	53.5	56.5
1980	239.5	58.4	229.5	8.0	0.0	0.0	4.0	15.7	40.2	87.5	30.1	244.1
1981	244.1	277.0	125.5	54.0	1.9	0.0	0.0	30.2	32.4	18.0	22.5	161.5
1982	157.3	88.9	85.2	26.9	0.0	0.0	0.0	4.3	36.7	64.6	88.1	23.5
1983	97.8	78.1	18.7	8.4	0.0	1.6	0.0	0.5	17.1	13.4	15.8	77.8
1984	321.2	232.1	220.8	38.8	18.7	33.6	0.0	17.6	1.8	67.8	156.9	115.6
1985	135.2	190.9	105.3	140.6	24.4	13.4	0.0	0.0	44.0	7.8	148.7	204.2
1986	159.3	283.3	238.3	100.7	8.4	0.2	0.0	9.4	11.7	1.8	43.7	151.2
1987	280.9	77.1	74.3	26.2	0.0	0.0	36.5	6.5	8.6	23.5	57.0	28.5
1988	199.5	45.1	179.1	130.7	9.6	2.5	0.0	0.0	5.9	44.6	13.2	101.4
1989	225.5	130.9	129.0	77.3	3.5	5.3	2.4	5.4	4.8	0.0	26.1	44.6
1990	135.7	36.7	80.8	11.0	15.3	55.3	0.0	15.7	9.5	99.4	141.5	128.5
1991	130.1	131.0	148.2	27.6	2.9	43.6	0.0	0.6	21.8	28.5	30.1	64.0
1992	120.7	100.0	59.5	39.5	0.0	3.9	15.8	31.9	0.0	61.9	48.9	102.1
1993	206.4	66.2	133.8	61.0	14.1	1.5	0.0	34.6	18.3	123.4	126.8	176.9
1994	206.8	197.2	148.8	110.0	14.8	1.5	1.5	0.0	5.9	8.7	74.3	140.1
1995	140.5	205.5	150.2	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	3.4	59.3	171.0
1996	277.3	127.4	0.0	52.6	20.2	0.0	0.0	52.0	12.0	4.7	96.3	97.5
1997	187.9	240.2	114.6	29.3	1.0	0.0	0.0	21.8	94.9	22.6	122.0	49.9
1998	87.7	94.3	88.8	31.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	28.3	44.0	25.1
1999	132.7	170.7	240.7	73.9	19.5	0.0	0.0	11.9	6.7	92.5	1.1	71.1
2000	250.3	236.7	126.3	12.5	5.3	1.4	0.0	10.1	6.5	66.7	7.1	139.5
2001	368.5	267.6	139.4	78.2	13.1	0.0	3.5	4.7	12.1	24.5	44.5	67.8
2002	68.9	214.8	163.0	74.8	22.6	4.6	25.9	15.0	10.9	44.3	68.9	63.0
2003	148.6	123.4	124.0	28.2	12.6	0.0	0.0	5.6	19.1	6.1	24.3	128.4
2004	228.3	146.8	71.8	22.5	0.0	1.8	11.1	43.9	6.1	0.0	14.1	61.4
2005	115.1	280.3	79.3	42.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.1	39.0	37.5	127.8
2006	240.8	96.5	88.3	32.7	6.3	3.4	0.0	12.9	34.0	18.7	53.5	68.6
2007	109.3	96.8	168.9	48.0	4.9	0.0	0.0	11.0	45.8	57.8	71.4	110.6
2008	190.9	105.0	73.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	2.3	35.9	15.6	143.5
2009	71.4	173.4	107.9	67.2	0.0	0.0	5.1	0.0	11.1	15.0	86.7	102.1
2010	165.0	187.4	41.4	40.6	19.0	0.0	4.4	2.6	3.4	34.3	4.1	144.8
2011	155.0	239.9	120.8	48.3	3.4	0.0	5.3	0.2	9.6	35.7	47.3	202.3
2012	203.9	286.7	160.5	94.9	0.6	0.0	0.5	9.2	15.5	18.1	69.3	229.7
2013	247.1	175.0	66.9	23.8	6.3	26.9	18.7	17.2	0.9	17.5	7.2	191.7
2014	181.5	91.3	54.1	29.8	0.5	0.0	2.8	23.5	62.9	60.4	35.5	77.2
2015	160.1	92.4	144.1	128.4	3.5	0.0	6.8	7.9	15.2	45.0	56.1	51.9
2016	96.0	187.7	23.1	87.9	0.0	3.0	9.0	5.5	0.0	53.5	23.3	64.3



**Tabla 36.** Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Juli.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	166.8	345.9	71.0	74.9	0.0	2.3	0.0	11.5	0.0	29.5	98.9	134.9
1972	288.9	221.0	169.2	17.8	12.9	2.7	3.8	1.6	26.9	13.4	50.0	148.5
1973	271.4	189.9	145.4	109.2	3.0	0.0	8.1	17.1	44.6	45.4	30.9	68.6
1974	269.0	357.9	60.3	193.2	55.6	4.2	0.2	101.2	22.5	32.6	29.4	38.9
1975	184.3	266.3	156.7	16.6	44.0	9.7	0.0	12.1	36.0	95.9	35.7	280.1
1976	331.2	201.2	136.3	21.0	44.0	1.0	2.4	43.6	63.4	9.5	5.9	51.1
1977	91.9	275.2	222.5	5.4	0.0	0.0	14.5	0.0	57.6	66.4	62.8	114.9
1978	250.9	99.2	117.5	19.7	0.0	0.0	4.0	8.7	22.9	0.9	88.2	147.4
1979	197.2	117.3	229.1	80.4	2.2	0.0	14.1	2.2	4.1	47.1	115.5	133.1
1980	190.3	91.4	253.2	3.4	2.4	1.4	11.9	33.7	101.0	49.2	26.2	134.8
1981	126.7	212.5	106.2	55.2	18.3	7.8	1.3	4.2	18.8	29.0	40.4	113.3
1982	166.4	239.2	137.0	60.4	18.9	8.4	0.2	9.9	26.3	23.8	36.7	120.8
1983	202.5	245.4	128.7	55.3	10.8	9.2	1.8	15.0	24.6	25.9	49.2	107.0
1984	219.5	242.0	119.4	61.1	14.9	1.9	3.0	19.2	26.4	34.8	39.7	129.6
1985	128.8	304.8	162.6	110.1	34.1	26.8	0.0	22.3	89.7	13.3	164.2	163.3
1986	131.5	260.1	171.7	107.0	4.3	0.0	3.6	37.3	15.2	29.8	23.4	139.5
1987	296.3	70.3	82.6	37.3	5.5	8.7	19.2	1.3	18.6	64.2	155.4	43.7
1988	300.3	70.4	249.5	124.0	9.0	0.2	1.0	0.0	22.6	58.7	27.3	96.2
1989	160.2	176.5	195.1	11.3	16.4	3.8	6.3	17.3	18.1	3.7	45.0	58.4
1990	192.0	50.8	51.4	47.7	13.6	48.5	0.0	18.9	19.9	69.3	64.3	173.7
1991	147.1	101.8	152.8	70.8	10.1	31.5	3.5	0.6	11.8	49.8	30.9	74.0
1993	219.6	88.2	185.2	30.8	7.6	2.9	0.0	35.1	21.1	73.0	122.0	69.8
1994	186.5	149.1	109.5	55.4	11.7	5.9	1.6	0.8	7.1	4.3	69.2	165.3
1995	128.9	105.9	134.5	19.9	6.1	0.0	0.6	7.2	17.8	26.7	71.6	117.2
1996	195.5	127.0	137.3	32.3	18.8	0.0	9.1	38.0	4.5	26.6	77.2	101.6
1997	264.1	220.8	162.3	66.1	11.1	0.0	0.0	64.0	79.7	36.2	79.2	54.0
1998	132.4	77.3	150.6	62.0	0.0	13.6	0.0	0.0	12.3	75.4	66.0	51.3
1999	158.7	278.2	309.8	61.5	28.4	2.2	3.1	1.9	58.1	130.3	18.5	94.0
2000	275.3	236.3	138.4	16.7	10.9	14.3	0.6	17.0	1.2	62.2	1.9	119.5
2001	324.0	251.9	239.6	57.4	7.9	1.9	12.7	30.9	18.8	67.7	13.8	116.2
2002	145.8	216.8	239.1	134.2	8.6	16.5	42.4	10.9	3.7	39.4	37.4	107.1
2003	229.7	142.7	304.8	39.3	23.4	0.0	5.9	12.6	42.6	24.6	25.6	89.6
2004	322.0	115.8	68.4	54.9	11.6	2.0	34.0	49.9	25.3	11.1	25.7	126.3
2005	139.1	189.2	78.7	29.5	1.5	0.0	0.0	1.0	24.7	61.2	54.0	164.2
2006	347.2	196.8	174.1	44.6	7.1	3.3	0.0	2.3	13.9	43.5	113.6	93.9
2007	99.1	136.4	231.3	99.6	6.6	1.2	8.3	5.1	30.4	44.4	30.3	156.9
2008	284.7	109.5	88.7	44.4	0.8	2.5	1.2	0.5	0.7	52.0	15.9	177.3
2009	161.7	210.5	170.1	77.0	0.0	0.0	6.6	0.0	54.0	34.0	125.9	128.5
2010	236.2	217.6	107.0	25.1	42.5	0.0	5.3	9.1	4.2	17.6	13.1	117.0
2011	254.1	288.1	216.6	45.3	6.4	0.0	12.0	3.6	56.0	21.8	60.7	284.6
2012	224.9	339.6	239.7	79.0	0.0	1.2	1.3	1.5	5.4	17.7	33.2	241.0
2013	166.0	210.5	110.9	12.2	33.7	40.4	9.1	10.2	2.1	73.0	59.4	165.0
2014	278.8	103.5	67.3	40.0	5.7	0.0	2.0	39.2	69.8	44.8	47.3	87.5
2015	266.2	167.9	220.8	161.8	0.4	0.2	16.7	15.6	34.9	29.2	20.7	73.0
2016	114.8	251.8	6.7	80.9	4.1	3.1	4.5	5.4	7.6	50.5	51.1	125



**Tabla 37.** Precipitación total mensual (mm) - estación Ilave.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	117.8	217.3	42.5	47.2	1.8	10.1	0.1	20.3	0.0	18.4	72.2	110.5
1972	227.2	120.2	85.9	21.7	0.0	0.0	6.4	4.5	27.7	15.7	28.6	122.4
1973	269.3	146.8	163.9	83.5	12.2	0.0	9.9	20.1	40.6	29.1	23.4	47.9
1974	211.0	288.8	60.0	49.0	0.0	4.0	0.0	107.1	10.0	35.0	15.0	66.0
1975	162.0	191.1	150.0	23.0	37.0	27.0	0.0	10.0	41.0	62.0	9.0	202.0
1976	241.0	150.0	101.0	25.0	11.8	3.0	1.0	47.0	68.0	0.0	6.0	78.0
1977	87.0	156.0	232.0	4.0	1.3	0.0	15.6	2.8	58.4	39.4	104.8	76.9
1978	211.0	128.7	81.4	23.0	0.0	0.0	5.1	11.4	28.6	8.7	124.5	10.0
1979	198.4	196.9	76.9	53.7	6.8	7.1	0.0	31.5	14.8	26.4	19.2	118.6
1980	195.7	189.1	90.3	46.9	7.2	6.6	3.7	30.2	21.8	26.3	29.4	108.1
1981	194.4	185.2	96.9	43.5	7.4	6.3	3.9	29.6	25.1	26.2	34.4	103.0
1982	193.7	183.2	100.4	41.8	7.5	6.1	4.0	29.3	26.9	26.2	37.1	100.3
1983	193.3	182.0	102.3	40.8	7.6	6.0	4.0	29.1	28.0	26.2	38.6	98.8
1984	282.0	284.1	179.8	28.5	16.6	9.2	3.0	12.6	1.0	94.4	73.9	45.8
1985	134.4	287.6	144.8	69.8	29.2	23.0	0.0	11.4	65.2	49.4	196.6	181.0
1986	162.3	261.1	194.3	111.3	5.8	0.0	3.4	4.3	20.3	13.9	45.5	133.7
1987	227.6	80.1	69.5	29.5	1.1	7.3	19.1	4.8	20.2	46.1	89.3	18.0
1988	158.7	53.3	169.8	101.3	13.7	0.4	2.0	0.0	19.8	36.5	9.0	71.4
1989	214.8	113.2	142.0	91.3	0.3	3.6	7.8	9.6	30.6	14.2	18.1	50.9
1990	151.2	39.1	59.5	48.9	25.0	67.7	0.0	15.5	7.4	65.9	101.1	127.8
1991	74.2	75.2	115.1	50.6	20.0	43.4	6.4	4.0	14.2	45.5	17.3	63.4
1992	151.9	88.8	29.7	8.2	0.0	1.6	1.4	55.5	2.4	38.8	57.8	45.1
1993	191.7	36.7	125.3	65.3	1.5	1.0	0.0	45.3	20.0	23.8	55.3	94.2
1994	129.4	126.7	100.2	58.1	14.8	0.0	0.0	0.0	5.2	10.8	39.5	117.1
1995	112.9	80.2	138.3	14.6	5.7	1.4	0.0	4.2	9.6	11.2	47.5	113.4
1996	245.6	141.1	34.3	31.5	2.0	0.0	7.2	30.5	12.0	9.5	83.2	86.3
1997	288.0	190.8	124.7	60.7	1.4	0.0	0.0	61.7	96.1	27.1	91.7	50.2
1998	97.3	112.6	54.7	59.9	0.0	13.0	0.0	0.1	4.6	41.0	47.1	41.1
1999	107.1	153.8	223.4	89.7	14.9	0.6	1.5	3.9	21.0	123.3	17.9	62.3
2000	269.9	161.1	135.6	14.4	4.9	4.4	9.3	6.4	3.2	51.5	1.0	109.8
2001	298.9	231.8	162.2	44.1	2.5	0.1	15.0	23.9	12.2	58.0	33.8	106.9
2002	108.2	242.7	228.5	156.8	20.9	19.8	43.6	15.2	10.7	69.8	80.7	108.0
2003	168.1	78.9	172.0	14.5	24.3	0.5	0.0	10.3	52.2	14.1	17.9	89.3
2004	286.1	132.5	52.6	19.4	10.2	1.6	22.1	38.3	15.9	2.0	22.4	63.2
2005	125.1	142.5	78.7	23.6	8.3	0.0	0.0	0.0	26.2	58.7	55.7	88.5
2006	335.4	80.1	138.3	30.8	3.2	3.0	0.0	8.9	27.7	25.6	99.6	86.5
2007	92.9	61.8	212.4	66.2	2.5	2.1	7.8	5.2	41.5	27.5	30.6	87.1
2008	245.1	94.7	68.5	17.0	1.8	1.4	7.2	3.2	1.4	53.7	0.6	146.2
2009	105.1	126.7	81.7	57.5	0.0	0.0	8.2	0.0	40.5	35.2	158.0	57.4
2010	212.9	117.5	64.4	42.0	37.2	0.0	0.0	8.7	1.2	39.0	7.8	125.9
2011	181.5	165.8	152.6	5.6	4.0	0.0	11.0	0.0	23.1	22.6	16.0	128.9
2012	115.0	248.4	179.6	43.5	0.0	1.2	0.0	4.2	12.4	7.5	46.3	252.6
2013	142.4	152.1	39.3	13.4	33.7	18.3	7.2	6.5	2.5	46.0	19.1	173.6
2014	210.4	77.7	36.0	18.6	0.2	0.0	3.3	29.2	120.5	30.7	20.1	23.5
2015	122.6	135.0	164.2	91.5	11.6	0.0	6.1	9.2	34.5	31.7	12.9	69.6
2016	96.7	177.0	2.8	63.2	3.4	2.2	11.4	3.8	2.4	32.0	8.2	107.3



**Tabla 38.** Precipitación total mensual (mm) - estación Rincon de la Cruz.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	164.7	227.3	90.1	33.9	1.8	2.7	0.0	5.9	0.1	13.7	78.3	115.3
1972	250.5	124.3	167.9	17.6	5.3	0.5	2.0	0.5	37.9	59.4	56.8	122.4
1973	244.5	134.0	143.4	83.7	18.8	1.1	3.5	13.5	50.5	27.1	24.8	45.5
1974	294.4	215.1	73.9	51.3	10.9	4.6	0.1	73.0	12.9	20.8	28.4	54.9
1975	166.1	202.6	146.7	17.3	33.1	7.6	0.0	4.6	25.6	68.8	20.2	181.0
1976	275.2	129.6	117.6	20.4	17.5	0.6	5.3	24.0	50.5	6.2	4.5	67.9
1977	81.6	189.8	184.3	6.3	5.6	0.0	4.3	0.2	30.1	63.2	115.0	90.7
1978	230.2	78.5	103.9	58.2	0.1	0.0	4.9	4.3	10.0	9.5	133.5	115.1
1979	186.0	59.9	151.8	25.3	0.7	0.2	4.7	2.1	2.3	64.3	46.0	83.9
1980	114.0	58.9	219.2	17.6	7.4	1.6	3.5	9.5	38.5	118.5	32.9	66.0
1981	168.8	202.7	126.7	43.3	7.0	0.9	0.1	17.4	19.2	35.7	38.9	116.3
1982	242.0	92.7	109.9	38.6	7.0	2.8	0.8	2.4	40.9	146.4	101.8	33.8
1983	69.4	62.2	45.5	29.6	10.5	2.9	1.6	3.5	22.7	30.7	27.7	84.3
1984	306.8	261.4	191.2	20.1	10.9	10.9	1.5	8.7	3.1	192.9	148.8	89.3
1985	230.7	309.0	171.5	63.2	71.4	67.7	2.3	19.5	60.6	42.6	208.9	193.3
1986	163.7	219.4	188.1	132.8	8.8	0.0	0.2	14.9	5.5	32.9	17.5	84.1
1987	206.5	87.2	74.6	21.2	3.5	9.3	9.0	0.2	0.0	32.4	108.0	50.9
1988	197.4	51.2	219.2	96.0	13.2	0.0	3.4	0.0	39.4	10.0	21.9	90.8
1989	201.7	173.9	142.6	82.9	0.0	0.0	2.8	14.2	37.0	19.3	26.0	45.3
1990	101.1	56.5	54.8	11.0	12.3	67.6	0.0	16.4	13.1	134.5	27.8	131.4
1991	104.9	43.8	270.6	71.0	14.6	43.5	7.7	9.9	13.7	45.7	49.2	60.2
1992	122.9	84.9	63.8	45.0	0.0	3.0	3.2	35.7	3.0	23.2	58.4	45.5
1993	178.9	29.7	109.1	37.4	6.5	0.5	0.0	37.9	27.5	51.1	82.4	70.9
1994	117.4	103.2	80.7	84.4	17.8	0.5	0.0	0.5	1.6	30.8	62.1	192.4
1995	112.0	113.9	170.9	5.2	6.3	0.0	0.1	1.5	13.7	12.3	70.9	136.9
1997	227.0	158.4	105.2	55.8	6.7	0.0	0.0	40.3	87.1	47.4	91.2	53.1
1998	103.3	161.3	46.3	45.3	0.0	2.5	0.0	0.7	3.2	5.6	53.4	34.9
1999	217.9	214.8	275.0	69.2	5.1	0.0	0.0	1.5	37.8	190.3	36.8	79.4
2000	239.5	164.3	134.6	28.8	2.8	6.5	5.8	20.2	7.4	99.8	7.3	123.3
2001	356.0	222.9	202.1	65.2	9.6	3.2	10.5	19.3	15.8	58.0	33.8	96.0
2002	108.2	240.7	220.5	148.8	20.9	19.8	42.0	13.2	10.7	62.8	80.7	106.0
2003	165.1	78.9	168.5	14.8	23.4	0.5	0.0	10.3	53.6	14.8	18.2	87.3
2004	284.1	135.5	50.6	20.2	10.8	2.0	19.8	37.5	15.2	2.5	21.4	62.3
2005	123.1	145.5	75.7	21.6	8.8	0.0	0.0	0.0	25.2	56.5	57.5	89.2
2006	328.3	81.2	136.2	32.8	3.2	3.0	0.0	8.9	28.7	26.5	74.6	81.3
2007	87.4	113.4	107.0	29.4	0.0	0.4	0.0	0.2	10.8	3.1	49.2	87.8
2008	259.3	101.8	97.0	6.7	8.5	3.8	3.0	4.0	2.4	81.4	17.5	139.2
2009	133.6	135.9	130.0	69.7	0.0	0.0	3.8	0.0	29.6	95.7	124.2	78.7
2010	213.8	161.7	96.9	26.5	18.3	0.0	0.0	8.6	4.8	68.3	0.0	126.3
2011	117.2	290.3	163.4	23.1	26.4	0.0	8.8	0.0	59.8	25.6	45.0	192.1
2012	155.3	308.9	175.7	106.4	0.0	0.0	0.0	16.0	15.3	27.3	29.4	220.4
2013	179.7	179.1	94.0	4.5	20.9	15.0	29.4	16.9	13.7	47.2	58.1	161.8
2014	206.6	88.9	94.6	22.3	0.0	0.0	2.2	40.1	72.8	62.2	23.2	93.2
2015	161.3	180.0	19.6	133.3	5.0	0.0	2.8	13.9	29.5	83.2	51.3	46.6
2016	74.5	169.6	26.8	90.0	7.2	2.8	9.6	5.9	16.1	41.7	40.3	64.5

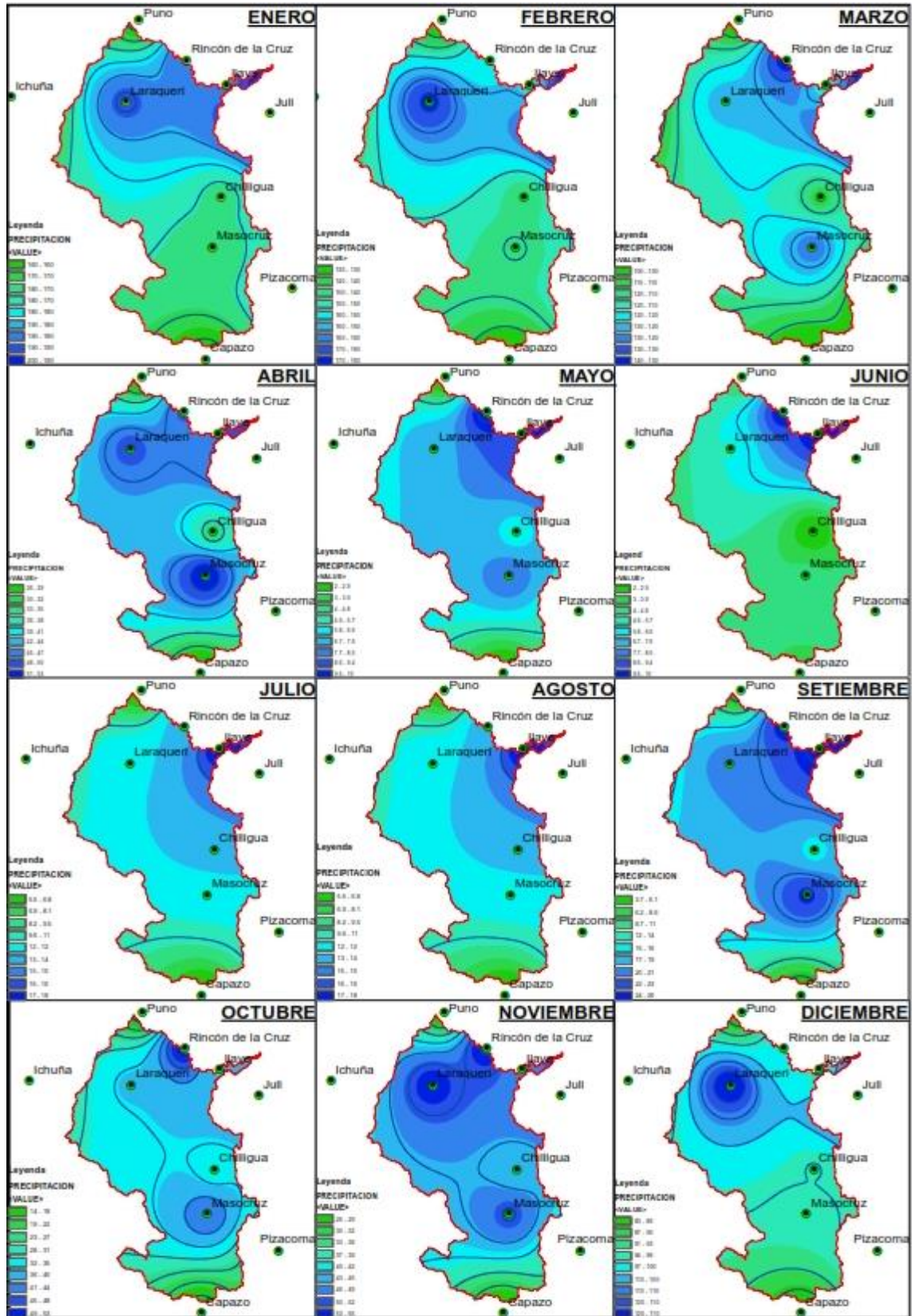




**Tabla 39.** Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Puno.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	101.0	268.2	28.4	25.2	0.0	2.9	0.0	9.1	1.2	19.5	93.5	103.6
1972	210.8	130.9	164.0	37.2	6.6	0.0	0.0	0.0	37.3	32.6	46.1	132.6
1973	238.2	131.7	159.1	97.6	13.3	0.0	1.8	6.1	32.5	16.4	29.8	70.8
1974	253.0	206.8	54.9	57.6	0.2	2.5	0.2	51.2	36.5	12.5	27.3	48.1
1975	157.2	177.6	158.6	37.5	43.7	0.7	0.1	6.5	48.7	53.3	24.7	235.2
1976	200.2	149.5	169.2	25.6	9.9	0.4	1.4	16.9	44.4	9.1	11.6	119.8
1977	49.1	206.1	209.8	5.8	8.8	0.0	2.3	0.0	48.1	53.9	49.7	108.8
1978	224.5	95.3	136.3	28.3	0.4	0.0	3.2	0.4	17.5	24.9	143.7	155.0
1979	131.2	35.2	143.1	44.1	1.4	0.0	0.9	1.8	8.5	45.5	31.7	83.9
1980	60.8	57.3	258.4	18.5	1.3	0.1	4.9	13.5	66.1	72.8	25.8	34.9
1981	133.9	207.3	111.3	68.9	4.7	0.0	0.0	37.8	21.1	25.6	49.0	129.0
1982	232.1	83.5	99.7	75.0	2.6	5.2	1.9	0.0	52.6	114.4	103.0	24.5
1983	20.7	70.4	57.6	55.5	14.2	2.3	1.5	4.8	46.4	26.7	29.8	104.2
1984	318.9	86.2	223.0	44.4	18.3	4.2	3.7	25.7	0.0	157.5	73.8	96.2
1985	130.0	337.6	12.3	90.7	24.9	27.3	0.0	8.2	40.1	32.7	123.5	134.2
1986	145.1	251.1	221.2	105.8	0.1	0.0	5.2	8.4	42.0	4.2	9.2	131.6
1987	224.3	71.5	73.8	44.2	1.7	3.8	12.5	0.0	4.3	58.4	110.8	25.4
1988	213.4	73.5	228.9	72.9	23.3	0.0	0.3	0.0	20.5	70.5	46.2	99.1
1989	203.8	130.0	137.1	100.9	0.0	0.4	1.7	14.7	17.6	14.2	21.4	42.9
1990	167.2	22.4	59.9	43.0	12.1	54.7	0.0	11.8	10.1	107.9	91.7	63.0
1992	66.0	89.7	15.7	38.8	0.0	0.5	2.3	42.2	0.0	34.4	29.4	55.1
1993	175.6	100.7	107.0	52.5	6.6	1.1	0.0	37.9	18.0	69.1	79.2	111.5
1994	180.0	183.1	113.3	116.2	29.9	0.4	0.0	0.0	18.3	36.6	52.6	73.2
1995	122.7	102.9	124.0	2.1	4.1	0.0	0.0	3.0	21.9	15.3	50.3	80.2
1996	252.7	130.5	60.8	76.3	0.0	0.0	2.9	12.8	0.8	10.4	88.3	118.0
1997	239.6	213.2	98.6	88.6	0.9	0.0	0.0	21.9	108.2	30.1	62.9	44.9
1998	196.4	115.5	135.3	25.4	0.0	4.9	0.0	4.3	4.5	26.9	43.9	58.0
1999	193.7	244.5	202.0	86.0	7.5	0.0	1.5	1.9	16.1	150.3	32.0	68.4
2000	167.1	210.0	105.1	40.3	0.4	2.3	4.2	17.9	14.6	95.8	13.9	69.0
2001	248.7	214.6	224.1	69.8	12.2	2.2	0.0	12.5	27.1	68.4	46.2	81.0
2002	129.6	180.0	170.6	105.3	15.4	21.1	22.7	30.6	11.6	65.9	43.8	112.2
2003	174.5	114.4	113.4	46.1	36.7	4.8	0.2	9.6	42.9	25.4	14.3	131.8
2004	208.9	125.2	115.5	29.2	6.2	0.0	10.2	43.0	34.3	5.6	41.2	59.1
2005	103.3	157.9	134.6	45.7	0.4	0.0	0.0	0.0	11.8	39.5	80.5	100.8
2006	291.1	64.3	159.6	44.6	0.9	0.0	0.0	0.6	21.2	37.4	53.8	101.5
2007	84.8	171.0	236.7	49.7	10.6	0.0	3.3	1.6	61.3	77.0	44.2	74.1
2008	209.7	85.8	95.0	8.4	6.8	1.4	0.2	0.8	2.4	79.4	27.2	144.2
2009	154.0	136.1	148.3	83.0	0.4	0.0	2.5	0.0	16.4	56.4	88.9	62.5
2010	99.3	192.8	56.3	12.3	16.1	0.0	0.0	7.1	2.9	33.4	15.0	146.7
2011	122.4	202.9	116.5	46.8	4.8	0.0	6.4	0.2	45.8	25.7	45.3	151.3
2012	135.4	294.8	209.9	59.5	0.0	0.2	0.0	5.6	9.8	7.6	69.5	157.8
2013	153.0	175.8	100.0	14.3	22.4	12.5	1.5	4.5	11.6	32.9	61.4	117.1
2014	147.0	107.7	60.5	40.8	0.1	0.0	0.2	28.9	66.9	45.2	29.8	90.6
2015	96.4	120.0	187.0	114.1	0.2	0.0	1.8	4.0	54.5	41.5	23.2	59.4
2016	79.7	202.6	9.8	57.5	0.5	2.0	3.4	0.0	0.3	76.0	43.0	49.7

## Anexo 2. Isoyetas de precipitación mensual.





### Anexo 3. Isoyetas de precipitación total.

