



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“PROPUESTA DE MODELOS REGIONALES DE
CAUDALES DE CRECIDA EN CUENCAS DE LA
VERTIENTE DEL TITICACA PARA EL DISEÑO DE
OBRAS HIDRÁULICAS”**

**PRESENTADO POR
NESTOR CONDORI CONDORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ
2019**

DEDICATORIA

A Dios y a mi hermano Eudis Cecilio (+)
por ser la iluminación que guía mi
camino de éxito.

A mis padres, Alejandra,
Salvador y a mis hermanos
Elvis, Vidal A. y Ronald, por
haberme brindado el apoyo,
cariño y ánimo durante el
periodo que abarcó la presente
tesis.

A todos mis amigos quienes forman
parte de mi vida.

A todas las personas que
colaboraron en el exitoso del
término de esta tesis.

El autor.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ A la Universidad Alas Peruanas, Facultad de Ingeniería y Arquitecturas, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Civil, por darme la oportunidad de educarme.
- ✓ A los señores jurados de la Tesis, por las sugerencias y recomendaciones en la culminación del presente trabajo de Investigación.
- ✓ Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI. Por facilitarme la información meteorológica para la realización del presente trabajo de investigación.
- ✓ A las Administraciones Locales de Agua de la región hidrográfica del Titicaca. por facilitarme la información hidrográfica para la realización del presente trabajo de investigación.
- ✓ Al Ing. Elvis Condori Condori, Ing. Bach. Vidal Amado Condori Condori y Ing. Ronald Condori Condori; por su tiempo, apoyo incondicional, sugerencias, aportes de sus conocimientos y recomendaciones dadas para la realización del presente trabajo de investigación.
- ✓ Al Msc. Apolinario Lujano Laura, asesor de la presente tesis, por su tiempo, apoyo y aportes de sus conocimientos durante la elaboración del presente trabajo investigación.

El autor.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en las principales cuencas de la vertiente del Titicaca (lado peruano), teniendo como objetivo proponer modelos regionales que permitan estimar caudales de crecida en la vertiente del Titicaca para el diseño de obras hidráulicas, aplicado a la problemática de la estimación de caudales de crecidas en zonas sin información hidrométrica, cuyos resultados podrían ser empleados como una alternativa para el diseño de obras hidráulicas. La metodología consistió en determinar modelos regionales a través de ecuaciones de regresión múltiple potencial para la estimación de caudales de crecida, planteándose 05 modelos para la estimación de caudales de crecida y el modelo adoptado está en función de las variables explicativas área de la cuenca (km^2), longitud del río principal (km), perímetro de la cuenca (km) y precipitación areal (mm). La evaluación de los indicadores estadísticos para la selección de los modelos adecuados muestra valores de eficiencia de Nash – Sutcliffe (NSE) de 0.996 a 0.998, raíz del error cuadrático medio (RMSE) con valores $7.88 \text{ m}^3/\text{s}$ a $40.52 \text{ m}^3/\text{s}$, sesgo porcentual (BIAS) entre -0.18 a 0.22 y coeficiente de determinación (R^2) entre 0.736 a 0.995. Los modelos regionales muestran un buen desempeño y estiman adecuadamente los caudales observados.

PALABRAS CLAVE: Caudales de crecida, cuencas de la vertiente del Titicaca, regionalización, regresión potencial.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the main basins of the Titicaca slope (Peruvian side), with the objective of proposing regional models that allow to estimate flood flows in the Titicaca slope for the design of hydraulic works, applied to the problem of estimation of flood flows in areas without hydrometric information, whose results could be used as an alternative for the design of hydraulic works. The methodology consisted in determining regional models through multiple potential regression equations for the estimation of flood flows, considering 05 models for the estimation of flood flows and the model adopted is a function of the explanatory variables area of the basin (km^2), length of the main river (km), perimeter of the basin (km) and areal precipitation (mm). The evaluation of the statistical indicators for the selection of the adequate models shows Nash efficiency values - Sutcliffe (NSE) from 0.996 to 0.998, root mean square error (RMSE) with values 7.88 m^3/s at 40.52 m^3/s , percentage bias (BIAS) between -0.18 to 0.22 and coefficient of determination (R^2) between 0.736 to 0.995. the regional models show good performance and adequately estimate the observed flows.

KEYWORDS: Flood flows, basins of the Titicaca slope, regionalization, potential regression.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	2
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación temporal	3
1.2.3. Delimitación social	3
1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicas	4
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	4
1.5.1. Hipótesis general	4
1.5.2. Hipótesis específico	5
1.6. Variables de la investigación	5
1.6.1. Variables independientes.....	5
1.6.2. Variables dependientes	5
1.6.3. Operacionalización de variables	6
1.7. Metodología de la investigación	6
1.7.1. Tipo y nivel de investigación	6
1.7.2. Diseño y método de investigación	7
1.7.3. Población y muestra de la investigación.....	9
1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	9
1.8. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES.....	9
1.8.1. Justificación.....	9
1.8.2. Importancia	10
1.8.3. Limitaciones	10
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.2. BASES TEÓRICAS.....	20
2.2.1. Cuenca hidrográfica	20
2.2.1.1. Definición.....	20
2.2.1.2. Delimitación.....	20
2.2.1.3. Parámetros fisiográficos o características geomorfológicos.....	21
2.2.2. Características climáticas	22
2.2.2.1. Precipitación.....	22

2.2.2.2. Análisis de consistencia	24
2.2.2.3. Precipitación promedio de la cuenca	24
2.2.3. Caudales de crecidas	25
2.2.4. Estructuras hidráulicas	25
2.2.5. Obras Hidráulicas.....	26
2.2.6. Regionalización.....	26
2.2.7. Prueba de hipótesis	27
2.2.7.1. Nivel de significancia	27
2.2.7.2. Pruebas de independencia	27
2.2.7.3. Pruebas de estacionaridad	28
2.2.7.4. Pruebas de homogeneidad	28
2.2.8. Análisis de correlación y análisis de regresión	29
2.2.8.1. Correlación simple y múltiples	30
2.2.8.2. Regresión múltiple potencial	33
2.2.9. Pruebas estadísticas.....	34
2.2.10. Correlación.....	34
2.2.11. Evaluación estadística de los modelos regionales	35
2.2.11.1. Coeficiente de determinación (R^2)	35
2.2.11.2. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).....	35
2.2.11.3. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)	36
2.2.11.4. Sesgo porcentual (BIAS).....	37
2.3. Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III	40
METODOLOGÍA.....	40
3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA.....	40
3.1.1. Parámetros de forma de la cuenca.....	40
3.1.2. Parámetros de relieve de la cuenca	43
3.1.3. Parámetros de la red hídrica.....	46
3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	49
3.2.1. Precipitación.....	49
3.2.2. Red de estaciones meteorológicas.....	49
3.2.3. Análisis de consistencia de la información pluviométrica	51
3.2.3.1. Análisis visual de hidrogramas.....	52
3.2.3.2. Análisis de doble masa	52
3.2.3.3. Análisis estadístico de salto y tendencias.....	53
3.2.3.3.1. Análisis de saltos.....	54
3.2.3.3.2. Análisis de tendencia	58
3.2.3.4. Completación y extensión de datos	60
3.2.4. Precipitación areal de la cuenca	62
3.2.4.1. Método de polígono de Thiessen Modificado	62
3.3. HIDROMETRÍA.....	64
3.3.1. Red de estaciones hidrométricas.....	64
3.3.1.1. Estación hidrométrica puente Huancané – río Huancané	64
3.3.1.2. Estación hidrométrica puente Ramis – río Ramis	65
3.3.1.3. Estación hidrométrica puente Unocolla – río Coata.....	65
3.3.1.4. Estación hidrométrica río verde.....	65
3.3.1.5. Estación hidrométrica puente llave – río llave	66
3.4. PRUEBAS EN DATOS HIDROLOGICOS DE ESTACIONES HIDROMETRICAS	66
3.4.1. Prueba de independencia	66
3.4.1.1. Prueba de independencia Wald – Wolfowitz	66

3.4.2.	Prueba de estacionalidad	66
3.4.2.1.	Prueba de estacionalidad Kendall.....	66
3.4.3.	Prueba de homogeneidad.....	66
3.4.3.1.	Prueba de homogeneidad de Wilcoxon	66
3.4.3.2.	Prueba de homogeneidad T Student	67
3.4.3.3.	Prueba de homogeneidad de Cramer.....	67
3.5.	MODELOS REGIONALES	68
3.5.1.	Modelos regionales de caudales de crecida.....	68
3.6.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS MODELOS REGIONALES	69
CAPÍTULO IV		70
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		70
4.1.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA.....	70
4.1.1.	Parámetros de forma de la cuenca.....	70
4.1.2.	Parámetros de relieve de la cuenca	72
4.1.3.	Parámetros de la red hídrica.....	74
4.2.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	76
4.2.1.	Precipitación.....	76
4.2.2.	Estaciones meteorológicas.....	76
4.2.3.	Análisis de consistencia de la información pluviométrica	77
4.2.3.1.	Análisis visual de hidrogramas.....	77
4.2.3.2.	Análisis de doble masa	78
4.2.3.3.	Análisis estadístico de salto y tendencia	79
4.2.3.3.1.	Análisis de salto	79
4.2.3.3.2.	Análisis de tendencia	81
4.2.3.4.	Completación y extensión de datos Pluviométricos.....	81
4.2.4.	Precipitación areal de la cuenca	84
4.2.4.1.	Método de los polígonos de Thiessen Modificado.....	84
4.3.	HIDROMETRÍA.....	88
4.4.	PRUEBAS DE DATOS HIDROLÓGICOS DE ESTACIONES HIDROMETRICAS	89
4.4.1.	Pruebas de Normalidad de las Precipitaciones históricas mensuales extendidas y completadas.....	89
4.4.2.	Prueba de independencia	90
4.4.2.1.	Prueba de independencia Wald – Wolfowitz	90
4.4.3.	Prueba de estacionariedad.....	90
4.4.3.1.	Prueba de estacionariedad Kendall	90
4.4.4.	Prueba de homogeneidad.....	91
4.4.4.1.	Prueba de homogeneidad Wilcoxon	91
4.4.4.2.	Prueba de homogeneidad T Student	91
4.4.4.3.	Prueba de homogeneidad Cramer.....	92
4.5.	MODELOS REGIONALES	92
4.5.1.	Modelos regionales de caudales de crecidas.....	94
4.6.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS MODELOS REGIONALES	95
4.7.	DISCUSIONES	97
CONCLUSIONES		98
RECOMENDACIONES		99
FUENTES DE INFORMACIÓN.....		100
ANEXOS		102

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Operacionalización de variables	6
Cuadro N° 2: Modelos matemáticos	17
Cuadro N° 3: Características geográficas de los observatorios Meteorológicas.....	50
Cuadro N° 4: Longitud del registro histórico de la información pluviométrica	51
Cuadro N° 5: Grupo de estaciones para completación y extensión de datos	61
Cuadro N° 6: Longitud del registro histórico de caudales máximos de las cuencas	64
Cuadro N° 7: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca Ramis.....	82
Cuadro N° 8: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca Coata	83
Cuadro N° 9: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca llave	83
Cuadro N° 10: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca Huancané	84
Cuadro N° 11: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Ramis	85
Cuadro N° 12: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Coata	85
Cuadro N° 13: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Verde	86
Cuadro N° 14: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca llave	86
Cuadro N° 15: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Huancané	87
Cuadro N° 16: Precipitación Media Areal mensual (mm) – Método de Thiessen Modificado en las Cuencas	87
Cuadro N° 17: Caudales máximos anuales de las estaciones hidrométricas	88
Cuadro N° 18: Prueba de Normalidad	89
Cuadro N° 19: Prueba de independencia	90
Cuadro N° 20: Prueba de estacionalidad.....	91
Cuadro N° 21: Prueba de homogeneidad	92
Cuadro N° 22: Caudales máximos y caudales máximos instantáneos	93
Cuadro N° 23: Características climáticas y geomorfológicas de las estaciones hidrométricas .	93
Cuadro N° 24: Matriz de correlación entre el caudal instantáneo multianual, variables climáticas y geomorfológicas	94
Cuadro N° 25: Modelos regionales de caudales de crecidas (m^3/s)	95
Cuadro N° 26: Evaluación estadística del modelo regional de caudales de crecidas $Q_{inst} = f(A,L,PP)$, $f(L,P)$, $f(A,P)$, $f(A,L)$ y $f(A)$	96
Cuadro N° 27: Matriz de consistencias.....	102
Cuadro N° 28: Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	106
Cuadro N° 29: Ficha de datos de registro de precipitación mensual.....	120
Cuadro N° 30: Análisis de saltos en media y desviación estándar.....	121
Cuadro N° 31: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Ramis.....	122
Cuadro N° 32: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Coata	123
Cuadro N° 33: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca llave	123
Cuadro N° 34: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Huancané .	124
Cuadro N° 35: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Ramis	131
Cuadro N° 36: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Unocolla	132

Cuadro N° 37: Precipitación areal total mensual (mm) – Rio Verde.....	133
Cuadro N° 38: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente llave.....	134
Cuadro N° 39: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Huancané.....	135
Cuadro N° 40: Caudal observados y calculados	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Divisoria topográfica	21
Figura N° 2: Precipitación convectiva	23
Figura N° 3: Precipitación orográfica	24
Figura N° 4: Correlación simple entre las variables x, y	31

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 27: Matriz de consistencias.....	102
Cuadro N° 28: Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	106
Cuadro N° 29: Ficha de datos de registro de precipitación mensual.....	120
Cuadro N° 30: Análisis de saltos en media y desviación estándar.....	121
Cuadro N° 31: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Ramis.....	122
Cuadro N° 32: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Coata.....	123
Cuadro N° 33: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca llave.....	123
Cuadro N° 34: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Huancané.....	124
Cuadro N° 35: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Ramis.....	131
Cuadro N° 36: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Unocolla.....	132
Cuadro N° 37: Precipitación areal total mensual (mm) – Rio Verde.....	133
Cuadro N° 38: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente llave.....	134
Cuadro N° 39: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Huancané.....	135
Cuadro N° 40: Caudal observados y calculados.....	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Curva Hipsométrica y polígono de frecuencias.....	103
Gráfico N° 2: Perfil longitudinal del cauce principal – Cuenca.....	105
Gráfico N° 3: Análisis visual de hidrogramas de registro de precipitaciones.....	107
Gráfico N° 4: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca Ramis....	114
Gráfico N° 5: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca Coata. ...	116
Gráfico N° 6: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca llave.....	117
Gráfico N° 7: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca Huancané.	118
Gráfico N° 8: Prueba de Normalidad de las precipitaciones mensuales históricas.....	125
Gráfico N° 9: Diagrama de dispersión de caudales observados y calculados.....	136

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N° 1: Estaciones Meteorológicas en la vertiente del Titicaca.....	137
Mapa N° 2: Estaciones hidrométricas.....	138
Mapa N° 3: Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	139
Mapa N° 4: Polígono de Thiessen y Isoyetas de la distribución de la precipitación total anual (mm.).....	140

INTRODUCCIÓN

La ausencia de estaciones hidrométricas en cuencas sin información viene a ser un factor limitante para estimar caudales de crecidas en las cuencas de la vertiente del Titicaca. Problemática a resolver al momento de plantear el diseño de obras de infraestructura hidráulica como son: puentes, alcantarillas, aliviaderos de presas, bocatomas, defensas ribereñas, entre otras obras hidráulicas. La estimación del caudal máximo de diseño en un determinado punto de interés de una cuenca sin registro constituye uno de los problemas principales de la ingeniería hidrológica (HALL, y otros, 1999).

En ese sentido la regionalización viene a ser un tema de gran importancia que toma énfasis en la solución de estimar caudales en cuencas sin información hidrométrica a partir de modelos regionales, establecidos mediante la información hidrométrica fisiográfica y climática. Por lo que la regionalización se entiende como la transferencia de información de un lugar a otro, dentro de un área con comportamiento hidrológico similar (NATHAN, y otros, 1990); (TUCCI, 2002).

La información pluviométrica e hidrométrica, proviene de las entidades SENAMHI y ANA (Administraciones Locales de Agua Ramis, Juliaca, Ilave y Huancané), las cuales fueron recopiladas de estudios realizados en las principales cuencas de la región Puno. Se evaluó la cantidad y calidad de la información para poder determinar el periodo de análisis con el cual se desarrolla el análisis pluviométrico e hidrométrico.

Se realizó el análisis pluviométrico de la información seleccionada. Se indica la metodología de análisis a ser empleada, como son la estimación de datos faltantes, análisis de consistencia y cálculo de la precipitación areal en las cuencas de interés. Asimismo, se realizó la identificación de datos atípicos de los caudales de crecidas en las estaciones hidrométricas en estudio.

Finalmente se plantearon modelos para la estimación de caudales de crecidas para las principales cuencas de la vertiente del Titicaca, en el lado peruano, siendo la variable dependiente los caudales de crecidas para diferentes periodos de retorno y como variables independientes las características geomorfológicas de las cuencas en estudio (área de la cuenca, longitud del río principal y perímetro de la cuenca) y características climatológicas (precipitación).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La falta de información hidrométrica muchas veces es una limitante para el análisis de caudales de crecidas en un determinado punto de interés, algunas veces se encuentra la información hidrométrica pero las series son muy cortas, dando como resultado un alto grado de incertidumbre para periodos de retorno grande. Otro problema que muchas veces se enfrenta es que el punto de interés donde se proyecta una obra hidráulica, generalmente no existe registros hidrométricos teniendo que extrapolar los caudales máximos hasta el punto deseado siendo aún mayor el error de cálculo.

Con la propuesta de los modelos regionales de caudales de crecida en las cuencas de la vertiente del Titicaca en el lado peruano se prevé dar soluciones adecuadas a estos inconvenientes de cálculo para el diseño de estructuras hidráulicas y otros análisis, ya que la regionalización considera las estaciones hidrométricas en una zona hidrológicamente homogénea con lo que la serie resultante es mucho más larga que una estación en particular. Además permite conocer las caudales de crecidas para distintos periodos de retorno en un punto de interés donde no existen registros hidrométricos, con tan solo conocer las características fisiográficas y climáticas sobre el cual se localiza el punto de interés.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Delimitación espacial

El estudio abarca las cuencas de los ríos Huancané, Ramis, Coata, Verde e llave, que se encuentran en la vertiente del Titicaca y políticamente ubicados en la región Puno, al sur del Perú.

1.2.2. Delimitación temporal

La presente investigación se realizó con la información de una longitud de registro histórico de precipitaciones de 1956 a 2016, y la longitud de registro histórico de la información pluviométrica de 1956 a 2011.

1.2.3. Delimitación social

La presente investigación se plantea como una alternativa de estimación de caudales de crecidas, y su aplicación estará dada por las entidades públicas y privadas que estén involucradas con el diseño de obras hidráulicas.

Indirectamente los beneficiarios son los pobladores que se encuentran asentados en cuencas de la vertiente del Titicaca (Cuenca Huancané, Cuenca Ramis, Cuenca Verde y Cuenca llave).

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema general

¿De qué manera los modelos regionales estiman los caudales de crecida en cuencas de la vertiente del Titicaca, que permitan diseñar adecuadamente las obras hidráulicas?

1.3.2. Problemas específicas

- ✓ ¿Cómo se relacionan las características geomorfológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales?
- ✓ ¿Cómo se relacionan las características climatológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales?

1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Proponer modelos regionales que permitan estimar caudales de crecida en cuencas de la vertiente del Titicaca para el diseño adecuado de obras hidráulicas.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Relacionar las características geomorfológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales.
- ✓ Relacionar las características climatológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales.

1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

Los modelos regionales estiman adecuadamente los caudales de crecida en cuencas de la vertiente del Titicaca para el diseño adecuado de obras hidráulicas.

1.5.2. Hipótesis específicos

- ✓ Las características geomorfológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca se relacionan adecuadamente con los modelos regionales.
- ✓ Las características climatológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca se relacionan adecuadamente con los modelos regionales.

1.6. Variables de la investigación

1.6.1. Variables independientes

Es el factor (causa), para la presente investigación las variables independientes son las características geomorfológicas (Área de la cuenca, Longitud del río principal de la cuenca, perímetro de la cuenca) y características climatológicas, (Precipitación).

1.6.2. Variables dependientes

Variable dependiente (efecto)

Viene a ser factor (efecto), en la investigación se considera como variables dependientes los modelos regionales de caudales de crecida.

1.6.3. Operacionalización de variables

Cuadro N° 1: Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Modelo regional de caudales de crecida	Características geomorfológicas de la cuenca	Área de la cuenca (Km ²), longitud del río principal de la cuenca (Km) perímetro de la cuenca (Km)	¿Cuáles son las características geomorfológicas de la cuenca?
	Características climatológicas de la cuenca	Precipitación (mm)	¿Cuáles son las características climatológicas de la cuenca?

Fuente: Elaboración propia

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es No experimental, longitudinal pretérito y explicativo.

Es no experimental porque son fenómenos que no se pueden manipular, es longitudinal pretérito porque los caudales de crecida son fenómenos que han sucedido en el tiempo y es de **nivel explicativo** porque es una investigación cuantitativa que estudia el comportamiento de los caudales con datos numéricos de la serie histórica.

La investigación tiene carácter descriptivo, de las teorías por medio de métodos y/o modelos matemáticos frente al tipo de diseño del objetivo en estudio.

El nivel de investigación es explicativo.

1.7.2. Diseño y método de investigación

Diseño de investigación no experimental, la que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

Se propone la regionalización de caudales de crecida en las principales cuencas de la vertiente del Titicaca, para lo cual se determina el análisis de frecuencia de máximas avenidas, área de las cuencas hasta el punto de interés, la precipitación media areal de la cuenca, longitud del río principal.

La metodología propuesta requiere el uso combinado de diferentes herramientas: hojas de cálculo y base de datos.

Método de investigación

Primeramente, se determina las características geomorfológicas de la cuenca (área, perímetro, longitud del río principal y etc); posteriormente se determina las características climáticas (precipitación); a continuación se realiza el análisis de caudales máximos diarios anuales y por último se determina los modelos regionales de caudales de crecida.

Diseño de la investigación

El diseño de investigación es la Regresión múltiple potencial.

Secuencia de la investigación

1. Características geomorfológicas de la cuenca
2. Características climatológicas
3. Hidrometría

4. Análisis de frecuencias de máximas avenidas
 5. Regionalización de caudales de crecida
- ✓ **Información cartográfica**
 - ✓ Delimitación hidrográfica de las cuencas
 - ✓ Áreas de drenaje del punto de interés
 - ✓ La longitud del río principal
 - ✓ Perímetro de la cuenca, etc.
 - ✓ **Información meteorológica**
 - ✓ Tratamiento de información pluviométrica
 - Análisis de consistencias de la información
 - Análisis visual
 - Análisis de doble masa
 - Análisis estadístico de salto y tendencias
 - Completación y extensión de datos
 - ✓ **Precipitación media areal en la cuenca**
 - Método de Thiessen modificado
 - ✓ **Información hidrométrica (aforos)**
 - Caudales máximos diarios anuales
 - Análisis de frecuencias de máximas avenidas
 - ❖ Distribución Gumbel I
 - ❖ Distribución Lognormal
 - ❖ Distribución Lognormal III parametros
 - ❖ Distribución Log Person III
 - Pruebas de ajuste
 - ❖ Prueba Smirnov Kolmogorov
 - ❖ Prueba Chi Cuadrado
 - ✓ **Regionalización de caudales de crecida**
 - Método basado en la regresión múltiple potencial

1.7.3. Población y muestra de la investigación

Población, se consideró como población al conjunto de datos de las estaciones meteorológicas y ubicadas en el ámbito de estudio.

Muestra, se consideró como muestra a los datos de precipitación media mensual y caudales máximas diarias recopilados de cada estación meteorológica y considerada muestreo aleatorio.

1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Recopilación de carta nacional, la cual se ha obtenido de los Administradores Locales de Agua de la región hidrográfica del Titicaca y recojo de información meteorológica de la institución de SENAMHI, (precipitaciones mensuales y caudales máximos diarios anuales).

Instrumentos de recolección de datos

Base de datos en shp, fichas de registro de datos históricos de las precipitaciones y caudales máximos.

1.8. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES

1.8.1. Justificación

En las cuencas de la vertiente del Titicaca, la ausencia de metodologías de estimación de caudales de crecida adecuada a nuestra realidad, se propone como una alternativa el desarrollo de modelos regionales, a través de la aplicación de ecuaciones de regresión múltiple, para ello basta conocer el área de la cuenca, longitud del río principal y la precipitación media areal, siendo la propuesta del estudio de gran utilidad para los diseñadores de estructuras hidráulicas e incluso puede ser utilizado como una herramienta para la gestión de riesgos y prevención de desastres.

La metodología como ya se mencionó pretende dar solución a la falta de información hidrométrica, por lo tanto se considera de gran relevancia para futuros estudios en cuencas de la vertiente del Titicaca. La metodología en otros países proporciona buena base para estudios posteriores.

1.8.2. Importancia

Los modelos regionales permitirán estimar en cualquier punto de interés de las cuencas en estudio los caudales de crecidas, considerando como variables de ingreso el área de la cuenca (A), perímetro de la cuenca (P), longitud del río principal de la cuenca (L) y la Precipitación media areal (PP), cuyos resultados obtenidos pueden ser utilizados como una alternativa para los diseñadores de estructuras hidráulicas, gestión de riesgos y prevención de desastres.

1.8.3. Limitaciones

La ausencia de estaciones hidrométricas en cuencas sin información viene a ser un factor limitante para estimar los caudales de crecidas en las cuencas de la vertiente del Titicaca.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen trabajos de investigación como el que se realizaron:

- A. (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), realizó trabajo de tesis titulado "Aplicación del método de regionalización de caudales en el puente Carrasquillo". Para optar el **Grado Académico de Magister en Ingeniería Civil** con mención en Recursos Hídricos. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura, Perú – 2009.

La presente investigación tiene como **resumen:**

Esta investigación consiste en determinar los caudales que pasan por el puente Carrasquillo, tomando como base información hidrometeorológica y fisiográfica de zonas cercanas, teniendo en cuenta la semejanza con la zona de estudio. Este análisis permitirá tomar medidas adecuadas en el diseño de obras y frente a grandes avenidas.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se seleccionó y analizó información pluviométrica e hidrométrica de estaciones cercanas a la zona de estudio, que permitirán determinar las cuencas hidrográficas y sus parámetros fisiográficos, así como las características pluviométricas de dichas cuencas, logrando con ello caracterizar la región que cuenta con información y relacionarla con información fisiográfica de la zona a regionalizar, es decir, en el puente Carrasquillo, para la determinación de los caudales para diferentes periodos de retorno.

La presente investigación de tesis tiene como **conclusiones:**

La sección del puente Carrasquillo son mayores que los registrados en la sección del puente Ñácara, ubicado 27 km aguas abajo; mientras que solo para periodos de retorno superiores a 15 años el caudal en Carrasquillo es inferior al de Ñácara, comportamiento que se espera tomando en cuenta el concepto de "a mayor área aportante, mayor caudal". Esta variación en el comportamiento normal del caudal se debe a que la red de drenaje de la intercuenca entre estas dos secciones está conformada principalmente por quebradas secas, las cuales se activan en periodos extremadamente húmedos, como se pueden apreciar en los registros del puente Ñácara (años 1953, 1965, 1983 y 1998). En los años normales a secos esta disminución se explica por la amortiguación de la onda de crecida y por pérdidas debido a infiltraciones y evaporación a lo largo del cauce, así como por consumos para riego.

La regionalización no solo permite conocer el comportamiento hidrológico en un punto determinado de una región, por medio de la transferencia de información de otro punto de la misma región, sino que además brinda información respecto al número de estaciones que se tiene en la región o de la información almacenada, respecto a si es suficiente o no. Para el caso de la presente tesis, se puede observar que se ha trabajado con 20 años de información hidrométrica permitiendo así una la determinación de caudales hasta un periodo de retorno de hasta 50 años, sin embargo, se podría ampliar el periodo de retorno si se ubican estaciones hidrométricas en las zonas de cabecera de la cuenca del Piura.

El análisis pluviométrico realizado en la zona de estudio, muestra que las cuencas de Carrasquillo y Ñácara presentan una mayor influencia del FEN, respecto a las cuencas de Barrios, Corral del Medio, Paltashaco, Chililique y San Pedro. Esta diferencia se debe a que la mayor influencia del FEN se localiza en la zona media de la cuenca del Piura, zona abarcada por las cuencas del Ñácara y Carrasquillo y va disminuyendo con la altura, por ello las cuencas

Barrios, Corral del Medio, Paltashaco, Chililique y San Pedro presentan una menor influencia.

De esta investigación es posible concluir que la cuenca Carrasquillo presenta una respuesta hidrológica muy lenta, sin embargo, los efectos generados por el FEN, producen un aumento significativo de las precipitaciones en la parte media de dicha cuenca, generando un aumento en su escurrimiento, motivo por el cual, es importante mantener un monitoreo de las precipitaciones y comportamiento fisiográfico de dicha cuenca.

En el diseño de obras hidráulicas, se requiere la participación de varias áreas, entre ellas se encuentran la hidrología e hidráulica, como base para los diseños hidráulicos. La presente tesis muestra una metodología para evaluar la hidrología en zonas donde la información hidrometeorológica es escasa y poder determinar así los caudales de diseño adecuados para el análisis hidráulico.

- B. (LUJANO LAURA, 2015), realizó trabajo de tesis titulado "Regionalización de caudales medios mensuales de los ríos de la región hidrográfica del Titicaca (Perú) basado en L-Momentos" para optar el **Grado Académico de Magister Scientiae** en ingeniería Agrícola con mención en Ingeniería de Recursos Agua y Suelo. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Puno – Perú – 2015.

La presente investigación tiene como **Objetivo General:**

Desarrollar modelos regionales de caudales medios mensuales de los ríos de la región Hidrográfica del Titicaca (Perú) basado en L-Momentos.

La presente investigación tiene como metodología la siguiente secuencia:

- Identificación de regiones homogéneas.
- Método de conglomerado.
- Método de L-Momentos.

- Modelos regionales que asocian el caudal medio con variables climáticas y fisiográficas de la cuenca.
- Modelos regionales que asocian los caudales al 75% de persistencia con las características climáticas y fisiográficas de la cuenca.

La presente investigación de tesis tiene como **conclusiones:**

En el trabajo de investigación se determinó tres sub-regiones homogéneas en la región hidrográfica del Titicaca en el lado peruano, utilizando el método de Ward que permitió estimar a priori las sub-regiones homogéneas y validadas con la metodología L – momentos, dentro de las cuales es válido transferir información. Sin embargo, sólo para las sub-regiones homogéneas 1 y 3, se obtuvieron los modelos regionales.

Se propuso modelos regionales de caudales medios mensuales, siendo las variables fisiográficas que mejor explican el área de la cuenca (A) y la longitud del río principal (Lrp), con valores del coeficiente de determinación (R^2) entre 0.916 a 0.999, eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.895 a 0.999, en términos de la raíz del error cuadrático medio (RSME) con valores de 0.01 m³/s a 13.20 m³/s y valores del sesgo porcentual (BIAS) entre -3.91% de subestimación a 7.89% de sobreestimación.

Se propuso modelos regionales para estimar caudales al 75% de persistencia, siendo las variables que mejor explican el área de la cuenca (A) y la longitud del río principal (Lrp), con valores del coeficiente de determinación (R^2) de 0.855 a 0.999, eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) entre 0.819 a 0.999, la raíz del error cuadrático medio (RSME) entre 0.08 m³/s a 9.78 m³/s y valores del sesgo porcentual (BIAS) entre -2.30% de subestimación a 9.18% de sobreestimación.

Los modelos regionales obtenidos permitirán estimar en cualquier punto de interés de las cuencas sin información los caudales medios mensuales y de persistencia, considerando como variables de ingreso el área de la cuenca (A) y la longitud del cauce principal (Lrp).

C. (GANANCIAS MARTÍNEZ, 2010), realizó trabajo de tesis titulado "Evaluación de metodologías de regionalización hidrológica: Aplicada a los caudales máximos de cuencas representativas de la región Sur – Oeste de la Provincia de Córdoba". Para optar el **Grado Académico de Magister en Ciencias de la Ingeniería** con mención en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias exactas físicas y naturales. Córdoba, Argentina – 2010.

La presente investigación tiene como **Objetivo General:**

Evaluar distintas metodologías de regionalización hidrológica, en su desempeño para estimar caudales máximos medios diarios anuales en cuencas serranas representativas de la región Sur – Oeste de la Provincia de Córdoba.

La presente investigación tiene como metodología la siguiente secuencia:

- Análisis de frecuencia puntual.
- Métodos de regionalización.
- Información hidrométrica disponible.
- Aplicación de pruebas de hipótesis.
- Aplicación de análisis de frecuencias.
- Definición de regiones homogéneas.
- Aplicación de técnicas de regionalización.
- Resumen, conclusiones y recomendaciones.

La presente investigación tiene como uno de las **conclusiones:**

Para la evaluación de la validez estadística de las series de caudales máximos medios diarios anuales de las estaciones indicadas se emplearon dos grupos de pruebas de hipótesis: uno para homogeneidad y otro grupo para independencia. En el primer caso se emplearon las pruebas de: Helmert, Cramer y t de Student. En el segundo caso se emplearon las pruebas de: Anderson y la de Corridas de Wald-Wolfowitz.

D. (LUJANO LAURA, 2015), realizó trabajo de tesis titulado "Análisis de frecuencias regional de las precipitaciones máximas diarias en la

región hidrográfica del Titicaca" para optar el **Grado Académico de Magister Scientiae** en ingeniería de Recursos Hídricos. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Puno – Perú – 2015.

La presente investigación tuvo como **Objetivo General:**

Desarrollar modelos regionales de precipitaciones máximas diarias, aplicado al problema de la estimación de precipitaciones en zonas sin información.

La presente investigación de tesis tiene como **conclusiones:**

Mediante los resultados de aplicación del análisis regional, se establecen 09 modelos regionales basados en el índice de avenida para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, cuyos resultados serán de utilidad para estimar precipitaciones máximas diarias en puntos o zonas donde no se dispone de información dentro de la región hidrográfica del Titicaca. Así mismo una recomendación práctica para entidades públicas y privadas que estén involucradas con el diseño de proyectos hidrológicos, la precipitación máxima para un determinado periodo de retorno en cualquier punto de interés se estima, una vez obtenido el valor promedio de la precipitación máxima (índice de avenida), multiplicando éste por el correspondiente cuantil regional adimensional, cuyo producto vendría a ser la intensidad de precipitación máxima en 24 horas, que sería el insumo de entrada a modelos hidrológicos lluvia escurrentía, obtención de curvas intensidad duración frecuencia y estimación de la avenida máxima de diseño para el dimensionamiento de estructuras hidráulicas, recordando que los valores obtenidos son sólo aproximaciones de un determinado patrón de razonamiento que refleja algunas de nuestras convicciones y preferencias particulares ya que las verdaderas distribuciones que describen el comportamiento probabilístico del fenómeno en cuestión no son conocidos. A continuación se muestra los nueve modelos matemáticos:

Cuadro N° 2: Modelos matemáticos

Probabilidad	Tr. [años]	Modelos regionales		
		Región norte	Región centro	Región sur
0.5	2	$P_{Tr2años} = 0.96 * \bar{P}$	$P_{Tr2años} = 0.95 * \bar{P}$	$P_{Tr2años} = 0.97 * \bar{P}$
0.8	5	$P_{Tr5años} = 1.20 * \bar{P}$	$P_{Tr5años} = 1.18 * \bar{P}$	$P_{Tr5años} = 1.22 * \bar{P}$
0.9	10	$P_{Tr10años} = 1.35 * \bar{P}$	$P_{Tr10años} = 1.34 * \bar{P}$	$P_{Tr10años} = 1.37 * \bar{P}$
0.95	20	$P_{Tr20años} = 1.50 * \bar{P}$	$P_{Tr20años} = 1.50 * \bar{P}$	$P_{Tr20años} = 1.51 * \bar{P}$
0.98	50	$P_{Tr50años} = 1.68 * \bar{P}$	$P_{Tr50años} = 1.70 * \bar{P}$	$P_{Tr50años} = 1.67 * \bar{P}$
0.99	100	$P_{Tr100años} = 1.82 * \bar{P}$	$P_{Tr100años} = 1.86 * \bar{P}$	$P_{Tr100años} = 1.79 * \bar{P}$
0.995	200	$P_{Tr200años} = 1.95 * \bar{P}$	$P_{Tr200años} = 2.02 * \bar{P}$	$P_{Tr200años} = 1.90 * \bar{P}$
0.998	500	$P_{Tr500años} = 2.12 * \bar{P}$	$P_{Tr500años} = 2.24 * \bar{P}$	$P_{Tr500años} = 2.04 * \bar{P}$
0.999	1000	$P_{Tr1000años} = 2.25 * \bar{P}$	$P_{Tr1000años} = 2.41 * \bar{P}$	$P_{Tr1000años} = 2.15 * \bar{P}$

Fuente: Efraín Lujano Laura

E. (ÁLVAREZ ENJO, 2000), realizó el artículo titulado “Análisis regional de avenidas en la zona atlántica de Galilea, noroeste de España” el presente estudio se ha realizado en la Universidad de Santiago de Compostela.

La presente investigación tiene como **Objetivo General:**

Comprobar la factibilidad de aplicar el ARA en la región Gallega de las Rias Baixas y de esta manera contar con una herramienta fiable para determinar avenidas de frecuencias extrema en puntos en los que se carece de información hidrométrica, así como la comparación de la curva regional de frecuencia con las obtenidas en diferentes regiones climáticas del mundo.

La presente investigación de tesis tiene como **conclusiones:**

La conclusión indispensable para el desarrollo y aplicación del análisis regional de avenida consiste en que el territorio donde se desarrolla dicho método reúna ciertas condiciones mínimas de homogeneidad; en tal sentido, las campañas de aforos realizados en la región de estudio en diferentes periodos del año ponen de manifiesto, a escala regional, una estrecha relación entre los caudales observados y las áreas de las cuencas, lo que, a nuestro juicio, se debe a la homogeneidad que engloban los factores climáticos, físico – geográficos e hidrológicos dentro de la región analizada. Los coeficientes de variación (Cv) de cada una de las estaciones son inferiores a 0.6, como promedio 0.46, mientras que el Cv de los Cv de las nueve estaciones hidrométricas de la región es inferior a 0.2 (Cv = 0.08), lo que es acorde con los planteamientos

de Lettenmaler y Potter 1985 acerca de las ventajas del uso de métodos regionales bajo estas condiciones. Por su parte, la prueba estadística de Wiltshire demostró al nivel de significación de 5%, que la región puede ser considerada homogénea.

A escala regional, el área de la cuenca resultó ser un buen estimador de la ARA, con un coeficiente de determinación superior a 0.9; no obstante, podría existir también la posibilidad de utilizar como variable de predicción la precipitación media anual, en conjunto con el área de la cuenca.

La curva regional de frecuencia obtenida se enmarca adecuadamente en el contexto de otras curvas regionales de frecuencia de otras regiones del mundo bajo diferentes condiciones climáticas, en especial se observa una gran concordancia con las curvas regionales de las zonas húmedas de África Occidental e Inglaterra. Si bien el comportamiento observado de las curvas regionales de frecuencias no puede entenderse como una bondad de ajuste de la función de distribución GEV, si resulta necesario destacar que las tendencias generales que se aprecian en el comportamiento espacial de las mismas dentro de amplias regiones en todo el mundo está estrechamente relacionado con las condiciones climatológicas de estas.

- F. (LUJANO LAURA, et al., 2016) realizó el artículo titulado "Regionalización de caudales anuales en cuencas del altiplano peruano".

La presente investigación tiene como **objetivo**:

El objetivo de la investigación consiste en establecer modelos regionales que permitan estimar los caudales de los ríos Ramis y Huancané. Los modelos propuestos permitirán estimar la disponibilidad del agua superficial en cuencas sin registro hidrométrico, los resultados podrán ser empleados como una alternativa de estimación de caudales por las entidades vinculadas con la gestión de los recursos hídricos.

La presente investigación tiene como **conclusiones:**

Se establecieron 4 modelos regionales basados en ecuaciones de regresión potencial para caudales medios anuales y al 75% de persistencia. Los modelos regionales permitirán estimar en cualquier punto de interés de las cuencas en estudio los caudales medios anuales y de persistencia, considerando como variable de ingreso el área de la cuenca (A) y la longitud del río principal (L_{rp}), cuyos resultados pueden ser utilizados como una alternativa en la planificación y gestión de los recursos hídricos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Cuenca hidrográfica

2.2.1.1. Definición

Según (PEREZ MORALES, et al., 2009) La cuenca hidrográfica se define como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo en flujo de la corriente principal y sus tributarios.

Según (FATTORELLI, y otros, 2011) La cuenca hidrográfica es un sistema que presenta como principal entrada la lluvia, y como salidas el caudal, la evapotranspiración, el flujo subsuperficial y la percolación.

2.2.1.2. Delimitación

Según (VILLÓN BÉJAR, 2002) La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum, la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca.

A. Trazo línea divisoria o partes aguas

Según (CAHUANA ANDIA, et al., 2009) La determinación de la línea divisoria (Divortium Acuarum) en una cuenca no es única; sino que pueden existir dos líneas divisorias (ver Figura N° 1):

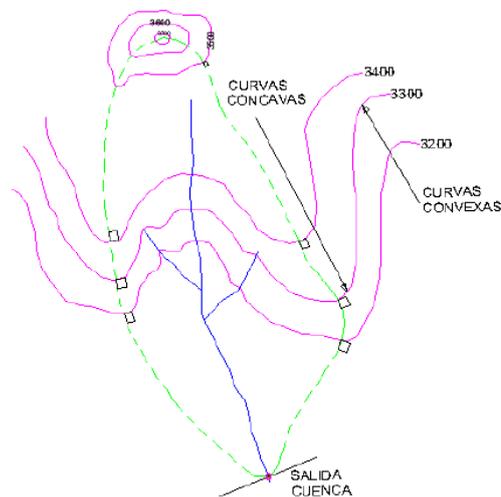
- ✓ **Divisoria topográfica;** línea divisoria de las aguas superficiales.
- ✓ **Divisoria freática;** línea divisoria para las aguas superficiales, línea determinada en función de los perfiles de la estructura geológica.

B. Reglas para el trazo de la divisoria topográfica

Según (CAHUANA ANDIA, et al., 2009) Para trazar la divisoria de la cuenca se tiene las siguientes reglas:

1. La divisoria corta ortogonalmente a las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor nivel topográfico.
2. Cuando la divisoria va aumentando su altitud, corta a las curvas de nivel por la parte convexa (el caso cuando el trazado se dirige desde el río hacia arriba), ver en la Figura siguiente.
3. Cuando la altitud de la divisoria va decreciendo, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava (el caso cuando el trazado llegue al río ya para cerrar la divisoria). Ver en la figura siguiente.
4. Como comprobación, la divisoria nunca corta a un arroyo o río, excepto en el punto de interés de la cuenca (salida).

Figura N° 1: Divisoria topográfica



Fuente: Cahuana Andia, Yugar Morales, 2009

2.2.1.3. Parámetros fisiográficos o características geomorfológicas

Según (FATTORELLI, y otros, 2011) Indican que Los parámetros geomorfológicos básicos para establecer una afinidad hidrológica entre cuencas comparables son: área,

perímetro, altura máxima, mínima y desnivel, índice de compacidad, radio de elongación, curva hipsométrica, curva de frecuencias altimétricas, altitud media, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, pendiente ponderada del cauce principal, rectángulo equivalente, índice de pendiente, pendiente, pendiente media total o pendiente neta total, coeficiente de masividad o de Martone, coeficiente orográfico.

Según (BREÑA PUYOL, y otros, 2006) Manifiestan que, para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos.

Algunos de los parámetros característicos de mayor interés se presentan a continuación:

Área de la cuenca, corriente principal, corrientes tributarios, orden de corrientes, longitud del eje mayor de la cuenca, ancho de la cuenca, orientación de la cuenca, índice de forma, relación de alargamiento.

2.2.2. Características climáticas

2.2.2.1. Precipitación

Según (FATTORELLI, y otros, 2011) Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia los continentes. En estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotitas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, provocando las precipitaciones.

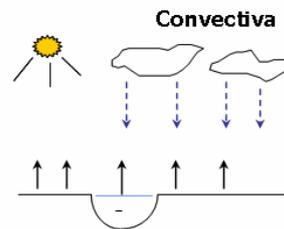
Las precipitaciones que se producen con temperaturas sobre 0°C , caen en forma de lluvia. Las gotas de lluvia se congelan si la temperatura es bajo 0°C y la precipitación es en forma de nieve o de granizo, estado sólido del agua.

Según (BASAN NICKICH, 2007) Menciona que la Precipitación se refiere a todas las formas de agua que llegan a la tierra desde la atmósfera (llovizna, lluvia, rocío, nieve, granizo).

Según los fenómenos meteorológicos que las originan hay tres tipos de precipitaciones:

- ✓ **Precipitación convectiva:** originada por el calentamiento de las masas de aire próximas a la superficie de un suelo que ha recibido una fuerte insolación. Suelen ser tormentas locales propias del verano. (ver Figura N° 2)

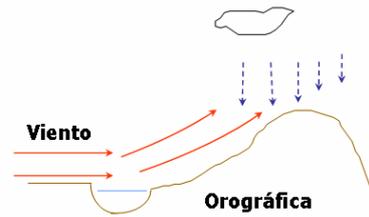
Figura N° 2: Precipitación convectiva



Fuente: Basan Nickich, 2007

- ✓ **Precipitación frontal o ciclónica:** se originan por contacto de masas de aire con temperatura y humedad diferentes. Pueden ser de frente frío o cálido.
- ✓ **Precipitación orográfica:** son propias de las zonas montañosas, se originan por el enfriamiento y consiguiente condensación de vapor de agua en las masas de aire, que al encontrarse con laderas, ascienden por ellas. (ver Figura N°3)

Figura N° 3: Precipitación orográfica



Fuente: Basan Nickich, 2007

2.2.2.2. Análisis de consistencia

Según (GUEVARA PÉREZ, 2015) Menciona que los datos hidrológicos constituyen una secuencia de observaciones de algunos de las fases del ciclo hidrológico, efectuada en un lugar determinado. Los datos pueden ser un registro de las descargas de una corriente en un lugar particular o puede ser un registro de la cantidad de precipitación captada en un pluviómetro.

El empleo de la curva de doble masa es una forma conveniente de chequear la consistencia de un registro. Esto debe ser uno de los primeros pasos del análisis de un largo registro excepto cuando no existieran otros registros más antiguos para emplearlos en la comparación.

2.2.2.3. Precipitación promedio de la cuenca

Según (APARICIO MIJARES, 1992) Indica que la altura de la lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. Es decir la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media o precipitación media de la cuenca.

Para cálculos de la precipitación media de una tormenta dada, existen tres métodos de uso:

Método aritmético, Método de Thiessen, Método de Isoyetas

2.2.3. Caudales de crecidas

Según (REYES CARRASCO, et al., 2016) Menciona que los caudales de crecidas también llamado caudal de punta de avenida, existen muchos métodos para efectuar esta determinación, pero todos presentan sus propias dificultades, pues algunos de ellos se basan en datos estadísticos.

Algunos de estos métodos se basan en aspectos fisiográficos o geomorfológicos de las cuencas receptoras de agua.

Otros métodos se basan en la transformación de datos existentes de lluvias y otras precipitaciones en caudales que pasan por una determinada sección del cauce.

También existen métodos basados en correlaciones con otras cuencas llamadas similares y que en la mayoría de los casos esa similitud no es correcta.

2.2.4. Estructuras hidráulicas

Según (RAMOS TAIPE, 2014) Define que las estructuras hidráulicas son destinadas a trabajar con líquidos, especialmente el agua, y soportar la acción de los mismos, estén en reposo o en movimiento; en dichas estructuras intervienen orificios, vertederos, tuberías, canales o la combinación adecuada de ellos. Las estructuras brindan diferentes servicios, las que se pueden agrupar en la siguiente:

- ✓ Riego.
- ✓ Abastecimiento de agua.
- ✓ Generación de energía eléctrica.
- ✓ Navegación.

2.2.5. Obras Hidráulicas

Según (RAMOS TAIPE, 2014); Señala que las obras hidráulicas que sirven para el aprovechamiento del agua en diferentes formas, pueden clasificarse, según su función, en:

- ✓ Obras de captación.
- ✓ Obras de conducción.
- ✓ Obras de protección.
- ✓ Obras de regulación.

2.2.6. Regionalización

Según (GANANCIAS MARTÍNEZ, 2010); Indica que la regionalización consiste en un conjunto de herramientas que exploran al máximo las informaciones existentes, buscando estimar las variables hidrológicas en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad o por calidad. Tal como menciona (TUCCI, 2002); la regionalización puede ser usada para: explorar mejor las muestras puntuales y en consecuencia mejorar las estimaciones de las variables; verificar la consistencia de las series hidrológicas e identificar la falta de puestos de observación. Conforme a esto, la regionalización puede ser elaborada para:

- 1) Funciones estadísticas de variables hidrológicas: curva de probabilidades de caudales máximos (crecidas para distintos tiempos de retorno T), medios o mínimos; curvas de probabilidades de precipitaciones máximas, etc.
- 2) Funciones específicas que relacionan variables: curva de regulación de caudales, curva de infiltración, curva de permanencia, etc.
- 3) Parámetros de modelos hidrológicos: características de hidrograma unitario; parámetros de otros modelos hidrológicos, etc.

2.2.7. Prueba de hipótesis

Según (ALFARO ALEJO, 2008) Menciona que se puede estimar un parámetro a partir de datos muestrales, ya sea puntual o por un intervalo de confianza. Sin embargo con frecuencia, el objetivo de una investigación no es estimar un parámetro sino determinar cuál de los hipótesis contradictorias del parámetro es correcta.

La hipótesis nula se rechaza a favor de la hipótesis alterna, o alternativa, solo si la evidencia muestral sugiere que H_0 es falsa. Si la muestra no contradice decididamente a H_0 , se continúa creyendo en la validez de la hipótesis nula. Entonces, las dos conclusiones posibles de un análisis por prueba son rechazar H_0 o no rechazar H_0 .

2.2.7.1. Nivel de significancia

Según (ALFARO ALEJO, 2008) Los límites de esas regiones (valores críticos) vienen dados por el nivel de significación.

Número pequeño: 1%, 5%.

Fijado de antemano por el investigador.

2.2.7.2. Pruebas de independencia

Según (GANANCIAS MARTÍNEZ, 2010); menciona que las pruebas que se proponen para determinar si las variables que integran las series de las estaciones seleccionadas son independientes son las de: Anderson y la de Corridas de Wald-Wolfowitz.

A. Prueba de independencia Wald – Wolfowitz

En general suele suponerse que los datos recolectados en un estudio constituyen una muestra aleatoria, de modo que cada observación o medida es tomada de la población de manera

aleatoria e independiente. Tal suposición, sin embargo, puede ser probada mediante el empleo de un procedimiento no paramétrico conocido como prueba de corridas de una muestra de Wald-Wolfowitz. Este procedimiento no paramétrico no está relacionado con la prueba de cualquier parámetro en particular y, por tanto, no tiene una contraparte paramétrica.

2.2.7.3. Pruebas de estacionaridad

Según (RODRÍGUEZ S., et al., 2000), Indica que la prueba de estacionariedad se aplica a todas las series de tiempo de las estaciones seleccionadas, con el objetivo de determinar si la serie contiene un componente aleatorio o no. Con base en los resultados del programa STATS se han determinado los valores de la prueba Chi cuadrado y la probabilidad de que los valores esperados sean diferentes a los valores registrados.

Se pudo determinar que las series no son estacionarias debido a que los valores de probabilidad obtenidos están por fuera de los límites de confianza del 95 %, por lo tanto, las series tienen un componente aleatorio.

2.2.7.4. Pruebas de homogeneidad

a. Prueba de homogeneidad T Student

La prueba de homogeneidad se determinó aplicando la siguiente ecuación de T de Student; que a continuación se muestra:

Al aplicar la prueba T de Student que los valores de n_1 , n_2 de cada serie media que se compara, sean iguales.

Siendo S_1^2 , S_2^2 las varianzas de x_i en los dos periodos de registro respectivos.

$$t_c = \frac{(x_1 - x_2)}{\left[\left(\frac{(n_1)S_1^2 + (n_2)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

b. Prueba de homogeneidad Cramer

La prueba de homogeneidad de Cramer; es bastante útil, se la considera complementarias de prueba de t de Student, en la prueba de Cramer, \bar{x} y S son la media y la desviación estándar del registro total de n valores.

También \bar{x}_k es la media de subperiodo de n' valores

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=k+1}^{i=k+n} x_i}{n} \quad (2)$$

$$t_k = \frac{(\bar{x}_k - \bar{x})}{S} \quad (3)$$

$$tk = \left\{ \frac{n^{(n-2)}}{n - n^{[1+(tk)^2]}} \right\}^{\frac{1}{2}} (tk) \quad (4)$$

La estadística tk tiene distribución t de Student de dos colas con $v=n-2$ grados de libertad y es utilizado en la misma forma que la estadística td de la t de Student.

2.2.8. Análisis de correlación y análisis de regresión

Según (FATTORELLI, y otros, 2011), Indica que los análisis de correlación con el objeto de transferir información entre dos puntos de una cuenca hidrográfica, donde la misma variable ha sido registrada, o entre varias variables observadas simultáneamente constituyen una práctica hidrológica de uso frecuente.

Igualmente esta práctica se utiliza para completar datos perdidos en series hidrológicas o para la predicción de los valores de una variable en función de otros parámetros o variables medidos u observados. Los análisis hidrológicos se hacen más robustos cuando es posible realizar, para cuencas semejantes, estudios regionales que permiten una más adecuada generalización de los resultados.

Según (ESCALANTE SANDOVAL, et al., 2002), La correlación se define como una medida de dependencia lineal entre una variable. Para el caso de la asociación entre dos variables se tiene los procesos hidrológicos lluvia – escurrimiento, escurrimiento – descarga de sedimento, lluvia – descarga de sedimento y temperatura del agua – contenido de oxígeno. Para el caso multivariado, se puede asociar al escurrimiento las características fisiográficas y/o meteorológicas del sitio analizado.

A la expresión matemática que define la relación entre variables se le llama ecuación de regresión. Cuando se correlacionan dos variables la relación se conoce como regresión simple, cuando una variable se correlaciona con dos o más se trata de una relación o regresión múltiple.

En el análisis de regresión se lleva a cabo considerando que las variables dependiente e independiente (s) cumplen que:

1. Pertenecen a una distribución normal. Si este no es el caso, se debe efectuar un proceso de transformación normalizante.
2. Están espacialmente correlacionadas (coeficiente de correlación lineal diferente de cero).
3. Son serialmente independientes.

2.2.8.1. Correlación simple y múltiples

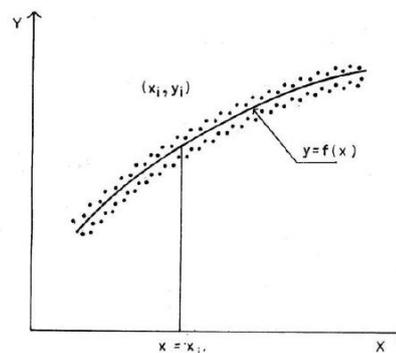
Según (FATTORELLI, y otros, 2011), Es una antigua práctica usada en hidrología y consiste en el proceso de establecer la asociación entre dos o más variables al azar, donde la variación

de una de ellas explica (en parte) la variación de la otra. Si existen solamente dos variables (x, y) es una correlación simple, si hay varias variables independientes (x_1, x_2, \dots, x_n) es una correlación múltiple.

Ejemplos típicos de correlación simple en hidrología son la asociación entre los datos de caudales medidos de dos estaciones de aforo de un mismo río para completar datos faltantes, o la asociación entre caudales de dos ríos de una región hidrológicamente homogénea.

Para el caso de correlación múltiple, un ejemplo típico en hidrología es correlacionar las descargas medias mensuales de un río con precipitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca. Si dos o más variables, que representan una serie de valores (y_1, y_2, \dots, y_n) (x_1, x_2, \dots, x_n), y en un gráfico se observan como una serie de puntos que se concentran alrededor de una línea imaginaria (recta o curva), entonces existe una distribución de valores y , para cada valor de x . (ver Figura N° 4).

Figura N° 4: Correlación simple entre las variables x, y



Fuente: Fattrelli & Fernandez, 2011

Regresión

Una curva ajustada a todos los valores medios de y para determinados valores de x , se le llama la línea de regresión de y versus x . Por otra parte una curva ajustada a los valores medios de x para determinados valores y , es la línea de regresión de x versus y . Estas dos líneas no coinciden y sus ecuaciones tienen

diferentes parámetros. La ecuación que define esa línea, $y = f(x)$ ó $x = f(y)$, es la ecuación de regresión. Generalmente, una variable se considera dependiente "y"; y la otra o las otras "x", son consideradas independientes $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Encontrada una correlación entre variables, esta es mejor cuanto menor dispersión tengan los puntos alrededor de la línea de regresión.

Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación es la forma más frecuente de expresar el grado de asociación entre dos variables:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{N \cdot \sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

Donde N es el número de pares de observaciones (x_i, y_i) ; \bar{x} y \bar{y} , valores promedios y desviaciones estándar de los valores observados de x e y, respectivamente.

De igual forma, una medida de asociación de varias variables una dependiente y otras independientes se expresa como el "coeficiente de correlación múltiple" e indica, el grado de diferencias entre los valores observados y los estimados.

El valor del coeficiente de correlación, r, oscila de +1 a -1; cuando r es positiva indica correlación directa (a un aumento de x, corresponde un aumento de y) y si es negativo es correlación inversa.

Frecuentemente, se usa, el valor de r^2 , llamado "coeficiente de determinación". Es una medida de la diferencia entre la varianza (σ^2) de los valores observados y la varianza de los valores estimados por la línea de regresión. A mayor valor de r^2 , menor

es esa diferencia (mejor es la regresión). Así si $r = 0.8$; $r^2 = 0.64$. Este valor indica que 64 por ciento de la varianza, está explicada por la regresión.

El cálculo de correlación y regresión incluye los siguientes pasos:

- ✓ Seleccionar una posible función de correlación, simple o múltiple, lineal o no lineal.
- ✓ Estimar los parámetros estadísticos que miden el grado de correlación (r^2).
- ✓ Estimar los parámetros de la ecuación de regresión.

Control de significancia trazado de límites de confianza alrededor de la línea de regresión.

2.2.8.2. Regresión múltiple potencial

Según (TUCCI, 2002), indica que la regionalización de caudales se propone en base al análisis de regresión, el cual procura inferir una relación matemática entre una variable dependiente el caudal (Q) y una o más variables independientes (x_1 , x_2 , x_m). la relación frecuentemente utilizada es la función potencial (MCCUEN, y otros, 1990); (PANDEY, y otros, 1999); (MERZ, y otros, 2004).

$$Q = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot \dots \cdot x_m^{b_m} \quad (6)$$

Para la reducción de la ecuación, se vuelve lineal aplicando logaritmos ambos lados, obteniéndose:

$$\ln Q = \ln b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 \cdot \dots + b_m \ln x_m \quad (7)$$

La solución por el método de los mínimos cuadrados permite obtener los coeficientes de ajuste buscado b_1 con $i = 1, 2, 3, \dots, m$. haciendo $a_0 = \ln b_0$ el valor de b_0 será igual e^{a_0} para los logaritmos naturales. Donde b_0 es la constante de regresión estimada por el análisis de regresión.

2.2.9. Pruebas estadísticas

Según (AZARANG ESFANDIARI, et al., 1997) Indica que una vez que se ha creado o se puede usar un generador es importante verificar si los números generados poseen las características mencionadas. La comprobación de tales características se realiza mediante ciertas pruebas estadísticas que son la siguiente:

- ✓ Prueba de media.
- ✓ Prueba de varianza.
- ✓ Prueba de forma.
- ✓ Pruebas de independencia.

2.2.10. Correlación

Para interpretar el coeficiente de correlación (r) que se obtiene, se tiene como criterio de decisión, la siguiente calificación:

✓ (+) (-) Correlación inexistente	$0.00 \leq r < 0.00$
✓ (+) (-) Correlación muy baja	$0.01 \leq r < 0.20$
✓ (+) (-) Correlación baja	$0.21 \leq r < 0.40$
✓ (+) (-) Correlación moderada	$0.41 \leq r < 0.60$
✓ (+) (-) Correlación alta	$0.61 \leq r < 0.80$
✓ (+) (-) Correlación muy alta	$0.81 \leq r < 0.99$
✓ (+) (-) Correlación perfecta	$1.00 \leq r < 1.00$

2.2.11. Evaluación estadística de los modelos regionales

2.2.11.1. Coeficiente de determinación (R^2)

Describe la proporción de la varianza en los datos observados que puede ser explicada por el modelo (LEGATES, et al., 1999).

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\}^2 \quad (8)$$

Donde:

y_i : Valor observado

\hat{y}_i : Valor calculado

\bar{y} : Promedio de los datos observados

N : Número de observaciones

En el caso de un predictor perfecto el coeficiente R^2 debiera ser 1. Si se obtiene valores cercanos a la unidad se tiene un modelo adecuado. El R^2 fue clasificado bajo los criterios de muy bueno > 0.95 , bueno de $0.85 - 0.95$, satisfactorio de $0.65 - 0.85$ e insatisfactorio < 0.65 (ANDERSEN, et al., 2001).

2.2.11.2. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

Propuesto por (NASH, y otros, 1970); como un indicador adimensional de la bondad de ajuste, relaciona los caudales observados con los calculados por el modelo. Indicador utilizado en la evaluación de modelos hidrológicos, caracterizado por su flexibilidad para ser aplicado a diversos tipos de modelos matemáticos (MCCUEN, y otros, 2006).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

Donde:

y_i : Valor observado

\hat{y}_i : Valor calculado

\bar{y} : Promedio de los datos observados

N : Número de observaciones

El criterio de Nash-Sutcliffe, mide cuanto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, $NSE=1$; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces $NSE=0$. La eficiencia de Nash y Sutcliffe fue clasificado bajo los criterios de muy bueno 0.90, bueno de 0.80 – 0.90, aceptable de 0.65 - 0.80 e insatisfactorio < 0.65 (RITTER, y otros, 2013).

2.2.11.3. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Según (LEGATES, et al., 1999), el error en las predicciones del modelo se cuantificará en términos de las unidades de la variable calculada mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Indicador usado frecuentemente y su definición está dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (10)$$

Donde:

y_i : Valor observado

\hat{y}_i : Valor calculado

N : Número de observaciones

2.2.11.4. Sesgo porcentual (BIAS)

Tendencia promedio de los datos simulados de ser mayores o menores que los datos observados (GUPTA, et al., 1999), Proporciona información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar una variable, cuantifica el error sistemático del modelo. Un BIAS positivo implica que la tendencia del modelo es a simular valores a la izquierda de las observaciones, y viceversa cuando es negativo. (MORIASI, y otros, 2007); mencionan que el valor óptimo de BIAS es 0.0, con valores de baja magnitud que indican modelo de simulación precisa, la expresión para el cálculo viene dada por la siguiente ecuación:

$$BIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)}{\sum_{i=1}^N y_i} \right] * 100 \quad (11)$$

Donde:

y_i : Valor observado

\hat{y}_i : Valor calculado

\bar{y} : Promedio de los datos observados

N : Número de observaciones

2.3. Definición de términos básicos

✓ **Modelos regionales**

Un modelo es una abstracción y una simplificación de la realidad. Una región puede representarse empleando modelos cada vez más abstractos, como fotografías aéreas, un mapa, un diagrama o una serie de ecuaciones que representen la dinámica del sistema regional.

✓ **Modelo matemático**

Los modelos matemáticos pueden ser de complejidad muy variable: desde una sencilla fórmula a un conjunto de ecuaciones diferenciales para cuya resolución sea imprescindible un ordenador.

✓ **Caudales máximos**

Los caudales máximos son flujos extremos que se presentan en las corrientes de agua los cuales son influenciados directamente por el comportamiento de la precipitación y las características propias de la cuenca.

✓ **Función de distribución**

La función de distribución describe el comportamiento probabilístico de una variable aleatoria X asociada a un experimento aleatorio, para estudiar la función de distribución se debe distinguir entre el caso discreto y el caso continuo.

✓ **La hidrometría.** - Se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo.

✓ **Sistema hidrométrico.** - Es el conjunto de actividades y procedimientos que permiten conocer los caudales de agua que circulan en los cauces de los ríos y canales de un sistema de riego,

con el fin de registrar, procesar y programar la distribución del agua. El sistema hidrométrico tiene como soporte físico la red hidrométrica.

- ✓ **Red hidrométrica.** - Es el conjunto de puntos ubicados estratégicamente en el sistema hidrográfico. Los puntos de medición deben ser adecuadamente ubicados a fin de determinar el caudal que circula en toda la red hidrográfica.

- ✓ **Puntos de control.** - Son los lugares donde se registran los caudales de agua que circulan por una sección hidráulica que pueden ser: estaciones hidrométricas, estructuras hidráulicas, compuertas, caídas, vertederos, medidores Parshall, RBC, ASC (Aforador Sin Cuello), miras, etc.

- ✓ **Hidrología superficial.** - estudia el comportamiento del agua sobre la superficie terrestre.

- ✓ **Caudal.** - Es el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por una sección de un cauce. Sus unidades normales son m^3/s ó l/s .

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

3.1.1. Parámetros de forma de la cuenca

A. Área de la cuenca (A)

Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortium aquarium.

Las áreas de las cuencas para la presente investigación se han determinado usando el software ArcGis 10.2.

B. Perímetro de la cuenca (P)

La longitud de la línea de divortium. Para la presente investigación se ha obtenido mediante el uso del software ArcGis 10.2.

C. Longitud del río principal (L)

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección, hasta un punto fijo de interés, para la presente investigación los puntos de interés son las estaciones hidrométricas o puntos de aforo las cuales se encuentra en el puente Ramis, río Verde, puente Unocolla, puente llave y el puente de Huancané.

D. Ancho promedio de la cuenca (Ap)

El ancho promedio de la cuenca, es la relación que existe entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$Ap = \frac{A}{L} \quad (12)$$

Donde:

Ap = ancho promedio de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km²)

L = longitud del cauce principal (km)

E. Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Cuya expresión matemática es la siguiente:

$$Kc = 0.282 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (13)$$

Donde:

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km²)

F. Factor de forma (Ff)

Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado de la longitud máximo recorrido del cauce (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.

Para un círculo $F_f = 0.79$, para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados $F_f = 1$ y con la salida en una esquina $F_f = 0.5$.

Cuya expresión matemática es la siguiente:

$$F_f = \frac{A}{L^2} \quad (14)$$

Donde:

A = área de la cuenca (km^2)

L = longitud del cauce principal (km)

G. Rectángulo equivalente (R_E)

Es la representación geométrica de una cuenca definida como un rectángulo que tenga la misma área de la cuenca. La longitud de sus lados está dada por:

$$R_E = 0.25 * P \pm \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A} \quad (15)$$

Donde:

R_E = longitud de sus lados del rectángulo (mayor y menor) en km

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km^2)

H. Radio de circularidad (R_C)

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada. La expresión matemática es la siguiente:

$$R_C = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (16)$$

3.1.2. Parámetros de relieve de la cuenca

A. Curva hipsométrica

Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran.

Llamada también Curva de Área – Elevación, representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

Las curvas hipsométricas también son asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

B. Polígono de frecuencias

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total.

C. Altitud media de la cuenca (Hm)

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

La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula:

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i a_i)}{A} \quad (17)$$

Donde:

Hm = elevación media de la cuenca (msnm)

Ci = cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm)

a_i = área i entre curvas de nivel (Km^2)

A = área total de la cuenca (Km^2)

D. Altitud de frecuencia media

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

E. Altitud más frecuente

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca.

F. Pendiente media de la cuenca

Este parámetro de relieve es importante debido a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas. Para su estimación se emplea el sistema del "Rectángulo Equivalente".

$$S_m = \frac{H}{L_m} \quad (18)$$

Donde:

S_m = pendiente media de la cuenca

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

L_m = Lado mayor del rectángulo equivalente (km).

G. Índice de pendiente de la cuenca (I_p)

El índice de pendiente representa la pendiente promedio de todas las áreas elementales de la cuenca y es importante para el estudio de la infiltración, recarga de acuíferos y clasificación de cuencas.

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{B_i(a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (19)$$

Donde:

I_p = índice de pendiente

N = Número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos

$A_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = Cotas de las n curvas de nivel consideradas (km)

B_i = Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas $a_i - a_{i-1}$. ($B_i = A_i/A_t$)

L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

H. Coeficiente de masividad (C_m)

Es la relación entre la elevación media y el área de la cuenca.

$$C_m = \frac{E}{A} \quad (20)$$

Donde:

E = Extensión media del escurrimiento superficial (km)

A = Área de la cuenca (km²)

I. Coeficiente orográfico (C_o)

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

$$C_o = C_m(E) \quad (21)$$

Donde:

C_m = Coeficiente de masividad de la cuenca

E = Extensión media del escurrimiento superficial
(km)

J. Coeficiente de torrencialidad (Ct)

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

$$C_t = \frac{N^{\circ} R_1}{A} \quad (22)$$

Donde:

Nº R1 = Número de ríos de primer orden

A = Área de la cuenca (km²)

3.1.3. Parámetros de la red hídrica

A. Tipo de corriente

Una manera comúnmente usada para clasificar el tipo de corriente es tomar como base la permanencia del flujo en el cauce del río. Los tipos de corriente en una cuenca es la siguiente:

Ríos Perennes.- son ríos que contienen agua permanentemente todo el año.

Ríos Intermitentes.- son ríos que en general contienen agua sólo durante épocas de lluvia y se secan en épocas de estiaje.

Ríos Efímeros.- son ríos que contienen agua, sólo cuando llueve, después se secan (quebradas).

B. Numero de orden de ríos

Es el grado de ramificación de las corrientes de agua, para su determinación se considera el número de bifurcaciones que tienen los tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde su nacimiento hasta su desembocadura.

C. Frecuencia de densidad de ríos (Fr)

Es el número de ríos por unidad de superficie de la cuenca. Se encuentra al dividir el número total del curso de agua (N° ríos) entre el área total de la cuenca (A), la expresión matemática es la siguiente:

$$Fr = \frac{N^{\circ} \text{ rios}}{A} \quad (23)$$

Donde:

N° ríos = número de ríos de la cuenca

A = área de la cuenca (km²)

D. Densidad de drenaje (Dd)

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua: perennes, intermitentes o efímeros de la cuenca y el área total de la misma. Representa la cantidad de kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie.

$$Dd = \frac{L_r}{A} \quad (24)$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²)

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

A = Área de la cuenca (km²)

E. Extensión media del escurrimiento superficial (E)

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca. La expresión matemática es la siguiente:

$$E = \frac{A}{L_r} \quad (25)$$

Donde:

A = área de la cuenca (km²)

Lt = longitud total de la cuenca (km)

F. Pendiente media del río principal (Sm)

La velocidad de la escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos.

La pendiente media del cauce principal, según Taylor y Schwarz es la relación entre la diferencia de alturas y la longitud del curso principal.

$$Sm = \frac{(H_M - H_m)}{1000 * L} \quad (26)$$

Donde:

S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

L = Longitud del cauce principal (km)

M m, HM = Altura máxima y mínima del lecho del río principal, referidos al nivel medio de las aguas del mar (msnm)

G. Altura media del río principal (Hmed)

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

$$H = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \quad (27)$$

Donde:

Hmáx.= Altura máxima del lecho del río principal (msnm)

Hmín. = Altura mínima del lecho del río principal (msnm)

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

3.2.1. Precipitación

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

Para poder explicar de mejor forma el suceso de la escorrentía superficial en las cuencas de los ríos Huancané, Ramis, Unocolla, Verde e llave; es necesario relacionarla con la precipitación y de esta forma, no sólo validar la información histórica disponible, sino también practicar una modelación matemática que reproduzca el proceso precipitación – escorrentía, para lo cual se requiere previamente cuantificar la incidencia simultánea de la precipitación sobre la cuenca, a lo que denominamos cálculo de la precipitación areal utilizando métodos convencionales de cálculo.

3.2.2. Red de estaciones meteorológicas

La información pluviométrica disponible correspondiente a una red de 57 estaciones meteorológicas para el estudio de la precipitación.

Cuadro N° 3: Características geográficas de los observatorios Meteorológicas

N°	TIPO	ESTACION	UBICACIÓN HIDROGRAFICA (CUENCA)	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA			PROPIETARIO
				DISTRITO	PROVINCIA	DPTO	ALTITUD (msnm)	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	
1	CO	Ananea	Ramis	Ananea	San Antonio de Putina	Puno	4660	14°40'42.4"	69°32'03.3"	Senamhi
2	PLU	Antauta	Ramis	Antauta	Melgar	Puno	4150	14°20'00"	70°25'00"	Senamhi
3	CO	Arapa	Titicaca	Arapa	Azángaro	Puno	3830	15°08'10.5"	70°07'05.6"	Senamhi
4	CO	Ayaviri	Ramis	Ayaviri	Melgar	Puno	3928	14°52'21.6"	70°35'34.4"	Senamhi
5	CO	Azángaro	Ramis	Azángaro	Azángaro	Puno	3863	14°54'51.7"	70°11'26.7"	Senamhi
6	CO	Capachica	Titicaca	Capachica	Puno	Puno	3933	15°36'56"	69°50'38.4"	Senamhi
7	CP	Chuquibambilla	Ramis	Umachiri	Melgar	Puno	3971	14°47'05.2"	70°42'56.5"	Senamhi
8	CO	Cojata	Suches	Cojata	Huancané	Puno	4380	15°01'00"	69°22'00"	Senamhi
9	CO	Condorama	Colca	Callalli	Calloma	Arequipa	4160	15°24'01"	71°18'01"	Senamhi
10	CO	Crucero	Ramis	Crucero	Carabaya	Puno	4130	14°21'44.4"	70°01'.24.7"	Senamhi
11	CO	Huancané	Huancané	Huancané	Huancané	Puno	3890	15°12'5.4"	69°45'12.8"	Senamhi
12	CO	Juliaca	Coata	Juliaca	San Roman	Puno	3826	15°29'00"	70°09'00"	Senamhi
13	CO	La Raya	Vilcanota	Layo	Canas	Cusco	4120	14°30'00"	71°0'00"	UNSAAC
14	CO	Lampa	Coata	Lampa	Lampa	Puno	3892	15°22'00"	70°22'00"	Senamhi
15	CO	Llalli	Ramis	Llalli	Melgar	Puno	3980	14°56'11.5"	70°53'09.4"	Senamhi
16	CO	Macusani	Inambari	Macusani	Carabaya	Puno	4341	14°4'5.5"	70°25'25.6"	Senamhi
17	CO	Muñani	Huancané	Muñani	Azángaro	Puno	3948	14°46'01"	69°57'06.5"	Senamhi
18	PLU	Nuñoa	Ramis	Nuñoa	Melgar	Puno	4135	14°29'00"	70°38'00"	Senamhi
19	PLU	Orurillo	Ramis	Orurillo	Melgar	Puno	3920	14°44'00"	70°31'00"	Senamhi
20	CO	Pampahuta	Coata	Paratia	Lampa	Puno	4400	15°29'01.4"	70°40'33.6"	Senamhi
21	CO	Progreso	Ramis	Asillo	Azángaro	Puno	3970	14°41'21"	70°21'55.8"	Senamhi
22	CO	Pucará	Ramis	Pucará	José Domingo Choquehuanca	Puno	3910	15°02'19.2"	70°20'56.9"	Senamhi
23	CO	Putina	Huancané	Putina	San Antonio de Putina	Puno	3878	14°55'15.5"	69°52'03.8"	Senamhi
24	CO	Quillisani	Coata	Paratia	Lampa	Puno	4600	15°23'00"	70°45'00"	Senamhi
25	CO	Santa Rosa	Ramis	Santa Rosa	Melgar	Puno	3966	14°37'25.5"	70°47'11.5"	Senamhi
26	CO	Sicuani	Vilcanota	Sicuani	Canchis	Cusco	3546	14°14'14.2"	71°14'12.1"	Senamhi
27	CO	Taraco (Peru)	Ramis	Taraco	Huancané	Puno	3820	15°18'00"	69°59'00"	Senamhi
28	CO	Yauri	Apurimac	Yauri	Espinar	Cusco	3940	14°48'10"	71°25'50"	Senamhi
29	CO	Cabanillas	Coata	Cabanillas	San Roman	Puno	3892	15°10'10.5"	69°58'11.6"	Senamhi
30	CO	Mañazo	Titicaca	Mañazo	Puno	Puno	3920	14°48'00.2"	70°03'59.7"	Senamhi
31	CO	Ichuña	Alto Tambo	Sanchez Cerro	Moquegua	Moquegua	3800	16°07'58,80"	70°33'07.20"	Senamhi
32	CO	Lampa	Coata	Lampa	Lampa	Puno	3892	15°21'40.17"	70°22'27.12"	Senamhi
33	CO	Capachica	Titicaca	Capachica	Puno	Puno	3828	15°36'16.69"	69°49'55.20"	Senamhi
34	CO	Imata	Chili	San Antonio de Chuca	Caylloma	Arequipa	4519	15°50'12"	71°5'16"	Senamhi
35	CO	Crucero Alto	Chili	San Antonio de Chuca	Caylloma	Arequipa	4470	15°46'1,19"	70°55'01,21"	Senamhi
36	CO	Capazo	Mauri	Capaso	El Collao	Puno	4530	17°11'15,8"	69°44'07,8"	Senamhi
37	CO	Vilacota	Mauri	Tarata	Tarata	Tacna	4390	17°07'06.0"	72°03'03.0"	Senamhi
38	PLU	Coypa Coypa	Ilave	Mazocruz	El Collao	Puno	4450	17°01'00"	69°56'00"	Pet - Tacna
39	PLU	Chichillapi	Ilave	Mazocruz	El Collao	Puno	4050	16°55'00"	69°44'00"	Pet - Tacna
40	CO	Mazocruz	Ilave	Mazocruz	El Collao	Puno	4003	16° 44' 24.4 "	69°42' 21.9"	Senamhi
41	CO	Pizacoma	Alto Desaguadero	Pizacoma	Chucuito	Puno	4060	16°54'25.3"	69°22'06.8"	Senamhi
42	PLU	Chilligua	Ilave	Juli	Chucuito	Puno	3960	16°32'25.4"	69°40'11.5"	Senamhi
43	CO	Yorohoco	Alto Desaguadero	huacullani	Chucuito	Puno	3845	16°33'54"	69°19'14"	Pelt
44	CO	Desaguadero	Alto Desaguadero	Desaguadero	Chucuito	Puno	3860	16°33'48.06"	69°02'19.8"	Senamhi
45	CO	Pocochaque	Alto Desaguadero	Pomata	Chucuito	Puno	3850	16°22'49"	19°17'06"	Pelt
46	CO	Juli	Titicaca	Juli	Chucuito	Puno	3812	16°12'13.6"	69°27'35.7"	Senamhi
47	CO	Ilave	Ilave	Ilave	El Collao	Puno	3880	16°05'17.7"	69°38'42"	Senamhi
48	CO	Rincón de la Cruz	Titicaca	Ácora	Puno	Puno	3835	15°59'26.1"	69°48'39"	Senamhi
49	CO	Laraquero	Ilave	Pichacani	Puno	Puno	3900	16°09'16.9"	70°03'59.7"	Senamhi
50	CP	Puno	Titicaca	Puno	Puno	Puno	3820	15°49'34.5"	70°00'43.5"	Senamhi
51	CO	Pampa Umalzo	Tambo	Moquehua	Mariscal Niet	Moquegua	4601	16° 52'30"	70°21'00"	Senamhi
52	CO	Huaraya Moho	Titicaca	Moho	Moho	Puno	3832	15°23'17.14"	69°29'2.23"	Senamhi
53	CO	Cojata	Suches	Cojata	Huancané	Puno	4327	15°00'42.4"	69°21'40.5"	Senamhi
54	PLU	Suches	Suches	-	F.Tamayo	La Paz	4655	14°47'27.0"	69°19'07.0"	Senamhi
55	C	Puerto Acosta	Titicaca	-	Camacho	La Paz	3835	15°32'30.66"	69°15'8.32"	Senamhi-Bolivia
56	PLU	Escoma	Suches	-	Camacho	La Paz	3828	15°40'00"	69°08'00"	Senamhi-Bolivia
57	PLU	Chahuaya	Titicaca	-	Camacho	La Paz	4500	15°45'00"	68°59'00"	Senamhi-Bolivia

Fuente: Elaboración propia

proceder a efectuar el Modelamiento Matemático de cualquier serie hidrometeorológica es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo a fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable; porque la inconsistencia de datos puede producir un sobre y subdiseño de estructuras hidráulicas. El análisis de consistencia se realiza con tres métodos, tales como son:

- ✓ Análisis visual de hidrogramas.
- ✓ Análisis de doble masa.
- ✓ Análisis estadístico.

3.2.3.1. Análisis visual de hidrogramas

Este análisis se realiza para detectar e identificar la inconsistencia de la información meteorológica en forma visual, e indicar el período o los períodos en los cuales los datos son dudosos, lo cual se puede reflejar como "picos" muy altos o valores muy bajos, "saltos" y/o "tendencias", los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o hidrograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas ploteando la información histórica de la variable meteorológica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie meteorológica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años.

3.2.3.2. Análisis de doble masa

El análisis de doble masa, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias en los datos hidrológicos múltiples (cuando se disponen de dos o más series de datos) en lo que respecta a errores que pueden haberse

producido durante la obtención de los mismos, pero no para realizar una corrección a partir de la curva de doble masa.

Los posibles errores se pueden detectar por el quiebre o quiebres que presenta la recta de doble masa; considerándose un registro de datos con menos errores sistemáticos, en la medida que presenta un menor número de puntos de quiebre.

Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que, si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico.

3.2.3.3. Análisis estadístico de salto y tendencias

El análisis estadístico de presencia de "Saltos y Tendencias" de la información pluviométrica a escala mensual, se realiza mediante los estadísticos "T" de Student para la comprobación de variaciones en la media, y "F" de Fischer en la evaluación de variancias. Estos test prueban si dos series de datos corresponden a una misma población. Se ha asumido períodos consistentes e inconsistentes luego de la correspondiente evaluación de los histogramas y la identificación de saltos mediante la curva Doble Masa.

Los valores de T_c y F_c son comparados con los valores teóricos límites esperados obtenidos de las Tablas estadísticas con una probabilidad del 95% (o un grado de significancia de $\alpha = 0.05$) y con $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad para la prueba T Student y con $N_1 - 1$, $N_2 - 1$ grados de libertad para la prueba F. Si $|T_c| < T_t$ y $F_c < F_t$, entonces el salto en la media y desviación estándar respectivamente no es significativo, aún presentando quiebres en la curva Doble Masa; pero si el resultado es contrario a lo anterior, entonces si es necesario realizar la corrección

respectiva. Este análisis se efectúa con el apoyo de una hoja de cálculo electrónica.

3.2.3.3.1. Análisis de saltos

Consiste en probar tanto en la media como en la desviación estándar, seguidamente su corrección si el caso requiere.

Consistencia en la media.

Consiste en probar estadísticamente utilizando la prueba "t" (prueba de hipótesis), si los valores medios \bar{X}_1, \bar{X}_2 de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con un nivel de significación de 5% dicho de otro modo con una probabilidad de 95% de precisión. Se debe seguir el siguiente procedimiento para obtener los resultados:

a) La media y la desviación estándar

Se obtiene para cada periodo a comparar.

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i ; S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j ; S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad (29)$$

Donde:

x_i = Valores de la serie del periodo 1

x_j = Valores de la serie del periodo 2

\bar{x}_1, \bar{x}_2 = Medias de los periodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x), S_2(x)$ = Desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente

n = Tamaño de la muestra

n_1, n_2 = Tamaño de la muestra

b) Calculo del t calculado

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (30)$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis es que las medidas son iguales)

Quedando:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (31)$$

Además:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (33)$$

Siendo:

$S_{\bar{d}}$ = desviación de las diferencias de los promedios

S_p = desviación estándar ponderada

c) Calcular el t tabulado (t_t)

El valor crítico de t se obtiene de la tabla t de student (VILLÓN BÉJAR, 2005 p. 420); hidrología estadística, entrando con una probabilidad al 95% y grados de libertad de: $v=n_1+n_2-2$.

d) Comparación de (t_c) y (t_t)

- ✓ Si $t_c \leq t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente), no se debe realizar el proceso de corrección
- ✓ Si $t_c > t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente), se debe corregir la información

Consistencia en la desviación estándar.

Consiste en probar mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad de 95% de la siguiente forma:

a) Calculo de la varianza en los dos periodos

$$S^2_1(x) = \left(\frac{1}{n_1 - 1} \right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad (34)$$

$$S^2_2(x) = \left(\frac{1}{n_2 - 1} \right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \quad (35)$$

b) Calculo de F calculado (F_c)

$$F_c = \frac{S^2_1(x)}{S^2_2(x)}, \text{ si } S^2_1(x) > S^2_2(x) \quad (36)$$

$$F_c = \frac{S^2_2(x)}{S^2_1(x)}, \text{ si } S^2_2(x) > S^2_1(x) \quad (37)$$

c) Calculo de F tabulado (F_t)

Este parámetro se determina utilizando la tabla F (VILLÓN BÉJAR, 2005 p. 418); para una probabilidad del 95% y con un determinado de grados de libertad en el numerador y en el denominador:

$$\left. \begin{array}{l} G.L.N. = n_1 - 1 \\ G.L.D. = n_2 - 1 \end{array} \right\}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \quad (38)$$

$$\left. \begin{array}{l} G.L.N. = n_2 - 1 \\ G.L.D. = n_1 - 1 \end{array} \right\}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad (39)$$

Siendo:

G.L.N. = grados de libertad del numerador

G.L.D. = grados de libertad del denominador

d) Comparación de F tabulado y el F calculado (F_t) y (F_c)

- ✓ 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), se realiza la corrección.

Corrección de la información

Si en caso en que los parámetros de media y desviación estándar de las submuestras, resultan estadísticamente igual, pues entonces ya se no debe corregir la información original, por ser consistente al 95% de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres. Caso contrario se debe de corregir las muestras utilizando las ecuaciones siguientes:

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} \cdot S_2(x) + \bar{x}_2 \quad (40)$$

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} \cdot S_1(x) + \bar{x}_1 \quad (41)$$

Donde:

$X'_{(t)}$ = valor corregido de saltos

x_t = valor corregido de saltos

3.2.3.3.2. Análisis de tendencia

Antes de realizar el análisis de tendencia, se debe realizar los análisis de saltos, y con la serie sin saltos, proceder a analizar las tendencias en la media y desviación estándar.

Tendencia en la media (T_m).

El T_m se expresa en forma general por la ecuación polinomial:

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \quad (42)$$

El T_m en forma particular por la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t \quad (43)$$

Donde:

t = Tiempo en años, tomado como variable independiente de la tendencia. $t = 1, 2, 3, \dots, n$

T_m = Tendencia en la media

$T_m = X'(t)$ = Valor corregido de saltos

A_m, B_m, C_m, D_m = Coeficiente de los polinomios de regresión

Para determinar los parámetros de la tendencia en la media por regresión lineal se procede de la siguiente manera:

a) Determinación de promedios y desviación estándar

Utilizando la ecuación (43)

$$A_m = \bar{T}_m - \bar{t} B_m \quad (44)$$

$$B_m = R * \frac{S_{T_m}}{S_t} \quad (45)$$

$$R = \frac{\overline{t.T_m} - \bar{t}.\overline{T_m}}{S_t.S_{T_m}} \quad (46)$$

Donde:

$$\overline{T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_m = \frac{1}{n} \sum X'_{(t)i} \quad (47)$$

$$\overline{t.T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i.T_{mi} \quad (48)$$

$$S_{T_m} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (T_m - \overline{T_m})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}; \quad S_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (49)$$

Además:

$\overline{T_m}$ = promedio de las tendencias $T_m = X' (t)$

\bar{t} = promedio del tiempo t

S_{T_m} = Desviación estándar de la tendencia de la media T_m

S_t = Desviación estándar del tiempo t

b) Evaluación de la tendencia T_m

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de correlación R , realizando los procedimientos siguientes:

✓ Cálculo del t calculado (t_c).

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (50)$$

Donde:

n = Número total de datos

R = Coeficiente de correlación

✓ **Calculo del t tabulado (t_t).**

El valor crítico de t , se obtiene de la tabla de t de student (VILLÓN BÉJAR, 2005 p. 420) Hidrología estadística, con un 95% de probabilidad así como sigue:

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025 ; G.L.=n-2$$

✓ **Comparación entre el t calculado y el t tabulado.**

* Si $t_c \leq t_t(95\%) \rightarrow R$ no es significativo, no se corrige.

* Si $t_c > t_t(95\%) \rightarrow R$ si es significativo, si hay necesidad de corregir.

c) Corrección de la información

La tendencia en la media se elimina haciendo uso de la ecuación:

$$Y_t = X'_{(t)} - (A_m + B_m t) \quad (51)$$

Donde:

$X'_{(t)}$ = serie corregida de saltos

T_m = tendencias en la media, obtenida de la ecuación
(42)

Y_t = serie sin tendencia en la media

3.2.3.4. Completación y extensión de datos

La completación y extensión de la información pluviométrica, se realiza con el fin de obtener una serie completa y de un período uniforme.

Para la completación y extensión de la información pluviométrica, se ha utilizado el software hidrológico denominado Hec-4 Monthly Streamflow Simulation, desarrollado

por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América.

La completación y extensión de registros de la información pluviométrica, se ha desarrollado utilizando la información consistente y confiable obtenida en el análisis anterior. Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones consideradas en el presente estudio, se han completado y extendido del período 1964-2016.

Para el proceso de completación y extensión de la información pluviométrica se conformó grupos, según la pertenencia a una cuenca o zona hidrológica con comportamiento similar, cuencas o estaciones vecinas con igual altitud, a continuación se presenta los grupos de estaciones consideradas.

Cuadro N° 5: Grupo de estaciones para completación y extensión de datos

Desc	Pto. Interes	Estaciones meteorológicas						
		Grupo N° 01	Grupo N° 02	Grupo N° 03	Grupo N° 04	Grupo N° 05	Grupo N° 06	Grupo N° 07
Cuenca Ramis	Puente ramis	Ananea Antauta Crucero Macusani	Chuquibambilla La Raya Santa Rosa Sicuani Yauri	Ayaviri Lampa Llalli Pucará	Condorama Pampahuta Quillisani	Azángaro Nuñoa Orurillo Progreso Chuquibambilla	Arapa Capachica Huancané Juliaca Taraco	Cojata Muñani Putina
Cuenca Coata - (Cuenca Verde)	Puente Unocolla	Llalli Ayaviri Pucara	Pampahuta Cabanillas Quillisani Mañazo Ichuña Santa Lucia	Lampa Puno Capachica Juliaca Taraco	Condorama Imata Crucero Alto			
Cuenca Huancané	Puente Huancané	Arapa Huancané Huaraya Moho Taraco	Azángaro Muñani Progreso Putina	Ananea Cojata Crucero Suches	Conima Puerto Acosta Escoma Chahuaya			
Cuenca llave	Puente llave	Capazo Vilacota Coypa Coypa Chichillapi Mazocruz Pampa Umalzo	Pizacoma Chilligua Yorohoco Desaguadero Pocoaque Estación Juli	llave Rincón de la Cruz Laraqueri Puno Mañazo				

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Precipitación areal de la cuenca

Para el presente estudio de investigación se ha determinado la precipitación areal de las cuencas, utilizando el método de los polígonos de Thiessen Modificado.

3.2.4.1. Método de polígono de Thiessen Modificado

Está basado en una composición del método de las Isoyetas y los Polígonos de Thiessen. Cabe recalcar, que la precipitación de un área de influencia definida por los Polígonos de Thiessen, no guarda relación estricta con la precipitación de la estación involucrada; sin embargo, es posible asumir que la variación temporal que presenta la precipitación del área y la precipitación de la estación pluviométrica, posee cierto grado de uniformidad, por lo cual, la relación entre estos valores de precipitación tiende a mantenerse constante.

La información necesaria para el método de los Polígonos de Thiessen Modificado, es la existencia previa de Isoyetas. Esta información condiciona bastante a este método, debido a que su exactitud dependerá fuertemente de la calidad de esta información pluvial, ya sea en el grado de semejanza a la realidad que posean o en la cantidad de datos utilizada en su construcción, entre otros aspectos.

$$P_m = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_{mai}}{P_{mei}} \right) * P_{eaij} * \left(\frac{S_i}{S_t} \right) \right] \quad (52)$$

Donde:

P_m = Precipitación media del área de estudio (mm)

P_{mai} = Precipitación media del área de influencia de la estación i

P_{mei} = Precipitación media de la estación i

Pe_{ij} = Precipitación de la estación del área de influencia i , en el período j

S_i = Superficie del área de influencia de la estación i

S_t = Superficie total del área de estudio

$$P_m = \sum_{i=1}^n [K_i * P_{e_{ij}} * R_i] \quad (53)$$

K_i = Constante de proporcionalidad de precipitaciones de la estación i

R_i = Constante de proporcionalidad de superficies de la estación i

El valor de P_{mai} , se obtiene a partir de un mapa de isoyetas del área de estudio y el valor de P_{mei} , se obtiene como un promedio aritmético de los datos que posee la estación pluviométrica en análisis.

La constante K_i presenta valores mayor o igual a cero ($K_i \geq 0$), mientras la constante R_i , denota valores de $0 \leq R_i \leq 1$

$$P_m = \sum_{i=1}^n [C_{ei} * P_{e_{ij}}] \quad (54)$$

C_{ei} = Coeficiente de la estación i

El coeficiente de la estación i (C_{pi}), se obtiene multiplicando la constante de proporcionalidad de la estación i (K_i) y la constante de proporcionalidad de superficies de la estación i (R_i).

3.3.1.2. Estación hidrométrica puente Ramis – río Ramis

La estación hidrométrica puente Ramis, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM E-406173.81, N-8313240.84 y a una altitud de 3820 msnm. En el puente Ramis sobre el río Ramis.

Se ubica en la parte baja de la cuenca del río Ramis, aguas muy debajo de la afluencia de los ríos Ayaviri y Azángaro. Siendo su área de drenaje de 14704.29 km².

3.3.1.3. Estación hidrométrica puente Unocolla – río Coata

La estación hidrométrica puente Unocolla, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM E-397340, N-8278963 y a una altitud de 3827 msnm. En el puente Unocolla sobre el río Coata. Se ubica en la parte baja de la cuenca Coata, después de la afluencia de los ríos Cabanillas y Lampa, mide todo el escurrimiento de la cuenca del río Coata, siendo su área de drenaje de 4448.48 km².

3.3.1.4. Estación hidrométrica río verde

La estación hidrométrica río Verde, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM E-316421.88, N-8278807.58 y a una altitud de 4250 msnm. En la estación de aforo existente sobre el río Verde.

Se ubica en la parte baja de la subcuenca Medio alto Coata, después de la confluencia con el río Paratia, mide todo el escurrimiento del área de drenaje la subcuenca medio alto Coata hasta el punto de aforo, siendo su área de drenaje de 748.96 km².

3.3.1.5. Estación hidrométrica puente llave – río llave

La estación hidrométrica puente llave, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM E-432650, N-8221600 y a una altitud de 3825 msnm. En el puente llave sobre el río llave.

Se ubica en la parte baja de la cuenca llave, después de la confluencia de los ríos Huenque y Aguas Caliente, mide todo el escurrimiento de la cuenca del río llave, siendo su área de drenaje de 7772.70 km².

3.4. PRUEBAS EN DATOS HIDROLOGICOS DE ESTACIONES HIDROMETRICAS

Para que los resultados de análisis de frecuencias sean teóricamente válidos, las series de datos deberán satisfacer determinados criterios estadísticos, como los de aleatoriedad.

3.4.1. Prueba de independencia

3.4.1.1. Prueba de independencia Wald – Wolfowitz

La prueba de independencia se determinó mediante el software Hyfran con un nivel de significancia de 5%.

3.4.2. Prueba de estacionalidad

3.4.2.1. Prueba de estacionalidad Kendall

La prueba de estacionalidad se determinó mediante el software Hyfran con un nivel de significancia de 5%.

3.4.3. Prueba de homogeneidad

3.4.3.1. Prueba de homogeneidad de Wilcoxon

La prueba de homogeneidad se determinó mediante el software Hyfran con un nivel de significado de 5%.

3.4.3.2. Prueba de homogeneidad T Student

La prueba de homogeneidad se determinó aplicando la siguiente ecuación de T de Student; que a continuación se muestra:

Al aplicar la prueba T de Student que los valores de n_1 , n_2 de cada serie media que se compara, sean iguales.

Siendo S_1^2 , S_2^2 las varianzas de x_i en los dos periodos de registro respectivos.

$$tc = \frac{(x_1 - x_2)}{\left[\left(\frac{(n_1)S_1^2 + (n_2)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (55)$$

3.4.3.3. Prueba de homogeneidad de Cramer

La prueba de homogeneidad de Cramer; es bastante útil, se la considera complementarias de prueba de t de Student, en la prueba de Cramer, \bar{x} y S son la media y la desviación estándar del registro total de n valores.

También \bar{x}_k es la media de subperiodo de n' valores.

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=k+1}^{i=k+n} x_i}{n'} \quad (56)$$

$$\tau_k = \frac{(\bar{x}_k - \bar{x})}{S} \quad (57)$$

$$tk = \left\{ \frac{n^{(n-2)}}{n - n^{[1+(\tau_k)^2]}} \right\}^{\frac{1}{2}} (\tau_k) \quad (58)$$

La estadística tk tiene distribución t de Student de dos colas con $v=n-2$ grados de libertad y es utilizado en la misma forma que la estadística td de la t de Student.

3.5. MODELOS REGIONALES

Los modelos regionales de caudales de crecida que relacionan el caudal máximo diario con las variables climáticas y los parámetros geomorfológicos de la cuenca.

3.5.1. Modelos regionales de caudales de crecida

Se determinó la variable climática que es la precipitación media areal mediante el método de Thiessen modificado, así también se determina los parámetros geomorfológicos de la cuenca como son, área de la cuenca (A), perímetro de la cuenca (P), longitud del río principal (L), ancho promedio de la cuenca (Ap), radio de circularidad (Rc), pendiente media (Sm) y pendiente media del río principal (Smp) y otros estos parámetros se determinó para cada estación hidrométrica mediante el uso del software de ArcGis 10.2.

En base a la información disponible de caudales máximos diarios de las estaciones hidrométricas de: Puente Ramis, Puente Unocolla, Río Verde, Puente llave y Puente Huancané. Se desarrolla una ecuación para el cálculo de caudales máximos instantáneos en base a la formulación del modelo regional.

Inicialmente, para desarrollar el modelo es necesario realizar el ajuste de los caudales máximos diarios a valores de caudales máximos instantáneos. Para esto se ha utilizado el método de Fuller.

Formula de Fuller:

$$Q_{inst} = Q_{max} \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.33}} \right) \quad (59)$$

Donde:

Q_{inst} = Caudal máximo instantáneo (m³/s)

Q_{max} = Caudal máximo medio diario (m³/s)

A = Área de la cuenca de interés (Km²)

La secuencia seguida es la siguiente:

- ✓ Seleccionar los caudales máximos de cada año de cada estación de análisis.
- ✓ Determinar el promedio Q_{pmax} de cada muestra.
- ✓ Obtener una muestra global adimensional dividiendo los elementos de cada serie entre Q_{pmax} de la misma.
- ✓ Luego con los valores adimensionales obtenidos se realiza el análisis de frecuencia, utilizando las distribuciones: Gumbel, LogNormal, LogNormal 3 parametros y LogPearson III. Para realizar este análisis se ha utilizado el software FLFREQ.

Los modelos regionales se obtuvieron en base al análisis de regresión múltiple no lineal potencial.

Para la presente investigación se seleccionaron las características climáticas y geomorfológicas respecto al punto de interés en estudio (estación hidrométrica o hidrológica).

La ecuación que permite determinar este valor en cualquier punto de interés en la cuenca, es la siguiente:

$$Q_{pmax} = \alpha_1 * A^{n_1} L^{n_2} PP^{n_3} \quad (60)$$

Donde:

- Q_{pmax} = Caudal máximo diario en (m^3/s)
- A = Área de la cuenca (km^2)
- L = Longitud del cauce principal (Km)
- PP = Precipitación areal de la cuenca (mm)

3.6. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS MODELOS REGIONALES

La precisión de los modelos regionales de caudales de crecida, se evaluaron mediante los indicadores estadísticos del Coeficiente de determinación (R^2), Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), Raíz de error cuadrático medio (RMSE) y Sesgo porcentual (BIAS). Para la evaluación de los indicadores estadísticas se realizó mediante las ecuaciones 8, 9, 10 y 11 de la presente investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

4.1.1. Parámetros de forma de la cuenca

Se determinó los parámetros de forma de las cuencas de la vertiente del Titicaca, tomando como referencia la data en formato chape (shp) de las Autoridades Administrativa del Agua del Titicaca.

Se determinó los siguientes parámetros de forma: Área de la cuenca en estudio hasta la estación hidrológica, perímetro de la cuenca, longitud del río principal, longitud total de los ríos de diferentes grados, ancho promedio de la cuenca, coeficiente de compacidad, factor de forma, rectángulo equivalente y radio de circularidad. Los resultados de los parámetros de forma de estaciones hidrológicas seleccionadas para el presente estudio se presentan en el anexo Cuadro N° 28 y Mapa N° 3.

A. Área de la cuenca

Se determinó el área de la cuenca en estudio, haciendo uso del software ArcGis 10.2, en la cual se ha verificado que existe diferentes tamaños de áreas, en donde el menor tamaño de áreas es del río verde con 748.96 km² y el tamaño mayor corresponde a la cuenca del río Ramis con 14704.29 km². Así mismo (VILLÓN BÉJAR, 2002), considera cuenca grande, cuando el área es mayor de 250 km². Y por ende las áreas de las cuencas en estudio es considerado como cuencas grandes.

B. Perímetro de la cuenca

Se realizó la longitud de la línea de divortium, haciendo uso el software ArcGis 10.2, donde se verifica que existe diferentes

longitudes de perímetro de la cuenca en estudio. La cual tiene como menor perímetro de la estación hidrológica de río verde con 140.83 km y el perímetro mayor es de la estación hidrológica del río Ramis con 982.5 km.

Así mismo (MONTSERRAT, 1985), indica que el perímetro y su forma están íntimamente relacionada con la litología y edad de la cuenca de drenaje.

C. Longitud del río principal de la cuenca

Se determinó la longitud del río principal de las cuencas en estudio, haciendo uso el software ArcGis 10.2. Donde se constata que existe diferentes longitudes de los ríos principales de la cuenca en estudio. La menor longitud del río corresponde al río Verde con 40.32 km y la mayor longitud del río es de 367.5 km perteneciente al río Ramis.

Así mismo (SEGERER, et al., 2008) , considera como río principal al de mayor longitud, desde la sección de control hasta su nacimiento sobre la divisoria de la cuenca.

D. Ancho promedio de la cuenca

Se tiene como resultado el ancho promedio de la cuenca en estudio, como menor promedio de la cuenca es de río Verde con 18.56 km y el mayor promedio de la cuenca es del río Ramis con 40.01 km.

E. Coeficiente de la compacidad

Se determinó el coeficiente de compacidad de las cuencas en estudio obteniendo como resultado entre los rangos de 1.45 – 2.28. Así mismo (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), indica que los valores de 1.5-3.0 la cuenca es alargada. Este índice da una idea de la forma de la cuenca, siendo esta una característica que determina la distribución del escurrimiento a lo largo de los cursos de agua principales.

F. Factor de forma

Se determinó el factor de forma de las cuencas en estudio, obteniendo como resultados entre los rangos de 0.11 – 0.46. Los valores menores de la unidad quieren decir que las cuencas en estudio son de forma alargada. Esto según (MONTSERRAT, 1985).

G. Rectángulo equivalente

Se determinó el rectángulo equivalente del lado mayor y lado menor de las cuencas en estudio.

Se tiene como resultado del lado mayor entre los rangos de 57 km – 459.23 km. Y del lado menor esta entre el rango de 13.06 km – 32.02 km. Como resultado menor pertenece a la cuenca del rio Verde y el resultado mayor es del rio Ramis.

H. Radio de circularidad

Se determinó el radio de circularidad de las cuencas en estudio. Obteniendo como resultado entre los rangos de 0.19 – 0.42. Lo cual indica que las cuencas son alargadas, ya que el resultado está por debajo de 0.785.

4.1.2. Parámetros de relieve de la cuenca

Los resultados de los parámetros de relieve de estaciones hidrológicas seleccionadas para el presente estudio se presentan en el anexo Cuadro N° 28.

A. Curva hipsométrica

Se realizó la curva hipsométrica de la cuenca en estudio donde se muestra que las cuencas se encuentran en una etapa de vejes y son sedimentarias. Con mayor detalle ver en el anexo Gráfico N° 1.

B. Polígono de frecuencias

Se desarrolló el polígono de frecuencias de la cuenca en estudio, donde se verifica que existe valores representativos como la altitud

más frecuente, que es el polígono de frecuencias de mayor porcentaje o frecuencia. Con mayor detalle ver en el anexo Gráfico N° 1.

C. Altitud media de la cuenca

Se determinó la altitud media de la cuenca en estudio, donde se verifica que están entre las cotas de nivel del mar de 4256 msnm (cuenca Huancané) – 4712 msnm (cuenca Verde).

D. Altitud de frecuencia media

Se determinó la frecuencia media de la cuenca en estudio. Donde se aprecia que está en un rango de 4130 msnm (cuenca Huancané) – 4675 msnm (cuenca del rio verde).

E. Altitud más frecuente

Se determinó la altitud más frecuente de la cuenca en estudio. Donde se verifica que esta entre el rango de cotas 3881 msnm (cuenca Huancané) – 4770 msnm (cuenca Verde).

F. Pendiente media de la cuenca

Se determinó pendiente media de la cuenca en estudio donde se verifica que esta entre el rango de 0.0033 m/m – 0.0209 m/m.

La determinación de la pendiente media de la cuenca es muy importante pues está pendiente media controla la velocidad con que se dará la escorrentía superficial en dicha cuenca.

Así mismo (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), indica que la pendiente de la cuenca de 0.00 m/m - 3.00 m/m, se clasifica como pendiente plano.

G. Índice de pendiente de la cuenca

Se determinó el índice de pendiente de la cuenca en estudio, en donde se verifica que está entre los rangos de 0.0335 – 0.0554.

H. Coeficiente de masividad

Se determinó el coeficiente de masividad de la cuenca en estudio, en donde se verifica que se encuentra en los rangos de 0.0001 – 0.00202.

I. Coeficiente orográfico

Se determinó el coeficiente de orográfico de la cuenca en estudio en donde se verifica que se encuentra entre los rangos de 0.00015 – 0.00305.

J. Coeficiente de torrencialidad

Se determinó el coeficiente de torrencialidad de la cuenca en estudio en donde se verifica que se encuentra entre los rangos de 0.14 – 0.20. Así mismo (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), indica que los valores bajos, menores a cinco, corresponden a zonas donde los suelos son muy resistentes a la erosión o suelos con elevada permeabilidad y la cobertura vegetal es buena.

4.1.3. Parámetros de la red hídrica

Los resultados de los parámetros de la red hídrica de estaciones hidrológicas seleccionadas para el presente estudio se presentan en el anexo Cuadro N° 28.

A. Tipo de corriente

Se determinó el tipo de corriente de la cuenca en estudio, en donde se toma como base la permanencia del flujo en el cauce del río y de acuerdo a esta, los ríos se clasifican. En perennes porque contiene el agua permanentemente todo el año.

B. Numero de orden de ríos

Se determinó el número de orden de ríos de la cuenca en estudio donde se evidencia que el menor número de orden de ríos es de

grado 5 y el mayor orden de ríos es de grado 7 lo cual indica un drenaje eficiente que podría desalojar rápidamente el agua.

Así mismo (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), indica que a mayor número de orden, es mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también la componente de escorrentía directa.

C. Frecuencia de densidad de ríos

Se determinó la frecuencia de densidad de ríos en la cuenca en estudio en donde se evidencia que esta entre el rango de 0.28 ríos/km² – 0.38 ríos/km². Lo cual indica que es un área de densidad un poco baja, densidad pobre o regular.

D. Densidad de drenaje

Se determinó la densidad de drenaje de la cuenca en estudio en donde se evidencia que está en un rango de 0.63 km/km² – 0.75 km/km². Así mismo (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), indica que la densidad de drenaje puede tomar valores entre 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre hasta 3.5 km/km² para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

Lo cual es mayor a 0.5 y menor 3.5, lo que indica que las cuencas en estudio presentan un drenaje entre pobre y regular y moderadamente propenso a las crecientes.

E. Extensión media del escurrimiento superficial

Se determinó la extensión media del escurrimiento superficial de la cuenca en estudio donde se evidencia que está entre los rangos de 1.3 km²/km – 1.6 km²/km.

F. Pendiente media del río principal

Se determinó la pendiente media del río principal de la cuenca en estudio en donde se verifica que está entre los rangos de 0.00245 m/m – 0.01488 m/m. Lo que indica que la pendiente es muy baja y muestra que el tipo de terreno es muy plano, razón por la cual es

propensa a inundaciones en eventos de precipitación extremos. Con mayor detalle ver Gráfico N° 2.

Así mismo (MONSALVE SÁENZ, 1999), indica que la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente de sus canales fluviales. A mayor pendiente mayor velocidad.

G. Altura media del río principal

Se determinó la altura media del río principal de la cuenca en estudio en donde se evidencia que está entre los rangos de 4275 msnm – 4500 msnm. Lo cual denota que es una cuenca alta, de montaña.

4.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

4.2.1. Precipitación

La precipitación es una de las características climáticas, que es de vital importancia su análisis exhaustivo, como es a nivel visual y estadística.

Para la presente investigación se ha considerado 57 estaciones meteorológicas las cuales han sido analizadas.

Según (FATTORELLI, y otros, 2011), indica que la precipitación media es la lámina media caída sobre un área dada. Es común en mediciones puntuales asignar a cada punto un área de influencia donde se asume que llueve un valor igual a medido.

4.2.2. Estaciones meteorológicas

La información pluviométrica se analizó a nivel de cuencas en estudio, donde se utilizó las estaciones meteorológicas para las cuencas: Ramis 32 estaciones meteorológicas, Coata 16 estaciones meteorológicas, Ilave 18 estaciones meteorológicas y Huancané 16 estaciones meteorológicas.

4.2.3. Análisis de consistencia de la información pluviométrica

El análisis de consistencia es una técnica que permite detectar, identificar, cuantificar, corregir y eliminar los errores sistemáticos de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie hidrometeorológica. Antes de proceder a efectuar el Modelamiento Matemático de cualquier serie hidrometeorológica es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo a fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable; porque la inconsistencia de datos puede producir un sobre y subdiseño de estructuras hidráulicas. El análisis de consistencia se realiza con tres métodos, tales como son:

- ✓ Análisis visual de hidrogramas.
- ✓ Análisis de doble masa.
- ✓ Análisis estadístico.

Para este análisis se han utilizado el registro histórico de precipitación total mensual de las 57 estaciones meteorológicas las cuales se muestran en el Cuadro N° 3 y en la Mapa N° 1.

4.2.3.1. Análisis visual de hidrogramas

Según (ALIAGA ARAUJO, 1983), indica que el análisis de los hidrogramas es la fase complementaria consiste en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información hidrometeorológica disponible combinando con los criterios obtenidos del campo para detectar la regularidad o irregularidad de los mismos; para lo cual, ésta se grafica en coordenadas cartesianas representando en el eje de las coordenadas el valor de la información (precipitación) y el eje de las abscisas el tiempo cronológico (anuales, mensuales, etc.) cuyo gráfico resultante es denominada hidrogramas. De la operación visual de estos gráficos se deduce si la información es aceptable o dudosa.

Para la presente investigación, se ha formado grupos de estaciones pluviométricas para su análisis y estos para cada cuenca en estudio.

De las estaciones consideradas en la presente investigación, mediante este análisis resulta que no existe un periodo dudoso significativo en la serie de las precipitaciones mensuales. Tal como se muestra en los hidrogramas correspondientes.

Con mayor detalle ver en el anexo Gráfico N° 3.

4.2.3.2. Análisis de doble masa

Según (ALIAGA ARAUJO, 1983), indica que el análisis de doble masa, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias en los datos hidrológicos múltiples cuando se disponen de dos o más series de datos en los que respecta a errores que pueden haberse producido durante la obtención de los mismos, pero no para realizar una corrección a partir de la curva de doble masa.

Se realizó el análisis de doble masa para las 05 cuencas en estudio para la presente investigación, y así mismo se realizó a nivel de grupos de estaciones meteorológicas, con el fin de obtener una comparación adecuada de las series de precipitaciones mensuales. Con mayor detalle ver en el anexo Gráfico N° 4, 5, 6 y 7.

En cada uno de los grupos de precipitación se verifica la uniformidad de la traza de los observatorios de referencia (máster).

En cada uno de las trazas correspondientes a los observatorios se verifica la traza respectiva, observándose que existen saltos aparentes. Una vez identificado los posibles periodos dudosos se evalúa la igualdad estadística entre dos periodos de la misma muestra mediante un análisis estadístico.

Con mayor detalle ver en el anexo Gráfico N° 4, 5, 6 y 7.

4.2.3.3. Análisis estadístico de salto y tendencia

4.2.3.3.1. Análisis de salto

Después de obtener de los gráficos construidos para el análisis visual y de los de doble masa, los periodos de posible corrección, y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de saltos, tanto en la media como en la desviación estándar.

Se realizó el análisis de salto en media y desviación estándar siguiendo la metodología propuesta por (ALIAGA ARAUJO, 1983), este análisis realizado en forma mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en la presente investigación; se realizó a nivel de cuencas y por grupos.

A. Análisis de salto en la cuenca Ramis

Se realizó el análisis de salto siguiendo la metodología propuesta por (ALIAGA ARAUJO, 1983), según el análisis realizado en forma mensual de precipitaciones de las estaciones (Antauta y Macusani) correspondiente al Grupo N° 1, y las estaciones (Santa Rosa, Sicuani y Yauri) correspondiente al Grupo N° 2, si muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar) y por ende se corrige la información. Y las demás estaciones consideradas en los grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 no muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados, y por ende no se corrige dichas informaciones.

El resultado de análisis por cada grupo se muestra en el anexo Cuadro N° 30.

B. Análisis de salto en la cuenca Coata

Se realizó el análisis de salto siguiendo la metodología propuesta por (ALIAGA ARAUJO, 1983), según el análisis realizado en forma mensual de precipitaciones de la estación

(Santa Lucia) correspondiente al Grupo N° 2, si muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar) y por ende se corrige la información. Y las demás estaciones consideradas en los grupos 1, 2 y 3, no muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados, y por ende no se corrige dichas informaciones.

El resultado de análisis por cada grupo se muestra en el anexo Cuadro N° 30.

C. Análisis de salto en la cuenca llave

Se realizó el análisis de salto siguiendo la metodología propuesta por (ALIAGA ARAUJO, 1983), según el análisis realizado en forma mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en la presente cuenca llave, no muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar) en todas las estaciones consideradas para su posible corrección y sin embargo no se corrige dichas informaciones.

El resultado de análisis por cada grupo se muestra en el anexo Cuadro N° 30.

D. Análisis de salto en la cuenca Huancané

Se realizó el análisis de salto siguiendo la metodología propuesta por (ALIAGA ARAUJO, 1983), según el análisis realizado en forma mensual de precipitaciones de la estación (Puerto Acosta) correspondiente al Grupo N° 4, si muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar) y por ende se corrige la información. Y las demás estaciones consideradas en los grupos 1, 2, 3 y 4, no muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados, y por ende no se corrige dichas informaciones.

El resultado de análisis por cada grupo se muestra en el anexo Cuadro N° 30.

4.2.3.3.2. Análisis de tendencia

Se realizó el análisis de tendencia en media y desviación estándar siguiendo la metodología propuesta por (ALIAGA ARAUJO, 1983), este análisis realizado en forma mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en la presente investigación; se realizó a nivel de cuencas y por grupos.

Según el análisis realizado en forma mensual se obtiene que la serie mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en el presente trabajo de investigación, no muestran "Tendencias" significativas en los parámetros analizados (media y desviación estándar) en todas las estaciones consideradas, para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones.

Con mayor detalle ver en el anexo Cuadro N° 31.

4.2.3.4. Completación y extensión de datos Pluviométricos

La completación y extensión de la información pluviométricos de las estaciones meteorológicas se ha realizado a nivel de cuencas en estudio, con el software hidrológico denominado Hec-4 Monthly Streamflow Simulation, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América. y con los datos históricos consistentes y confiables obtenidos en el análisis anterior.

Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones consideradas para la presente investigación, se ha completado y extendido del periodo de 1964 – 2016. En los cuadros siguientes se muestran la información pluviométrica multimensual de las precipitaciones completadas y extendidas.

Cuadro N° 7: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca Ramis

Nº	ESTACION	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P TOTAL
1	Ananea	4660	120.7	102.3	92.7	43.4	15.7	6.4	5.0	13.0	23.5	45.8	61.4	95.7	625.6
2	Arapa	3830	138.6	115.5	112.8	46.1	10.7	5.5	3.4	11.0	24.1	49.6	70.0	99.2	686.5
3	Ayaviri	3928	144.8	121.1	103.8	45.7	6.9	3.1	1.8	6.9	14.5	46.9	66.3	98.9	660.7
4	Azángaro	3863	113.4	95.5	84.3	40.2	7.1	1.7	2.0	7.0	21.3	44.2	65.2	83.9	565.8
5	Capachica	3933	175.2	153.5	141.4	50.8	10.0	4.2	3.4	9.0	22.8	43.1	57.0	109.1	779.5
6	Crucero	4130	155.9	134.3	116.4	52.1	13.9	6.3	4.5	12.1	33.6	54.5	82.7	125.6	791.9
7	Huancané	3890	140.6	109.5	103.2	39.0	11.0	4.5	3.6	9.1	27.8	47.8	63.7	109.7	669.5
8	Llalli	3980	177.6	153.8	139.6	53.8	8.7	1.9	2.1	11.5	20.2	47.8	65.8	122.2	805.0
9	Macusani	4341	119.8	125.6	103.9	37.7	10.2	4.9	5.9	13.4	18.4	40.4	55.7	105.8	641.7
10	Pampahuta	4400	176.1	159.4	135.3	51.4	9.8	2.9	3.4	7.7	14.9	36.6	68.6	119.9	786.0
11	Progreso	3970	130.3	99.9	99.3	43.3	7.0	1.3	2.7	5.4	20.5	44.1	64.1	92.1	610.0
12	Pucará	3910	156.5	129.2	120.5	51.5	8.2	4.7	2.6	8.4	22.4	56.8	66.3	115.4	742.5
13	Putina	3878	145.2	105.5	100.6	47.5	9.6	4.6	4.3	7.9	27.1	48.1	68.3	94.2	662.9
14	Santa Rosa	3966	202.5	156.1	163.4	58.6	15.0	6.0	4.6	11.4	31.0	66.2	92.1	154.8	961.7
15	Cojata	4380	146.8	116.4	104.8	51.7	15.7	7.0	5.4	13.5	32.0	54.1	67.0	103.4	717.8
16	Taraco (Peru)	3820	131.5	102.9	87.8	36.3	6.1	4.7	1.9	6.6	21.6	38.1	51.4	86.1	575.0
17	Juliaca	3826	131.5	103.8	89.9	39.4	8.1	4.1	1.7	7.0	17.1	45.0	55.0	84.3	586.9
18	Lampa	3892	159.0	136.2	113.8	44.9	6.9	3.5	1.5	7.8	20.6	43.9	62.8	109.6	710.5
19	Quillisani	4600	176.9	178.3	152.2	50.5	10.7	4.4	3.4	14.3	21.5	41.6	73.1	128.2	855.1
20	La Raya	4120	191.9	150.8	155.6	73.4	19.8	6.2	8.3	11.0	26.3	59.1	101.0	132.1	935.5
21	Muñani	3948	133.9	104.3	88.5	41.2	7.3	3.4	2.6	5.9	20.6	42.9	62.7	100.7	614.0
22	Chuquibambilla	3971	156.5	122.8	124.4	53.1	7.5	3.3	2.0	6.5	17.4	48.3	69.2	112.6	723.6
23	Antauta	4150	101.0	113.1	121.9	42.9	26.6	17.4	10.9	26.6	47.2	43.1	54.3	99.8	704.8
24	Orurillo	3920	149.5	115.9	116.8	52.3	8.5	4.2	2.5	6.1	27.3	46.1	72.2	105.2	706.6
25	Sicuni	3546	141.8	122.9	113.7	52.1	13.9	5.4	4.3	14.3	24.3	48.3	73.1	102.0	716.1
26	Condoroma	4160	159.7	125.7	119.8	41.8	7.5	2.3	1.2	9.4	11.7	25.3	41.1	83.4	628.9
27	Yauri	3940	192.6	173.4	134.5	63.3	14.1	7.4	5.0	13.1	24.5	35.9	55.8	110.6	830.2
28	Nuñoa	4135	140.5	140.1	111.2	35.4	10.5	3.4	3.8	7.8	23.5	56.5	62.3	97.1	692.1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 8: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca Coata

Nº	ESTACION	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P TOTAL
1	Llalli	3980	174.7	152.7	140.0	54.4	8.2	1.8	2.2	12.2	20.1	46.4	61.7	125.2	799.6
2	Ayaviri	3928	144.3	120.1	103.1	44.8	6.4	3.2	1.8	7.3	14.8	46.3	64.9	100.4	657.4
3	Pucara	3900	153.7	126.4	118.8	50.9	8.1	4.7	2.7	8.7	22.2	56.6	65.7	118.6	737.1
4	Pampahuta	4400	170.9	155.6	132.9	51.1	9.9	3.0	3.4	7.5	14.6	36.6	71.1	121.6	778.2
5	Cabanillas	3820	143.2	132.3	107.9	42.2	5.7	2.3	1.6	7.5	18.1	36.9	55.3	95.2	648.2
6	Quillisani	4600	176.4	172.2	154.1	51.6	10.3	4.4	4.3	14.3	21.1	40.8	71.6	130.4	851.5
7	Mañazo	3920	136.6	136.7	105.3	35.3	6.6	1.8	1.5	6.5	13.3	26.7	49.6	96.2	616.1
8	Ichuña	3800	135.9	117.1	83.5	29.8	4.5	2.4	2.2	5.4	8.7	17.4	35.6	82.6	525.1
9	Lampa	3892	154.5	135.6	113.1	44.9	6.9	3.5	1.5	7.7	20.7	45.4	64.4	108.8	707.0
10	Juliaca	3826	132.8	102.8	93.1	39.8	8.1	4.0	1.7	6.5	18.8	45.5	54.1	84.5	591.7
11	Taraco	3820	133.1	101.3	87.2	36.5	6.2	4.7	1.9	6.9	22.4	38.1	53.3	87.2	578.8
12	Capachica	3828	173.1	149.8	141.6	50.8	10.1	4.1	3.3	9.9	24.4	41.9	57.2	110.2	776.4
13	Puno	3820	161.1	137.2	126.3	50.2	8.6	3.6	2.4	10.0	24.4	45.4	51.2	90.0	710.4
14	Condoroma	4160	162.5	125.2	131.9	44.0	7.2	2.9	1.4	11.1	12.8	25.7	43.9	84.4	653.0
15	Imata	4519	132.9	117.4	106.9	30.1	3.6	2.1	2.1	4.4	8.1	13.8	29.4	69.2	520.0
16	Crucero Alto	4470	161.0	112.2	134.5	29.5	2.7	2.3	3.5	7.0	10.5	20.2	36.9	74.2	594.5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 9: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca llave

Nº	ESTACION	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P TOTAL
1	Capazo	4530	147.9	132.4	99.3	18.7	3.5	3.4	1.7	4.1	3.0	9.0	26.5	78.5	528.0
2	Vilacota	4390	128.6	127.3	92.7	11.8	1.9	1.3	2.5	4.4	2.7	7.6	14.1	49.1	444.0
3	Coypa Coypa	4450	125.5	90.8	76.2	17.9	0.3	3.3	0.5	5.4	3.9	12.7	29.2	54.9	420.6
4	Chichillapi	4050	115.8	92.3	75.0	17.0	4.1	1.2	0.0	4.4	2.7	17.8	35.9	56.2	422.4
5	Mazocruz	4003	135.7	117.0	86.6	22.8	5.3	1.9	1.9	7.4	7.3	15.1	33.8	75.4	510.2
6	Pizacoma	4060	162.3	129.0	91.6	28.0	3.9	3.5	2.9	7.3	11.8	13.2	34.3	96.9	584.7
7	Chilligua	3960	160.1	131.2	109.9	32.4	7.3	2.6	3.5	10.6	14.3	29.3	43.9	89.4	634.5
8	Yorohoco	3845	170.2	135.2	95.1	32.8	6.1	3.3	4.0	7.1	15.8	27.8	43.2	91.8	632.4
9	Desaguadero	3860	180.4	152.7	115.2	37.1	7.0	6.3	5.4	12.4	19.2	30.5	52.4	93.8	712.4
10	Pocoaque	3850	168.1	118.0	95.4	45.2	9.2	5.8	6.8	14.0	19.4	33.3	39.4	81.4	636.0
11	Juli	3812	198.3	181.9	152.5	53.4	13.0	5.3	4.9	14.6	27.4	38.7	53.7	114.9	858.6
12	llave	3880	172.9	136.1	115.5	43.3	9.5	5.3	4.5	15.9	23.8	34.1	53.5	88.8	703.2
13	Rincón de la Cruz	3835	174.7	138.7	128.8	45.1	10.9	6.2	3.2	12.2	21.0	40.9	55.4	94.7	731.8
14	Laraqueri	3900	175.6	157.8	121.6	43.1	9.1	4.0	4.0	10.7	20.2	34.4	55.3	111.0	746.8
15	Puno	3820	160.0	138.7	127.9	50.7	8.7	3.6	2.4	10.4	24.8	44.6	49.9	90.2	711.9
16	Mañazo	3920	143.4	136.7	106.8	39.2	5.6	2.0	1.4	6.6	12.9	27.2	52.5	97.7	632.0
17	Pampa Umalzo	4601	103.0	101.0	89.2	20.9	1.9	1.7	0.8	4.8	5.0	5.2	13.0	43.6	390.1
18	Ichuña	3800	135.9	117.1	83.5	29.8	4.5	2.4	2.2	5.4	8.7	17.4	35.6	82.6	525.1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 10: Precipitación total mensual (mm) promedio multimensual (1964 – 2016) estaciones en la cuenca Huancané

Nº	ESTACION	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P TOTAL
1	Huancané	3840	140.3	109.2	102.7	38.3	11.1	4.3	3.4	9.0	29.2	46.8	66.1	105.7	666.1
2	Putina	3856	146.1	105.8	101.5	48.9	10.1	4.6	4.1	7.5	27.1	49.5	69.2	93.9	668.3
3	Muñani	3948	132.5	104.3	90.2	41.8	7.9	3.3	2.5	5.8	20.7	44.0	61.3	96.4	610.7
4	Huaraya Moho	3832	195.4	139.2	122.7	52.8	18.0	7.6	6.5	13.9	37.6	55.1	73.9	128.5	851.2
5	Cojata	4327	146.8	117.2	106.6	51.6	16.0	7.1	5.2	13.4	32.1	55.2	67.6	101.6	720.4
6	Suches	4655	124.2	81.1	94.4	44.8	10.2	5.5	3.1	7.1	23.2	39.6	55.7	78.2	567.1
7	Ananea	4640	122.2	104.4	92.0	43.3	15.4	6.4	5.0	12.5	22.9	47.3	60.2	94.9	626.5
8	Crucero	4130	155.3	135.1	116.0	53.1	13.9	6.3	4.3	12.3	33.0	55.1	81.0	125.3	790.7
9	Progreso	3940	130.5	98.4	99.9	42.9	7.6	1.3	2.7	5.2	20.4	41.6	63.8	94.1	608.4
10	Azángaro	3848	117.4	94.6	85.7	41.1	7.4	1.7	2.0	6.6	20.7	44.8	65.9	85.3	573.2
11	Arapa	3830	138.5	113.5	114.4	45.2	11.0	5.4	3.4	11.3	26.0	48.2	71.1	98.0	686.0
12	Taraco	3820	132.9	103.2	88.1	35.6	6.2	4.7	1.9	6.6	22.5	37.3	53.3	85.9	578.2
13	Conima	3860	198.7	132.0	119.7	65.3	8.7	6.6	3.9	10.6	35.6	53.8	62.2	105.3	802.4
14	Puerto Acosta	3835	123.9	92.8	74.6	50.3	15.1	11.1	6.3	20.1	36.1	43.5	54.3	89.0	617.1
15	Escoma	3828	97.4	80.9	61.1	35.6	9.7	7.8	7.3	13.4	31.0	29.9	32.1	64.8	471.0
16	Chahuaya	4500	153.6	74.7	80.8	25.2	42.5	7.5	6.8	13.8	30.4	30.3	49.9	104.1	619.6

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Precipitación areal de la cuenca

4.2.4.1. Método de los polígonos de Thiessen Modificado

Utilizando las 57 estaciones meteorológicas que están ubicadas dentro y alrededor de la región hidrográfica del Titicaca se ha interpolado las isoyetas y los polígonos de Thiessen utilizando las herramientas del software ArcGis 10.2, estos métodos ya vienen incluidos dentro del programa lo cual hace fácil su aplicación.

Se realizó los mapas de isoyetas y polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas consideradas para la presente investigación, las cuales se han realizado independientemente para cada cuenca de interés.

Se ha obtenido los coeficientes del método de Polígono de Thiessen Modificado, tomando consideración de las cuencas en estudio para la presente investigación.

Se muestra los coeficientes del método de Polígonos de Thiessen Modificado de las estaciones meteorológicas de la cuenca de interés. Como se puede ver en los siguientes cuadros N° 11, 12, 13, 14 y 15 y en el anexo Mapa N° 3.

Cuadro N° 11: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Ramis

Estación Meteorológica	Área entre Isoyetas (Ai) (Km2)	Pi*Ai (Km2)	Precipitación media del Área de influencia (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de precipitación	Constante de Superficie	Coeficiente de Pluviometría
	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cpi = Ki*Ri
Santa Rosa	689.86	634548.04	919.83	961.73	0.9564	0.0469	0.0449
Chuquibambilla	461.64	351131.04	760.62	723.63	1.0511	0.0314	0.0330
Ayaviri	783.75	549243.75	700.79	660.78	1.0605	0.0533	0.0565
Crucero	1773.04	1335840.27	753.42	791.93	0.9514	0.1206	0.1147
Antauta	1239.90	864526.71	697.26	704.71	0.9894	0.0843	0.0834
Orurillo	503.93	351160.45	696.84	706.68	0.9861	0.0343	0.0338
Nuñoa	1256.89	910367.74	724.30	692.11	1.0465	0.0855	0.0895
Muñani	495.95	302880.53	610.71	613.84	0.9949	0.0337	0.0336
Putina	67.80	42179.54	622.13	663.03	0.9383	0.0046	0.0043
Arapa	367.79	253108.56	688.19	686.54	1.0024	0.0250	0.0251
Azángaro	761.90	447464.18	587.30	565.61	1.0383	0.0518	0.0538
Pucara	977.74	718800.78	735.17	742.50	0.9901	0.0665	0.0658
Taraco	207.24	122160.13	589.46	574.96	1.0252	0.0141	0.0144
Juliaca	151.44	91108.60	601.62	586.90	1.0251	0.0103	0.0106
Llalli	1139.67	925773.29	812.32	805.13	1.0089	0.0775	0.0782
Quillisani	491.76	418395.08	850.81	855.13	0.9950	0.0334	0.0333
Macusani	431.23	303056.62	702.77	641.88	1.0949	0.0293	0.0321
La Raya	763.53	679284.79	889.67	935.50	0.9510	0.0519	0.0494
Progreso	1047.31	649872.01	620.51	610.04	1.0172	0.0712	0.0724
Ananea	797.78	519282.92	650.91	625.62	1.0404	0.0543	0.0564
Lampa	294.16	213984.48	727.44	710.35	1.0241	0.0200	0.0205

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 12: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Coata

CUENCA DEL RIO COATA							
Superficie Total (St) =		4448.483 Km2					
Estación Meteorológica	Área entre Isoyetas (Ai) (Km2)	Pi*Ai (Km2)	Precipitación media del Área de influencia (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de precipitación	Constante de Superficie	Coeficiente de Pluviometría
	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cpi = Ki*Ri
Pampahuta	1018.48	750520.27	736.90	778.23	0.9469	0.2290	0.2168
Quillisani	960.84	782864.27	814.77	851.47	0.9569	0.2160	0.2067
Lampa	697.56	507585.16	727.66	706.97	1.0293	0.1568	0.1614
Cabanillas	582.02	385834.78	662.93	648.14	1.0228	0.1308	0.1338
Crucero Alto	525.86	351744.48	668.90	594.75	1.1247	0.1182	0.1329
Mañazo	424.77	264413.86	622.49	616.13	1.0103	0.0955	0.0965

CUENCA DEL RIO COATA							
Superficie Total (St) =		4448.483 Km ²					
Estación Meteorológica	Área entre Isoyetas (Ai) (Km ²)	Pi*Ai (Km ²)	Precipitación media del Área de influencia (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de precipitación	Constante de Superficie	Coefficiente de Pluviometría
	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cpi = Ki*Ri
Juliaca	202.23	125533.00	620.75	591.82	1.0489	0.0455	0.0477
Pucara	29.52	23250.44	787.50	737.13	1.0683	0.0066	0.0071
Ayaviri	6.68	5288.99	792.21	657.36	1.2051	0.0015	0.0018
Llalli	0.54	436.86	812.50	799.53	1.0162	0.0001	0.0001

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 13: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca Verde

CUENCA DEL RIO VERDE							
Superficie Total (St) =		748.957 Km ²					
Estación	Área entre Isoyetas (Ai) (Km ²)	Pi*Ai (Km ²)	Precipitación media del Área de influencia (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de precipitación	Constante de Superficie	Coefficiente de Pluviometría
	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cpi = Ki*Ri
Pampahuta	489.40	374217.61	764.65	778.23	0.9826	0.6534	0.6420
Quillisani	258.70	213192.07	824.08	851.47	0.9678	0.3454	0.3343
Lampa	0.86	547.63	637.50	706.97	0.9017	0.0011	0.0010

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 14: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado – cuenca llave

CUENCA DEL RIO ILAVE							
Superficie Total (St) =		7772.701 Km ²					
Estación	Área entre Isoyetas (Ai) (Km ²)	Pi*Ai (Km ²)	Precipitación media del Área de influencia (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de precipitación	Constante de Superficie	Coefficiente de Pluviometría
	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cpi = Ki*Ri
Puno	232.59	170043.73	731.08	711.73	1.0272	0.0299	0.0307
Ichuña	75.42	45448.20	602.60	525.09	1.1476	0.0097	0.0111
llave	364.41	247463.74	679.08	703.31	0.9655	0.0469	0.0453
Rincon de la Cruz	392.86	286783.12	729.98	731.81	0.9975	0.0505	0.0504
Capazo	162.38	77298.07	476.04	528.04	0.9015	0.0209	0.0188
Chichillapi	784.06	348927.86	445.03	422.54	1.0532	0.1009	0.1062
Mazocruz	1155.38	604727.88	523.40	510.18	1.0259	0.1486	0.1525
Chilligua	1481.32	943125.73	636.68	634.57	1.0033	0.1906	0.1912
Yorohoco	14.72	8900.50	604.71	632.28	0.9564	0.0019	0.0018
Vilacota	18.24	7525.38	412.68	443.98	0.9295	0.0023	0.0022
Coypa Coypa	576.92	242607.29	420.52	420.65	0.9997	0.0742	0.0742
Laraqueri	2436.58	1683462.03	690.91	746.71	0.9253	0.3135	0.2901
Juli	1.07	845.49	787.50	858.61	0.9172	0.0001	0.0001
Pizacoma	23.78	13025.46	547.73	584.61	0.9369	0.0031	0.0029
Pampa Umalzo	52.97	29530.44	557.47	390.16	1.4288	0.0068	0.0097

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 15: Coeficientes del método de polígonos de Thiessen Modificado –
cuenca Huancané**

CUENCA DEL RIO HUANCANE							
Superficie Total (St) = 3511.104 Km2							
Estación	Área entre Isoyetas (Ai) (Km2)	Pi*Ai (Km2)	Precipitación media del Área de influencia (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de precipitación	Constante de Superficie	Coeficiente de Pluviometría
	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cpi = Ki*Ri
Putina	906.41	616652.33	680.32	668.13	1.0182	0.2582	0.2629
Cojata	552.05	430089.26	779.08	720.47	1.0813	0.1572	0.1700
Ananea	329.49	222244.41	674.51	626.38	1.0768	0.0938	0.1011
Huaraya Moho	292.60	246420.12	842.17	851.30	0.9893	0.0833	0.0824
Huancane	599.99	432995.90	721.67	666.27	1.0831	0.1709	0.1851
Crucero	86.83	57319.41	660.14	790.82	0.8348	0.0247	0.0206
Muñani	743.73	469367.10	631.10	610.78	1.0333	0.2118	0.2189

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene la precipitación media areal correspondiente a los polígonos de Thiessen, la cual es una información relevante, ya que es la base para realizar un análisis hidrológico o generar caudales en cualquier punto de la cuenca utilizando un modelo hidrológico.

Se presenta la distribución de la precipitación media areal mensual en los polígonos o cuencas consideradas para la presente investigación, donde se evidencia que existe mayor precipitación en el mes de enero y la menor precipitación en el mes de julio, como se puede apreciar con mayor detalle en el siguiente cuadro y en el anexo Cuadro N° 35, 36, 37, 38 y 39.

Cuadro N° 16: Precipitación Media Areal mensual (mm) – Método de Thiessen Modificado en las Cuencas

Item	Cuenca	Precipitación Areal Promedio Mensual (mm)												Total
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1	Puente Ramis	147.3	127.5	117.4	47.9	11.9	5.3	4.1	10.9	25.5	49.7	69.3	109.8	726.6
2	Puente Unocolla	159.9	143.0	126.9	44.3	7.6	3.1	2.8	8.8	17.1	36.6	60.9	107.8	718.8
3	Rio Verde	168.8	157.6	137.0	50.1	9.8	3.4	3.6	9.6	16.5	37.2	69.7	121.8	785.0
4	Puente llave	151.8	128.4	103.1	32.2	6.7	3.1	2.7	9.0	13.5	26.2	43.6	85.8	605.9
5	Puente Huancané	150.0	115.6	105.4	47.7	12.5	5.4	4.3	9.9	28.6	51.2	69.2	105.4	704.9

Fuente: Elaboración propia

4.3. HIDROMETRÍA

Para la presente investigación se usó cinco estaciones hidrométricas, las cuales están ubicadas en la vertiente del Titicaca es decir, en el Puente Ramis, Puente Unocolla, Rio Verde, Puente llave y Puente Huancané.

Las series de datos históricos como son los caudales máximos diarios se consideró desde el año 1956 a 2016.

Con mayor detalle ver las ubicaciones de las estaciones hidrométricas se encuentra en el anexo Mapa N° 2.

En el siguiente cuadro se muestra los caudales máximos anuales de las estaciones hidrométricas consideradas para la presente investigación.

Cuadro N° 17: Caudales máximos anuales de las estaciones hidrométricas

AÑO	RAMIS	HUANCANE	UNOCOLLA	ILAVE	VERDE	AÑO	RAMIS	HUANCANE	UNOCOLLA	ILAVE	VERDE
1956	246.6	111.75				1987	268.27	141.6		571	
1957	267.7	133		139.6		1988	560	155		355.05	
1958	440	117.9	282.2	321.2		1989	256.6	79.52			
1959	445.2	155.25	365	345.6		1990		45.78		69.19	
1960	478	156.4	292.2	278		1991	148.86	66.83	121.75	190	
1961	390	96.4	469.5	167.66		1992	261.1	56.58	48.48	86.53	23.94
1962	452	191	337.5	512		1993	357.15		97.5	230.97	55.6
1963	351	183.4	453.8	779		1994	418	203.32	260.42	383.13	29.23
1964	365	150	138.15	184.6		1995	313	109.3	103.82	307.97	41.97
1965		147	117.5	69		1996	306.37	98.77	277.25	213.15	35.17
1966		147.7	135	58.8		1997	406.89	200.02	501.39		34.51
1967	255	93	326.5	413.8		1998	303.12		107.5		69.32
1968	299.6	77.4	238.4	295		1999			225.26		88.95
1969	200	82.3	151.8	298		2000			296.76		62.26
1970	408	155	428	341		2001			338.56		63.41
1971	553	364	986	475		2002			166.98		109.85
1972	328	93.4	315	328		2003			254.69		152.84
1973	438	145.4	624	493.6		2004			377.16		158.29
1974	558.2	210.5	410	732.6		2005			365.25		48.33
1975			420	692.4		2006			212.36	458.65	
1976	379.56	111.2	300	626.96		2007	441.853	97.114		153.094	
1977	471.92	132.08	350	325.1		2008					
1978		130.42	527.5	441.89		2009				196.45321	
1979		243.92	229.8			2010					
1980	359.58	89.57				2011					
1981	456.05	170.12				2012	471.773	199.195			
1982	406.6	159.05				2013					
1983	135.7	64				2014					
1984	446.6	179.2		735.6		2015					
1985	412.6			387.9		2016	405	200.1			
1986	390.68	212		907							

Fuente: SENAMHI

4.4. PRUEBAS DE DATOS HIDROLÓGICOS DE ESTACIONES HIDROMETRICAS

4.4.1. Pruebas de Normalidad de las Precipitaciones históricas mensuales extendidas y completadas

La aplicación de la prueba de normalidad de las precipitaciones mensuales completadas y extendidas de las estaciones meteorológicas consideradas para la presente investigación, se ha realizado haciendo uso del software Minitab 16. Ha dado los resultados que se resumen en el siguiente cuadro, y en donde se muestra que las series de datos si procede de una población normal. Con mayor de talle ver en anexo Grafico N° 8.

Cuadro N° 18: Prueba de Normalidad

N°	Estación	Media	Desv.Est.	N datos	AD	Valor P	N°	Estación	Media	Desv.Est.	N datos	AD	Valor P
1	Ananea	625.6	90.6	53	0.952	0.015	29	Cabanillas	648.1	142.2	53	0.252	0.724
2	Antauta	704.7	167.0	53	1.309	0.005	30	Mañazo	616.1	166.0	53	0.323	0.518
3	Arapa	686.5	173.5	53	1.678	0.005	31	Ichuña	525.1	131.8	53	0.276	0.643
4	Ayaviri	660.8	144.9	53	0.438	0.285	32	Imata	520.2	137.5	53	0.322	0.519
5	Azángaro	565.6	113.7	53	1.399	0.005	33	Crucero Alto	594.7	153.2	53	0.153	0.956
6	Capachica	779.4	195.5	53	0.679	0.072	34	Capazo	528.0	167.2	53	0.504	0.195
7	Chuquibambilla	723.6	124.6	53	0.397	0.356	35	Vilacota	444.0	203.5	53	0.541	0.157
8	Cojata	717.7	149.4	53	0.879	0.023	36	Coypa Coypa	420.6	145.3	53	0.972	0.013
9	Condorama	628.9	141.5	53	0.365	0.424	37	Chichillapi	422.5	123.5	53	1.368	0.005
10	Crucero	791.9	247.0	53	0.620	0.101	38	Mazocruz	510.2	161.1	53	0.559	0.142
11	Huancané	669.5	140.1	53	0.957	0.015	39	Pizacoma	584.6	182.8	53	0.872	0.024
12	Juliaca	586.9	130.4	53	0.596	0.116	40	Chilligua	634.6	170.0	53	0.577	0.127
13	La Raya	935.5	160.6	53	0.428	0.300	41	Yorohoco	632.3	149.8	53	0.685	0.070
14	Lampa	710.4	207.6	53	2.737	0.005	42	Desaguadero	712.4	184.2	53	1.030	0.010
15	Llalli	805.1	133.7	53	0.285	0.616	43	Pocoaque	636.0	123.3	53	0.474	0.232
16	Macusani	641.9	132.3	53	0.835	0.029	44	Juli	858.6	154.2	53	0.316	0.532
17	Muñani	6138.0	146.1	53	0.511	0.187	45	llave	703.3	184.8	53	0.654	0.083
18	Nuñoa	692.1	136.8	53	0.598	0.115	46	Rincón de la Cruz	731.8	213.7	53	1.459	0.005
19	Orurillo	706.7	149.8	53	0.665	0.078	47	Laraqueri	746.7	167.6	53	0.614	0.104
20	Pampahuta	785.9	159.7	53	0.182	0.909	48	Puno	710.6	156.8	53	0.244	0.752
21	Progreso	610.0	105.7	53	0.639	0.090	49	Pampa Umalzo	390.2	177.5	53	0.719	0.057
22	Pucará	742.5	159.4	53	0.832	0.030	50	Huaraya Moho	851.3	175.7	53	0.719	0.057
23	Putina	663.0	114.3	53	0.583	0.123	51	Cojata	717.7	149.4	53	0.879	0.023
24	Quillisani	855.1	167.3	53	0.690	0.096	52	Suches	567.0	123.9	53	0.941	0.016
25	Santa Rosa	961.7	171.5	53	0.594	0.118	53	Puerto Acosta	617.1	106.3	53	1.338	0.005
26	Sicuani	716.0	137.5	53	0.371	0.412	54	Escoma	471.0	94.0	53	0.550	0.149
27	Taraco	575.0	172.6	53	2.718	0.005	55	Chahuaya	619.7	203.4	53	2.741	0.005
28	Yauri	830.1	167.4	53	0.265	0.680	56	Conima	802.4	198.9	53	1.677	0.005

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Prueba de independencia

4.4.2.1. Prueba de independencia Wald – Wolfowitz

La aplicación de la prueba Wald – Wolfowitz a la serie de caudales máximos diarios anuales correspondientes a la estación hidrométrica Puente Ramis, estación hidrométrica Puente Unocolla, estación hidrométrica del río Verde, estación hidrométrica Puente llave y estación hidrométrica Puente Huancané. Ha dado los resultados que se resumen en el siguiente cuadro, y en donde se muestra que las series de caudales máximos diarios de las estaciones indicadas son independientes.

Cuadro N° 19: Prueba de independencia

INDEPENDENCIA					
N	Wald – Wolfowitz				
	Muestra	IUI	p	Alfa	Conclusión
1	Puente Huancané	0.1089	0.91	0.05	DI
2	Puente Ramis	0.6494	0.52	0.05	DI
3	Puente Unocola	1.788	0.07	0.05	DI
4	Rio Verde	2.673	0.056	0.05	DI
5	Puente llave	2.773	0.06	0.05	DI

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Prueba de estacionariedad

4.4.3.1. Prueba de estacionariedad Kendall

Al aplicar la prueba de Kendall a la serie de caudales máximos diarios anuales pertenecientes a las estaciones hidrométricas Puente Ramis, estación hidrométrica Puente Unocolla, estación hidrométrica del río Verde, estación hidrométrica Puente llave y estación hidrométrica Puente Huancané. Se obtuvieron los resultados que se resumen en el siguiente cuadro, en donde se puede observar en dicho cuadro, que el valor estadístico obtenido para la serie, es aceptado para un nivel de significancia de 5%. En donde se concluye que las series de caudales

máximos diarios anuales de las estaciones hidrométricas en estudio son estacionales.

Cuadro N° 20: Prueba de estacionariedad

N	ESTACIONARIDAD				
	Muestra	Alfa	Kendall		
			IKI	p	Conclusión
1	Puente Huancané	0.05	0.1842	0.8538	DE
2	Puente Ramis	0.05	0.05826	0.9535	DE
3	Puente Unocola	0.05	0.9806	0.3268	DE
4	Rio Verde	0.05	2.847	0.1000	DE
5	Puente llave	0.05	0.1439	0.8856	DE

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Prueba de homogeneidad

Para verificar que las estaciones hidrométricas consideradas para la presente investigación sean homogéneas, se procedió a realizar las pruebas estadísticas de Wilcoxon, T Student y Cramer. Donde en el cuadro de resultado muestra que son homogéneas. Con mayor detalle ver en el Cuadro N° 21.

4.4.4.1. Prueba de homogeneidad Wilcoxon

Al aplicar la prueba de Wilcoxon, acepta la hipótesis de homogeneidad de la serie, de las cinco estaciones hidrométricas consideradas para la presente investigación.

4.4.4.2. Prueba de homogeneidad T Student

La prueba de t de Student, acepta la hipótesis de homogeneidad de la serie, al entregar un valor de estadístico t inferior al valor límite de tabla. Por ello, para esta prueba, la serie es homogénea para las cinco estaciones hidrométricas.

4.4.4.3. Prueba de homogeneidad Cramer

La prueba de Cramer, acepta que los valores que conforman la serie provienen estadísticamente de una misma población, indicando así los datos son útiles para el proceso de ajuste de distribuciones para el análisis de frecuencias de eventos extremos.

Cuadro N° 21: Prueba de homogeneidad

N	HOMOGENEIDAD									
	Muestra	Alfa	Wilcoxon			T Student			Cramer	
			IWI	P	Ts>P	Tc	Ts	Ts>Tc	Tk	Ts>Tk
1	Puente Huancané	0.05	0.06131	0.9511	DH	0.83	1.6820	DH	0.84	DH
2	Puente Ramis	0.05	0.8667	0.3861	DH	0.77	1.6839	DH	0.78	DH
3	Puente Unocola	0.05	0.2575	0.7968	DH	0.87	1.6860	DH	0.88	DH
4	Río Verde	0.05	1.004	0.3153	DH	1.04	1.7613	DH	1.16	DH
5	Puente llave	0.05	0.4485	0.6538	DH	0.38	1.6871	DH	0.39	DH

Fuente: Elaboración propia

4.5. MODELOS REGIONALES

Para la determinación de los modelos regionales se ha realizado el caudal promedio máximo y posteriormente el caudal máximo instantáneo correspondiente al periodo de 1956 – 2016, tomando como referencia los datos históricos de las estaciones hidrométricas consideradas para la presente investigación, proceso significativo para la regionalización de caudales de crecidas.

Se tiene como resultado de los análisis de máximas avenidas, en donde se muestra los caudales máximos y caudales máximos instantáneos por estaciones hidrométricas como se puede apreciar en el siguiente cuadro N° 22.

Cuadro N° 22: Caudales máximos y caudales máximos instantáneos

Año	Puente Ramis	Puente Huancané	Puente Unocolla	Puente llave	Rio Verde
Qpmax	371.31	141.80	306.66	366.61	69.55
Qinst	412.9	167.3	357.7	417.3	90.4

Fuente: Elaboración propia

Las variables independientes consideradas para la presente investigación son la precipitación media areal (PP), área de la cuenca hasta el punto de interés (A), perímetro de la cuenca (P), longitud del río principal (L), coeficiente de la compacidad (Kc), factor de forma (Ff), radio de circularidad (Rc), pendiente media (Sm), coeficiente de masividad (Cm), coeficiente orográfico (Co), coeficiente de torrencialidad (Ct), frecuencia de densidad de ríos (Fr), densidad de drenaje (Dd), extensión media del escurrimiento superficial (E), pendiente media del río principal (Sm) y altura media del río principal (H). los resultados de los características climáticos y geomorfológicos de las estaciones hidrométricas seleccionadas para la presente investigación se muestran en el cuadro N° 23.

Cuadro N° 23: Características climáticas y geomorfológicas de las estaciones hidrométricas

Estación	Q(m ³ /s)	PP (mm)	A (km ²)	P (km)	L (km)	Kc	Ff	Rc (km)	Sm	Cm	Co	Ct	Fr	Dd	E	Sm (m/m)	H (m/m)
Puente Ramis	412.9	726.6	14704	982.5	367.5	2.28	0.11	0.19	0.0033	0.0001	0.0002	0.19	0.37	0.69	1.46	0.0025	4350
Puente Unocolla	357.7	718.8	4448.5	364.75	131.4	1.54	0.26	0.42	0.0101	0.0004	0.0006	0.14	0.28	0.63	1.60	0.0072	4325
Rio Verde	90.4	785	748.96	140.83	40.32	1.45	0.46	0.47	0.0209	0.0020	0.0031	0.18	0.35	0.66	1.51	0.0149	4500
Puente llave	417.3	605.9	7772.7	569.37	182.53	1.82	0.23	0.3	0.0061	0.0002	0.0002	0.17	0.34	0.75	1.34	0.0066	4452
Puente Huancane	167.3	704.9	3511.1	408.78	130.1	1.95	0.21	0.26	0.0067	0.0004	0.0006	0.2	0.38	0.72	1.40	0.0065	4275

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el análisis de correlación, entre el caudal instantáneo multianual como variable dependiente y las características climáticas y geomorfológicas como variables independientes de las cuencas de interés en estudio, esto para determinar el grado de correlación que existe entre las variables consideradas para el desarrollo de los modelos regionales. Con mayor detalle ver en el siguiente Cuadro N° 24.

Cuadro N° 24: Matriz de correlación entre el caudal instantáneo multianual, variables climáticas y geomorfológicas

Variables	Q(m3/s)	PP (mm)	A (km2)	P (km)	L (km)	Kc	Ff	Rc (km)	Sm	Cm	Co	Ct	Fr	Dd	E	Sm (m/m)	H (m/m)
Q(m3/s)	1																
PP (mm)	-0.64	1															
A (km2)	0.79	-0.31	1														
P (km)	0.75	-0.33	0.99	1													
L (km)	0.74	-0.25	0.99	1.00	1												
Kc	0.48	-0.27	0.85	0.91	0.89	1											
Ff	-0.73	0.48	-0.83	-0.88	-0.87	-0.88	1										
Rc (km)	-0.49	0.42	-0.80	-0.87	-0.84	-0.98	0.90	1									
Sm	-0.75	0.63	-0.78	-0.83	-0.80	-0.83	0.98	0.89	1								
Cm	-0.81	0.69	-0.68	-0.73	-0.70	-0.67	0.93	0.75	0.97	1							
Co	-0.80	0.69	-0.68	-0.73	-0.70	-0.68	0.94	0.76	0.97	1.00	1						
Ct	-0.38	0.12	0.18	0.26	0.23	0.59	-0.20	-0.58	-0.17	0.07	0.05	1					
Fr	-0.31	0.05	0.24	0.32	0.28	0.62	-0.22	-0.61	-0.20	0.04	0.02	0.99	1				
Dd	0.21	-0.75	0.28	0.34	0.25	0.50	-0.38	-0.62	-0.51	-0.40	-0.42	0.55	0.61	1			
E	-0.14	0.69	-0.25	-0.32	-0.23	-0.49	0.32	0.59	0.45	0.32	0.34	-0.60	-0.66	-1.00	1		
Sm (m/m)	-0.77	0.48	-0.84	-0.89	-0.87	-0.85	1.00	0.87	0.98	0.95	0.94	-0.12	-0.14	-0.34	0.27	1	
H (m/m)	-0.17	0.04	-0.21	-0.31	-0.32	-0.46	0.66	0.50	0.61	0.64	0.64	-0.11	-0.04	0.05	-0.11	0.65	1

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la precipitación media anual (PP) tiene una correlación negativa con el caudal instantáneo (Qinst), sin embargo las correlaciones más altas se tienen entre el área de la cuenca (A), el perímetro de la cuenca (P) y la longitud del río principal (L) y las demás variables consideradas en el análisis muestran correlaciones positivas y negativas bajas. Para la presente investigación fueron considerados las variables con coeficientes de correlación altas.

Para el desarrollo de los modelos regionales de caudales instantáneos se consideran como variables independientes el área de la cuenca (A), perímetro de la cuenca (P), longitud del río principal (L) y la precipitación (PP).

4.5.1. Modelos regionales de caudales de crecidas

Los modelos regionales de caudales de crecidas propuestos, están agrupados a las características climáticas y geomorfológicas como la precipitación (PP), área de la cuenca (A), perímetro de la cuenca (P) y la longitud del río principal (L), deduciéndose que son válidos para áreas comprendidas entre $748.96 \text{ km}^2 \leq A \text{ (km}^2) \leq 14704.29 \text{ km}^2$.

El Cuadro N° 25 muestra las ecuaciones regionales, recomendadas para la estimación de caudales de crecidas en cuencas de la vertiente del Titicaca para el diseño de obras hidráulicas.

Cuadro N° 25: Modelos regionales de caudales de crecidas (m³/s)

Modelos	Ecuación regional
1	$Q_{inst} = 5.83054 \times 10^{-9} A^{3.158} L^{-3.486} PP^{2.322}$
2	$Q_{inst} = 0.64603 A^{1.829} L^{-1.764} P^{-0.109}$
3	$Q_{inst} = 8.54879 A^{0.588} P^{-0.256}$
4	$Q_{inst} = 0.23770 A^{2.114} L^{-2.178}$
5	$Q_{inst} = 2.25288 A^{0.563}$

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que los caudales de crecidas están asociadas a las características morfométricas y climatológicas de cada cuenca (área, longitud del río principal y precipitación).

(ALVARES, et al., 2011) En su trabajo de investigación reportaron que las variables de mayor influencia en el comportamiento de los gastos son la longitud del río principal, área de la cuenca y la precipitación anual. También, (LUJANO LAURA, et al., 2016) consideraron que las variables que mejor explican los caudales son el área de la cuenca y la longitud del cauce principal. Asimismo, (ÁLVAREZ ENJO, 2000) manifiesta que, a escala regional, el área de la cuenca resulto ser un buen estimador del análisis regional de frecuencia.

4.6. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS MODELOS REGIONALES

Los resultados obtenidos de la evaluación estadística se muestran en el Cuadro N° 26, para los modelos regionales de caudales de crecidas propuesto para las cuencas de la vertiente del Titicaca, para el modelo $Q_{inst}=f(A,L,PP)$ estiman valores similares a los observados, obteniendo resultados del R^2 de 0.995, según (ANDERSEN, et al., 2001), son clasificados como buenos a muy buenos, teniendo en cuenta que el valor mínimo para que un modelo sea bueno debe ser 0.85 y muy bueno > a 0.95; sin embargo la evaluación estadística mediante la eficiencia de

Nash (NSE) el resultado es de 0.998, según (RITTER, et al., 2013), clasificados como muy buenos. En términos de error (RMSE) el valor obtenido fue de 10.21 m³/s; asimismo el sesgo porcentual (BIAS), según (GUPTA, y otros, 1999), hubo sobreestimación con un valor obtenido de 0.22%.

Cuadro N° 26: Evaluación estadística del modelo regional de caudales de crecidas $Q_{inst} = f(A,L,PP)$, $f(L,P)$, $f(A,P)$, $f(A,L)$ y $f(A)$

Modelos	Ecuación regional	R2	NSE	RMSE (m3/s)	BIAS
1	$Q_{inst} = 5.83054 \times 10^{-9} A^{3.158} L^{-3.486} p p^{2.322}$	0.995	0.998	10.21	0.22
2	$Q_{inst} = 0.64603 A^{1.829} L^{-1.764} p^{-0.109}$	0.958	0.997	27.47	-0.58
3	$Q_{inst} = 8.54879 A^{0.588} p^{-0.256}$	0.918	0.999	40.52	-2.03
4	$Q_{inst} = 0.23770 A^{2.114} L^{-2.178}$	0.924	0.999	38.21	-0.18
5	$Q_{inst} = 2.25288 A^{0.563}$	0.736	0.996	7.88	-1.64

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo el modelo regional $Q_{inst}=f(A)$, que está solo en función del área de la cuenca muestra un mejor rendimiento al comparar con los demás modelos regionales, con un RMSE de 7.88 m³/s, a comparación del modelo $Q_{inst}=f(A,L,PP)$ que tuvo un valor del RMSE de 10.21 m³/s. Mientras que la eficiencia de Nash (NSE) tuvo un valor de 0.996 clasificado como muy bueno según las discreciones de (RITTER, et al., 2013), asimismo el sesgo porcentual BIAS fue de 1.64%.

Los modelos regionales $Q_{inst}=f(A,P)$ y $Q_{inst}=f(A,L)$, reportaron los más altos valores de RMSE de 40.52 m³/s y 38.21 m³/s, sin embargo tuvieron un valor de R² de 0.918 y 0.94, mientras que el NSE fue 0.999 para ambos modelos. Asimismo, el sesgo porcentual fue de -2.03 y 0.18.

Los modelos que mejor estiman el comportamiento de los caudales de crecida están en función de las siguientes variables, área de la cuenca, longitud del cauce principal y la precipitación. En tanto que el modelo regional que está solo en función del área y que registró el menor error entre todos los modelos, reproduce satisfactoriamente los caudales de crecida.

4.7. DISCUSIONES

Según (LUJANO LAURA, 2015), propuso modelos regionales de caudales medios mensuales en cuencas del altiplano. Estos modelos obtenidos han considerado como variables de ingreso el área de la cuenca y la longitud del cauce principal. Y según (GANANCIAS MARTÍNEZ, 2010), propuso una ecuación para determinar caudales máximos considerando como variables de ingreso el ancho medio de la cuenca, parámetro de forma de la cuenca y perímetro de la cuenca.

Según (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009), propuso modelo o ecuación que relaciona el caudal medio considerando como variables de ingreso al área de la cuenca y la precipitación areal de la cuenca.

Los autores mencionados en párrafos arriba consideran como variables de ingreso las características geomorfológicas de la cuenca de interés, para determinar los modelos o la ecuación de caudales.

Así mismo (LUJANO LAURA, 2015), (GANANCIAS MARTÍNEZ, 2010), no consideran las características climatológicas para determinar los modelos o la ecuación de caudales; sin embargo (CHÁVEZ JIMÉNEZ, 2009) consideró las características climatológicas (precipitación) para la ecuación que determina el caudal medio y para la presente investigación se consideró las características climatológicas como es la precipitación (mm) a pesar que la coeficiente de correlación fue negativa con los caudales de crecidas pero tuvo un buen coeficiente de determinación entre los caudales observados y calculados llegando a 0.995.

Sin embargo, para la presente investigación se propuso modelos regionales de caudales de crecida, considerando como variables de ingreso el área de la cuenca, longitud del río principal de la cuenca, perímetro de la cuenca y la precipitación areal de la cuenca. Estos modelos considerados estiman adecuadamente los caudales en cualquier punto de interés en cuencas sin información de caudales.

CONCLUSIONES

- ✓ Los modelos regionales obtenidos permiten estimar adecuadamente los caudales de crecida en la vertiente del Titicaca para el diseño de obras hidráulicas, esto en cualquier punto de interés de las cuencas sin información de caudales de crecidas, considerando como variables de ingreso el área de la cuenca (A), longitud del río principal(L), perímetro de la cuenca (P) y la precipitación areal de la cuenca (PP). Se establecieron 05 Modelos regionales: $Q_{inst}=5.83054 \times 10^{-9} A^{3.158} L^{-3.486} P P^{2.322}$, $Q_{inst}=0.64603 A^{1.829} L^{-1.764} P^{-0.109}$, $Q_{inst}=8.54879 A^{0.588} P^{-0.256}$, $Q_{inst}=0.23770 A^{2.114} L^{-2.178}$ y $Q_{inst}=2.25288 A^{0.563}$.
- ✓ Los modelos regionales se relacionan adecuadamente con las características geomorfológicos de las cuencas de la vertiente del Titicaca, siendo las variables geomorfológicos que mejor explican el área de la cuenca (A), longitud del río principal (L) y el perímetro de la cuenca (P), con valores de coeficiente de determinación (R^2) entre 0.736 a 0.958, eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.996 a 0.999, en términos de la raíz del error cuadrático medio (RSME) con valores de 7.88 m³/s a 40.52 m³/s y valores del sesgo porcentual (BIAS) entre -0.18 a -2.03.
- ✓ Los modelos regionales obtenidas para las cuencas de la vertiente del Titicaca se relacionan adecuadamente con las características climáticas, siendo la variable climática que mejor explican la precipitación areal de la cuenca (PP), a pesar que en el análisis de correlación es negativa de -0.64 con el caudal instantáneo, sin embargo en la evaluación estadística del modelo regional se tuvieron un valor de coeficiente de determinación (R^2) de 0.995, eficiencia de Nasch-Sutcliffe (NSE) de 0.998, en términos de raíz del error cuadrático medio (RSME) de 10.21 m³/s y el valor de sesgo porcentual (BIAS) de 0.22.

RECOMENDACIONES

- ✓ Los modelos regionales planteados en la presente investigación podrán ser aplicado en condiciones de áreas que fueron estimados, para cuencas naturales sin registro de caudales máximos.

- ✓ Para posteriores investigaciones, relacionados a la regionalización de caudales de crecidas, considerar las características de los suelos, ecología y otros variables.

- ✓ Finalmente se recomienda a las instituciones privadas, públicas y sectores involucrados en el diseño de infraestructuras hidráulicas, la utilización de este modelo hidrológico como una herramienta de estimación de caudales de crecidas en la región hidrográfica del Titicaca.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- ALFARO ALEJO, Roberto. 2008. *Estadística y Probabilidades para Ingenieros*. Puno : s.n., 2008.
- ALIAGA ARAUJO, Segundo Vito. 1983. *Hidrología de Tratamiento de datos hidrometeorológicos*. Lima : s.n., 1983.
- ALVARES, G., HOTAIT, N. y SUSTAITA, F. 2011. Identificación de regiones homogéneas mediante análisis multivariado. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. 2011, págs. 277-284.
- ÁLVAREZ ENJO, Manuel Alf. 2000. Análisis regional de avenidas en la zona atlántica de Galilea, noroeste de España. *Ingeniería Hidráulica en México*. Santiago-España : USC, 2000. Vol. XVI, 2, págs. 67-76.
- ANDERSEN, J., REFSGAARD, J. y JENSEN, K. H. 2001. Distributed hydrological modelling of the Senegal River basin-model construction and validation. *Journal Hydrological*. 2001. Vol. 247, págs. 200-214.
- APARICIO MIJARES, Francisco Javier. 1992. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México : LIMUSA S.A. de C.V., 1992. 968-18-3014-8.
- AZARANG ESFANDIARI, Mohammad Reza y GARCIA DUNNA, Eduardo. 1997. *Simulación y Análisis de Modelos estocásticos*. México : MCNI, 1997. 970-10-1173-2.
- BASAN NICKICH, Mario. 2007. *Manejo de los Recursos Hídricos en la Zonas Áridas y Semiáridas para Áreas de Secano*. Santiago del Estero : Inta, 2007.
- BREÑA PUYOL, Agustín Felipe y JACOBO VILLA, Marco Antonio. 2006. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. México : UAM, 2006.
- CAHUANA ANDIA, Agustín y YUGAR MORALES, Weimer. 2009. *Hidrología CIV - 233*. Cochabamba : UMSS, 2009.
- CHÁVEZ JIMÉNEZ, Adriadna. 2009. *Aplicación del método de regionalización de caudales en el puente Carrasquillo*. Piura-Perú : Universidad de Piura, 2009.
- ESCALANTE SANDOVAL, Carlos A. y REYES CHÁVEZ, Lilia. 2002. *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. México : ISBN, 2002. 970-32-0173-3.
- FATTORELLI, Sergio y FERNÁNDEZ, Pedro. 2011. *Diseño Hidrológico*. Zaragoza : WASA-GN, 2011. 978-987-05-2738-2.
- GANANCIAS MARTÍNEZ, Facundo Matías. 2010. *Evaluación de Metodologías de Regionalización en Hidrológica: Aplicación a los Caudales máximos de cuencas Representativas de la Región Sur - Oeste de la Provincia de Córdoba*. Córdoba : UNC, 2010.
- GUEVARA PÉREZ, Edilberto. 2015. *Métodos para el Análisis de Variables Hidrológicas y Ambientales*. Lima : ANA, 2015. 978-612-4273-01-8.
- GUPTA, H. V, SOROOSHIAN, S. y YAPO, P. O. 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*. 1999. Vol. 4, 2, págs. 135-143.
- HALL, M. J. y MINNS, A. W. 1999. The classification of hydrologically homogeneous regions. *Hydrological Sciences Journal*. 1999. Vol. 44(5), 693-704.
- LEGATES, D. R. y MCCABE, G. J. 1999. Evaluating the use of goodness-of-fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*. 1999. Vol. 35, 1, págs. 233-241.
- LUJANO LAURA, Apolinario. 2015. *Análisis regional de caudales medios mensuales de los ríos de la región hidrográfica del Titicaca (Perú) basado en L-Momentos*. Puno : UNA, 2015.
- LUJANO LAURA, Apolinario, LUJANO LAURA, Efraín y QUISPE ARAGON, José Pitagoras. 2016. Regionalización de caudales anuales en cuencas del altiplano Peruano. *Revista de investigaciones Altoandinas*. 2016. 2.

- LUJANO LAURA, Efraín. 2015. *Análisis de frecuencias regional de las precipitaciones máximas diarias en la región hidrográfica del Titicaca*. Puno : UNA, 2015.
- MCCUEN, By Richard H., LEAHY, Rita B. y JOHNSON, Peggy A. 1990. Problems with Logarithmic Transformations in Regression. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1990. Vol. 116, 3, págs. 414-428. 0733-9429/90/0003-0414.
- MCCUEN, Richard H., KNIGHT, Zachary y CUTTER, A. Gillian. 2006. Evaluation of the Nash - Sutcliffe Efficiency Index. *Journal Of Hydrology Engineering*. 2006. Vol. 11, 597-602.
- MERZ, Ralf y BLOSCHL, Gunter. 2004. Regionalisation of catchment model parameters. *Journal of Hydrology*. 2004. Vol. 287, págs. 95-123.
- MONSALVE SÁENZ, Germán. 1999. *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá : Alfaomega, 1999. 970-15-0404-6.
- MONTSERRAT, Jardí. 1985. Forma de una cuenca de drenaje. *Análisis de las variables morfométricas*. Barcelona : s.n., 1985. Vol. XIX, págs. 41- 68.
- MORIASI, Daniel N., y otros. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*. 2007. Vol. 50(3), págs. 885-900. ISSN 0001–2351.
- NASH, J. E. y SUTCLIFFE, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I - discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 1970. Vol. 10(3), págs. 282-290.
- NATHAN, R. J. y MCMAHON, T. A. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalisation. *Journal of Hydrology*. 1990. Vol. 121, págs. 217-238. 0022-1694/90.
- PANDEY, G. R. y NGUYEN, V. T. V. 1999. A comparative study of regression based methods in regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*. 1999. Vol. 225, págs. 92-101. 0022-1694/99.
- PEREZ MORALES, Guillermo Benjamin y RODRIGUÉZ CASTRO, Alberto. 2009. *Apuntes de Hidrología Superficial*. Lima : UMSNH, 2009.
- RAMOS TAIPE, Cayo Leonidas. 2014. *Diseño de Estructuras Hidráulicas I*. Lima : UNALM, 2014. 978-612-4147-31-9.
- REYES CARRASCO, Luis Vicente y REYES KNOCHÉ, Alexander. 2016. *Diseños Hidráulicos I*. Chiclayo : REQUE, 2016.
- RITTER, Axel y MUÑOZ-Carpena, Rafael. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 480, págs. 33-45.
- RODRÍGUEZ S., Erasmo A., TORRES R., José A. y LEÓN DÍAZ, Pedro J. 2000. Pronóstico de la Precipitación Máxima en 24 horas en la Zona Cafetera. *Revista Ingeniería e Investigación*. Cafetera : s.n., 2000. 46, págs. 5 - 11.
- SEGERER, Carlos D. y VILLODAS, Rúben. 2008. *Hidrología*. Cuyo : UNC, 2008.
- TUCCI, C. 2002. Regionalização de Vazões. *Primera edição Ed. Universidades/UFRGS*. Brasil : s.n., 2002. pág. 256 pp.
- VILLÓN BÉJAR, Máximo. 2002. *Hidrología*. Lima : VILLÓN, 2002.
- . 2005. *Hidrología Estadística*. Lima : VILLÓN, 2005.

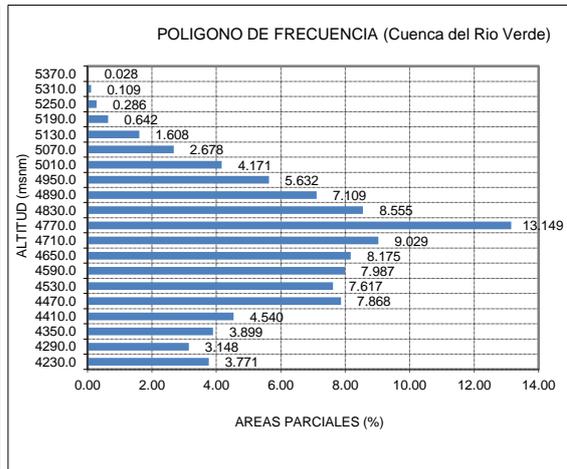
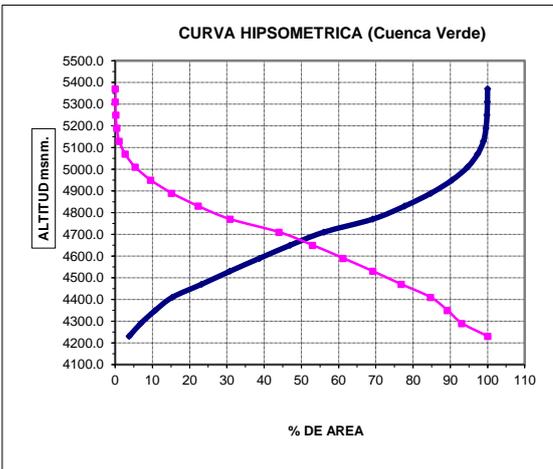
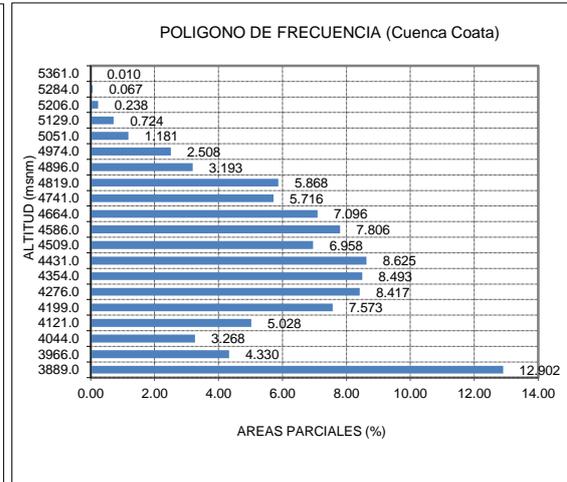
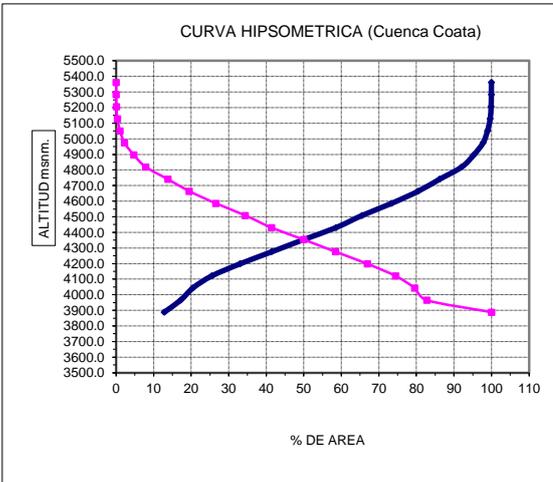
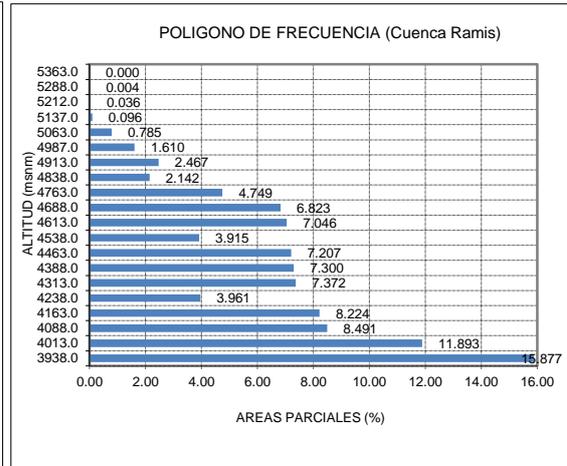
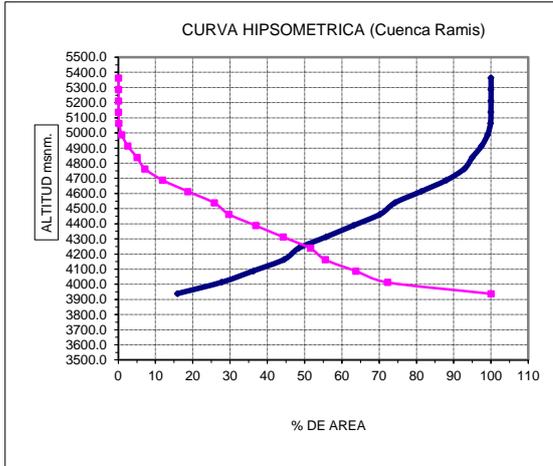
ANEXOS

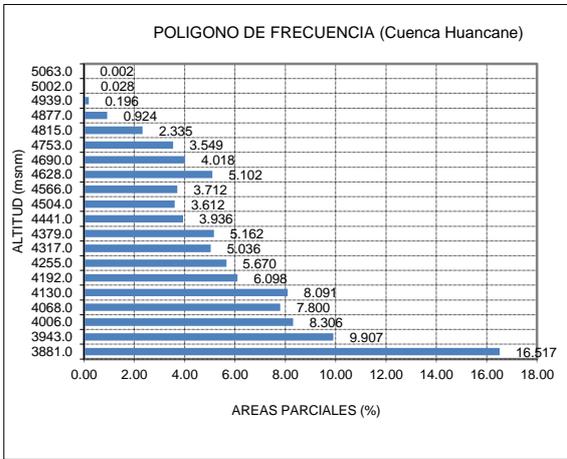
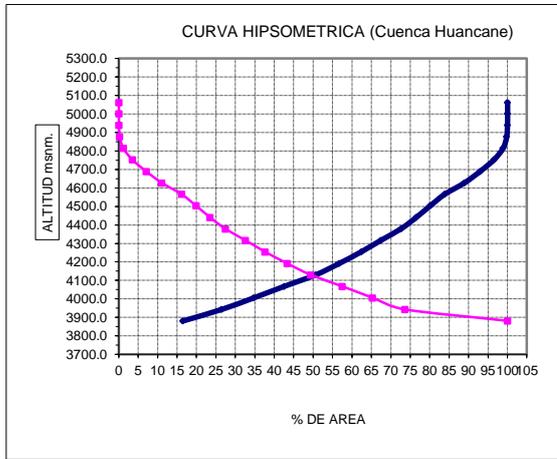
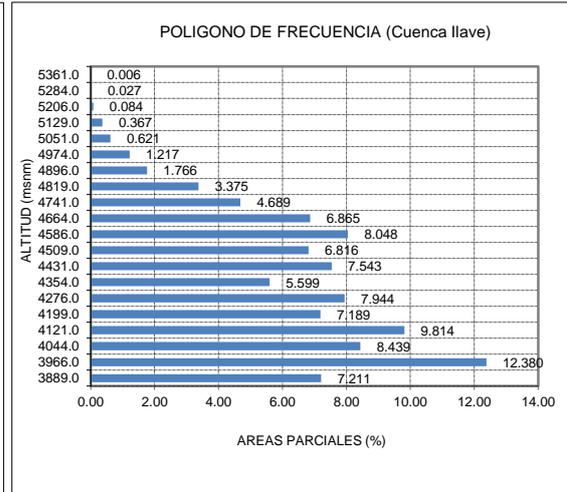
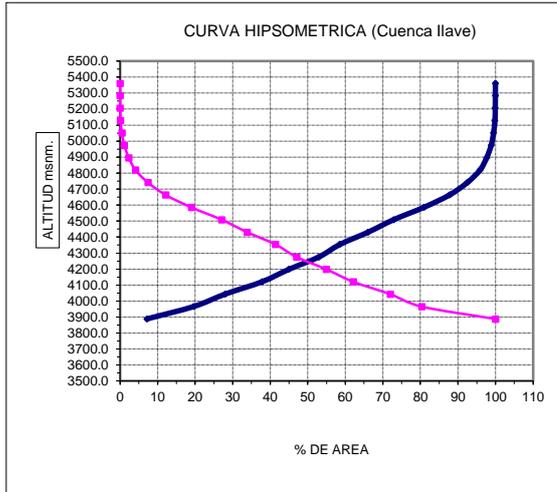
Cuadro N° 27: Matriz de consistencias

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	TECNICAS	INSTRUMENTOS
Problema General	Objetivo general	Hipótesis general			
¿De qué manera los modelos regionales estiman los caudales de crecida en cuencas de la vertiente del Titicaca, que permitan diseñar adecuadamente las obras hidráulicas?	Proponer modelos regionales que permitan estimar caudales de crecida en cuencas de la vertiente del Titicaca para el diseño adecuado de obras hidráulicas	Los modelos regionales estiman adecuadamente los caudales de crecida en cuencas de la vertiente del Titicaca para el diseño adecuado de obras hidráulicas	Variable 1 Modelo regional de caudales de crecidas		
Problemas específicas	Objetivos específicos	Hipótesis específicos			
¿Cómo se relacionan las características geomorfológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales?	Relacionar las características geomorfológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales	Las características geomorfológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca se relacionan adecuadamente con los modelos regionales	* Área de la cuenca (km ²) * Longitud del río principal de la cuenca (km) * Perímetro de la cuenca (km)	Carta nacional (ALAs-ANA)	Base de datos en shp
¿Cómo se relacionan las características climatológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales?	Relacionar las características climatológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca con los modelos regionales	Las características climatológicas de las cuencas de la vertiente del Titicaca se relacionan adecuadamente con los modelos regionales	* Precipitación (mm)	Datos meteorológicos (SENAMHI)	Ficha de registros de datos históricos

Fuente: Elaboración propia

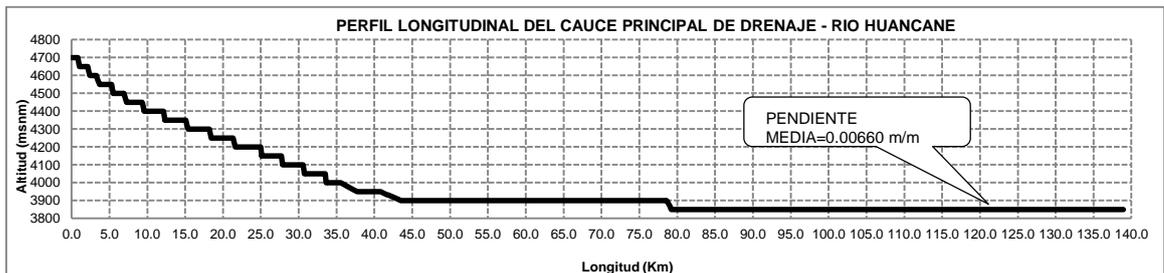
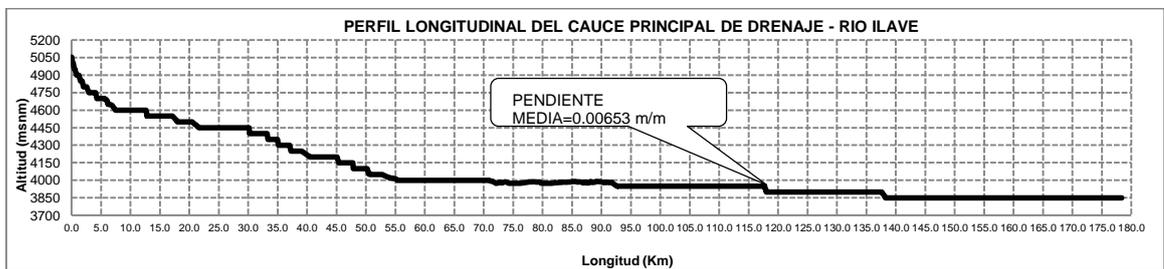
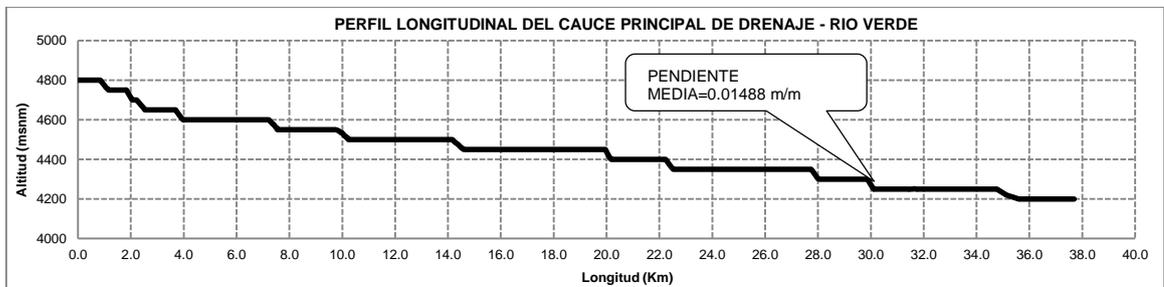
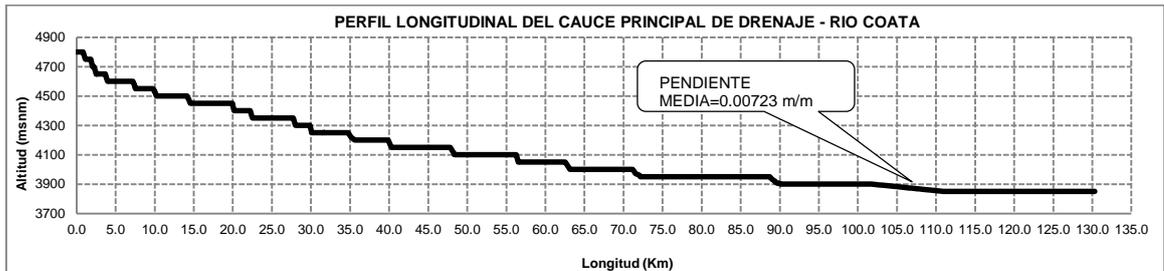
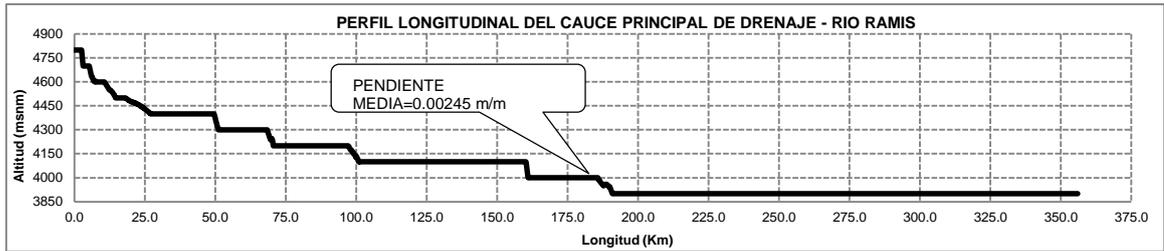
Gráfico N° 1: Curva Hipsométrica y polígono de frecuencias





Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2: Perfil longitudinal del cauce principal – Cuenca



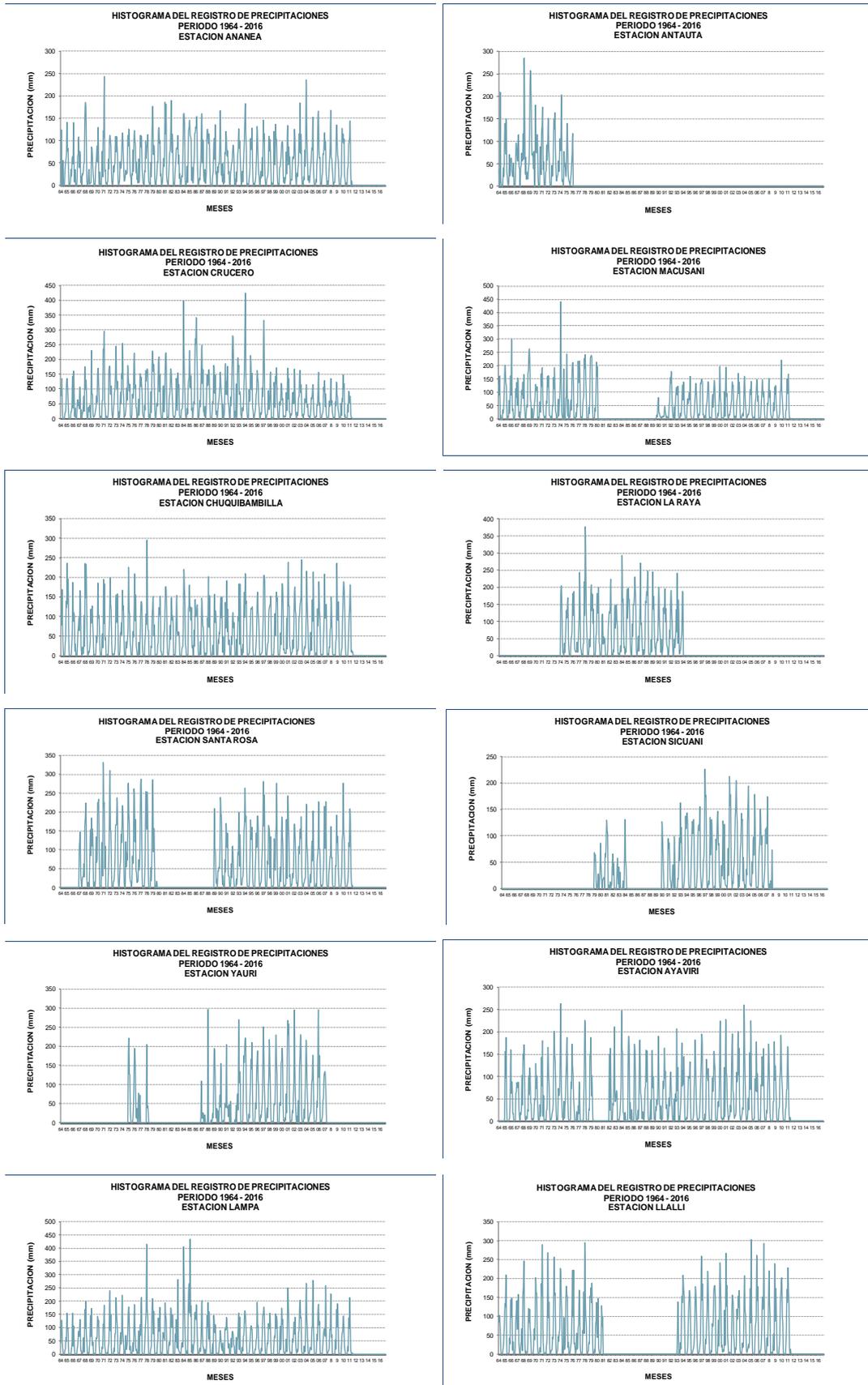
Fuente: Elaboración propia

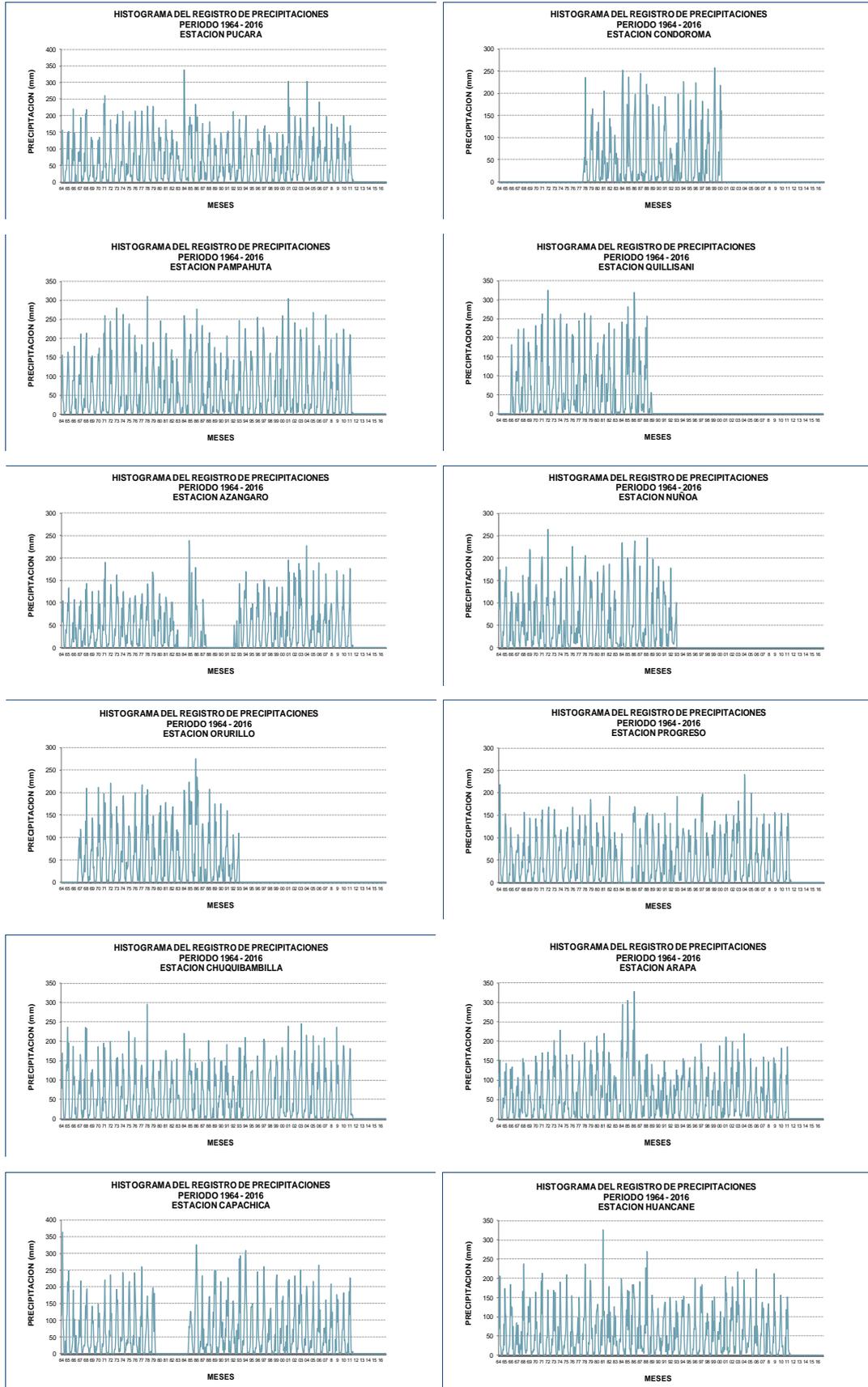
Cuadro N° 28: Parámetros geomorfológicos de la cuenca

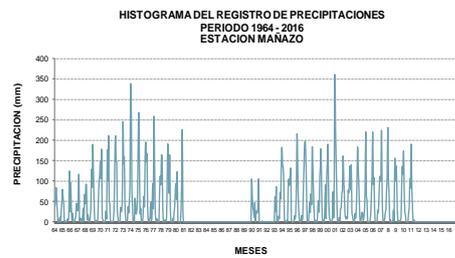
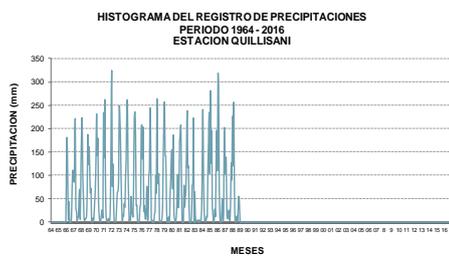
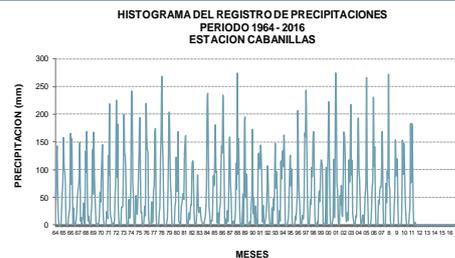
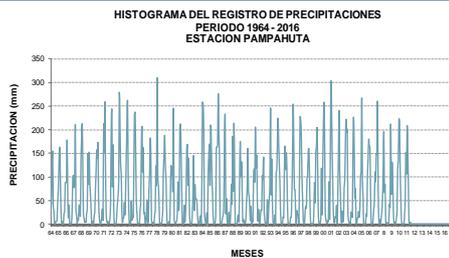
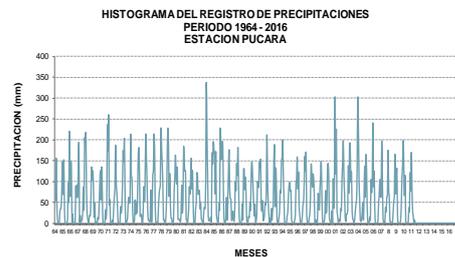
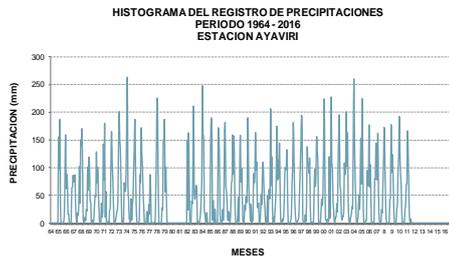
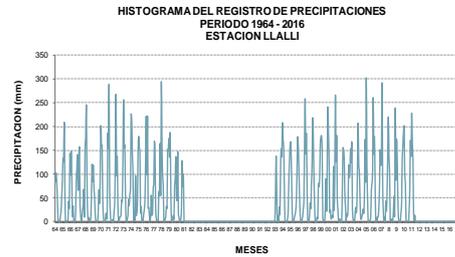
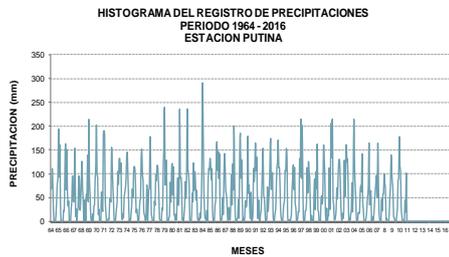
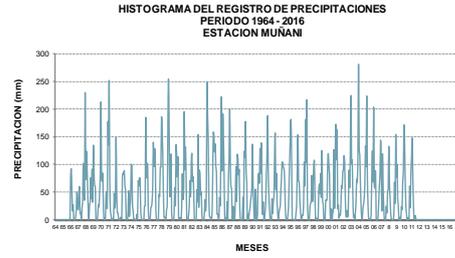
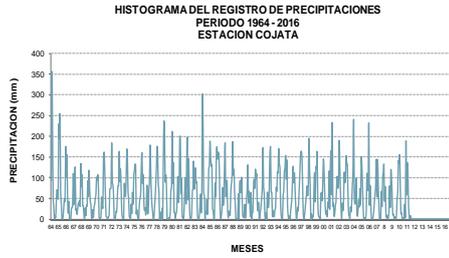
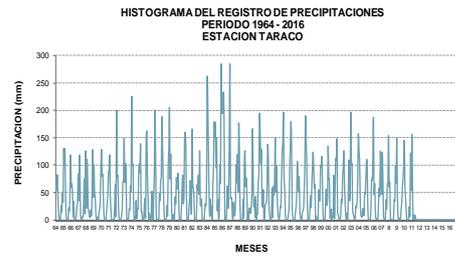
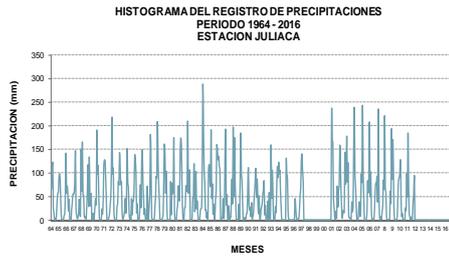
PARAMETROS	FORMULA	UNIDAD DE MEDIDA	CUENCA	CUENCA	CUENCA	CUENCA	CUENCA		
			RAMIS RIO RAMIS	COATA RIO UNOCOLLA	VERDE RIO VERDE	HUANCANE RIO HUANCANE	ILAVE RIO ILAVE		
1. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA	Área total de la Cuenca (A)	Km ²	14704.29	4448.48	748.96	3511.1	7772.7		
	Perímetro de la cuenca (P)	Km	982.5	364.75	140.83	408.78	569.37		
	Longitud del río Principal (L)	Km	367.5	131.4	40.32	130.1	182.53		
	Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	Km	5517.26	1569.27	320.70	1372.01	3467.72	
		Orden 2	Km	2206.93	563.49	83.85	498.71	1222.58	
		Orden 3	Km	1100.68	350.96	60.53	286.55	594.61	
		Orden 4	Km	538.62	175.64	19.81	166.46	271.46	
		Orden 5	Km	363.96	126.47	12.36	104.77	123.48	
		Orden 6	Km	304.57	-	-	83.62	101.89	
		Orden 7	Km	52.34	-	-	-	22.79	
		Longitud Total	Km	10084.34	2785.82	497.25	2512.11	5804.53	
	Ancho promedio de la cuenca (Ap)	$Ap = A/L$	Km	40.01	33.85	18.58	26.99	42.58	
	Coefficiente de la Compacidad (Kc)	$Kc = 0.282(P/(VA))$	-	2.28	1.54	1.45	1.95	1.82	
Factor de forma (Ff)	$Ff = A/L^2$	-	0.11	0.26	0.46	0.21	0.23		
Rectángulo Equivalente (RE)	Lado mayor (Lmay)	$Re = 0.25 * P + \sqrt{((P/a)^2 - A)}$	Km	459.23	153.37	57.36	185.46	254.10	
	Lado menor (Lmen)		Km	32.02	29	13.06	18.93	30.59	
Radio de circularidad (Rc)	$Rc = 4\sqrt{A}/P^2$	Km	0.19	0.42	0.47	0.26	0.30		
2. PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA	Curva hipsométrica		-	✓	✓	✓	✓	✓	
	Polígono de frecuencias de altitudes		-	✓	✓	✓	✓	✓	
	Altitud media de la cuenca (Hm)	$Hm = \sum(Ci.ai)/A$	msnm	4358	4432	4712	4256	4360	
	Altitud de frecuencia media		msnm	4250.1	4350.1	4675	4130	4250	
	Área por encima de frecuencia media		Km ²	8158.33	2601.26	458.14	2017.67	4271.36	
	Altitud más frecuente		msnm	3938	3889	4770	3881	3966	
	Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima		msnm	5400	5400	5400	5100	5400
		Altitud mínima		msnm	3900	3850	4200	3850	3850
		pendiente media	$Sm = H/Lmay$	m/m	0.0033	0.0101	0.0209	0.0067	0.0061
	Índice de pendiente de la cuenca (Ip)	$Ip = \sum(Bi(ai-ai-1))*1/VL$	-	0.0526	0.0541	0.0335	0.0386	0.0554	
	Coefficiente de masividad (Cm)	$Cm = E/A$	-	0.00010	0.00036	0.00202	0.00040	0.00017	
	Coefficiente orográfico (Co)	$Co = Cm (E)$	-	0.00015	0.00058	0.00305	0.00056	0.00023	
	Coefficiente de torrencialidad (Ct)	$Ct = N^*R1/A$	-	0.19	0.14	0.18	0.20	0.17	
3. PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA	Numero de orden de los ríos	Numero de ríos	-	-	-	-	-	-	
		Orden 1	-	2786	642	135	687	1344	
		Orden 2	-	1374	299	57	324	629	
		Orden 3	-	658	169	44	170	332	
		Orden 4	-	296	73	11	69	171	
		Orden 5	-	178	46	14	42	48	
		Orden 6	-	82	-	-	26	68	
		Orden 7	-	1	-	-	-	13	
		N° total de ríos	-	5375.00	1229.00	261.00	1318.00	2605.00	
	Grado ramificación	-	7	5	5	6	7		
	Frecuencia de densidad de ríos (Fr)	$Fr = N^* rios/A$	ríos/Km ²	0.37	0.28	0.35	0.38	0.34	
	Densidad de drenaje (Dd)	$Dd = Lt/A$	Km/Km ²	0.69	0.63	0.66	0.72	0.75	
	Extensión media del escurrimiento superficial (E)	$E = A/Lt$	Km ² /Km	1.46	1.6	1.51	1.4	1.34	
Cotas del cauce principal	Altitud mínima (Hm)	msnm	3900	3850	4200	3850	3850		
	Altitud máxima (HM)	msnm	4800	4800	4800	4700	5054.05		
Pendiente media del río principal (Sm)	$Sm = (HM-Hm)/(1000 * L)$	msnm	0.00245	0.00723	0.01488	0.00653	0.00660		
Altura media del río principal (Hmed)	$H = (Hmax+Hmin)/2$	msnm	4350	4325	4500	4275	4452.025		
Tiempo de concentración (Tc)	$Tc = 0.0195(L^{0.77}/S^{0.385})$	min	3805.87	1136.54	346.6	1172.97	1516.13		

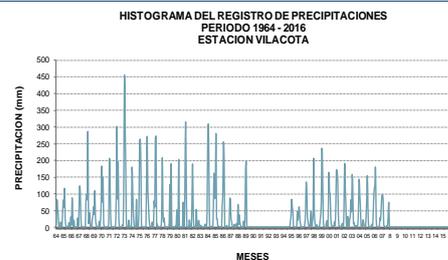
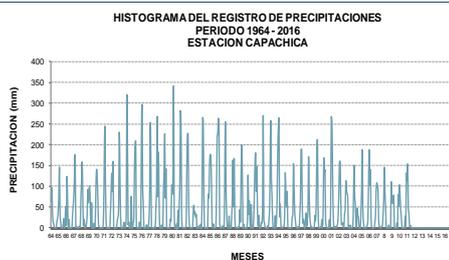
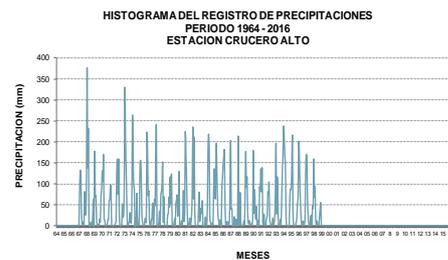
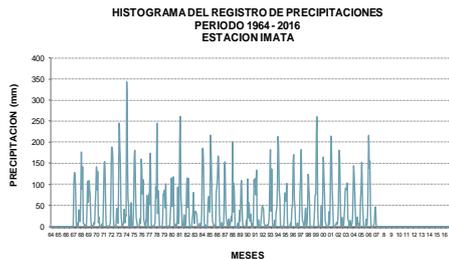
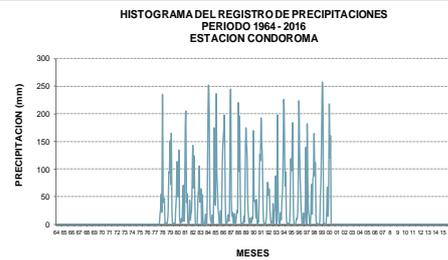
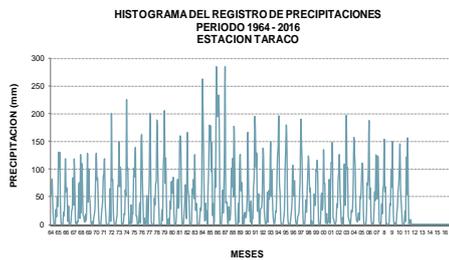
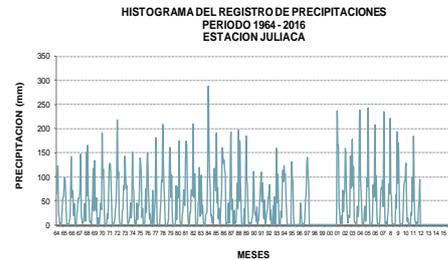
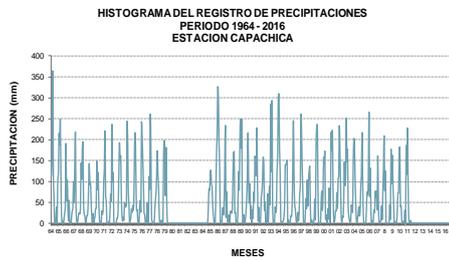
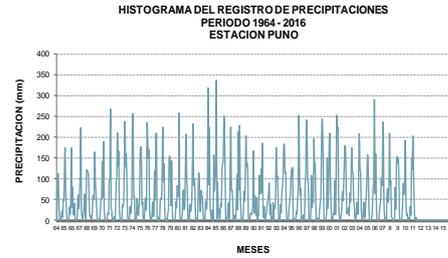
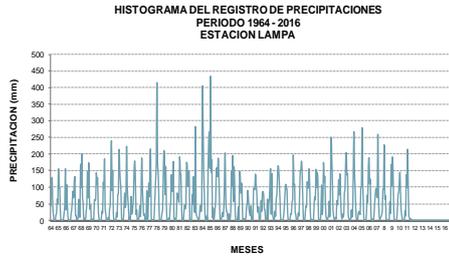
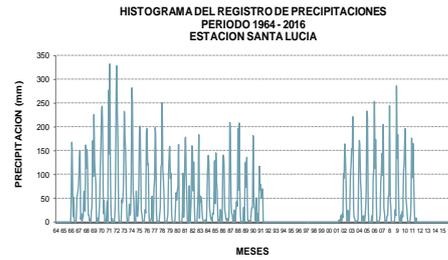
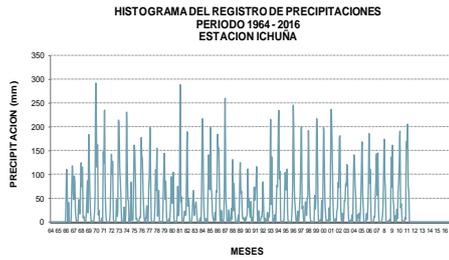
Fuente: Elaboración propia

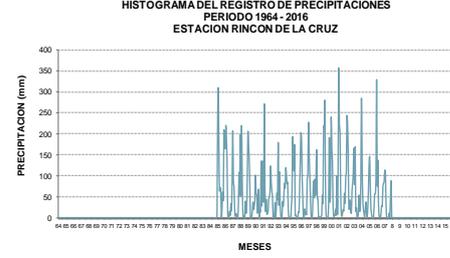
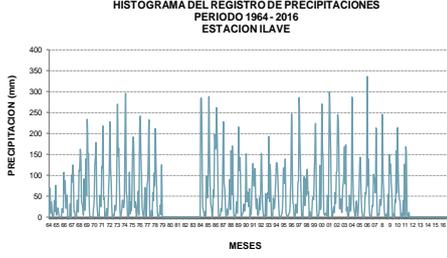
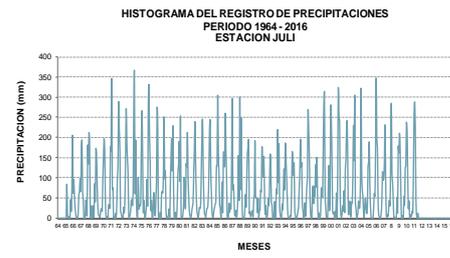
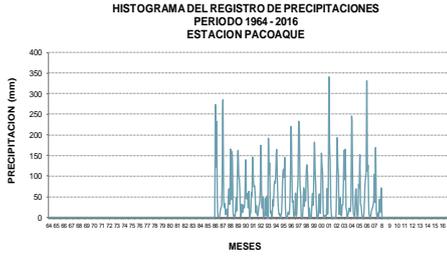
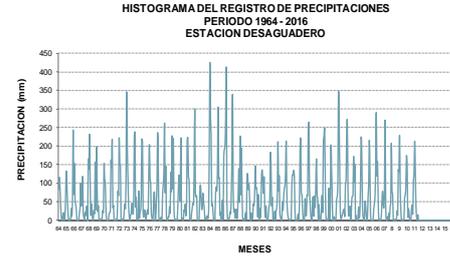
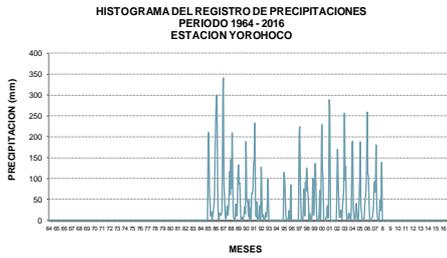
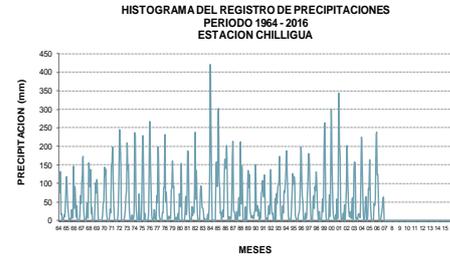
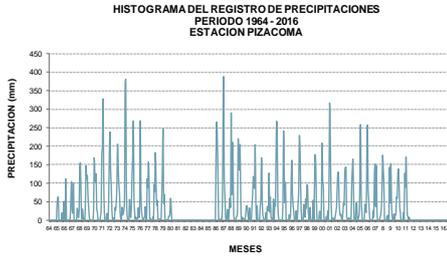
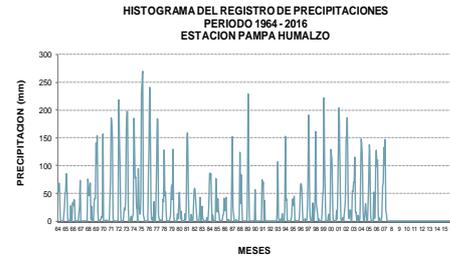
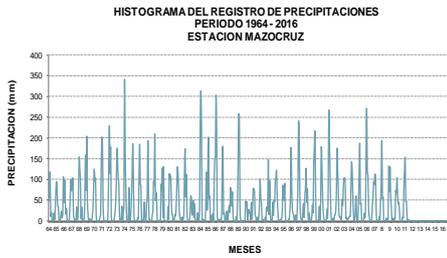
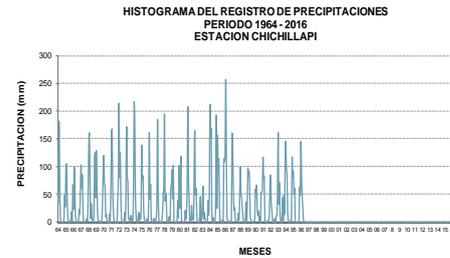
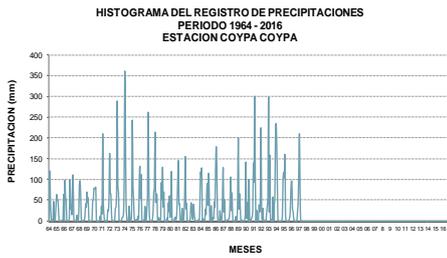
Gráfico N° 3: Análisis visual de hidrogramas de registro de precipitaciones

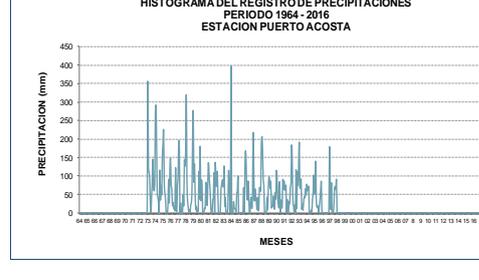
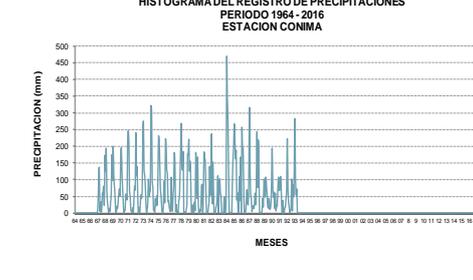
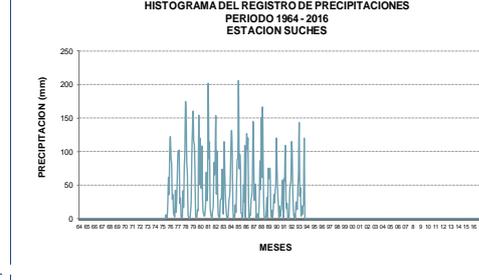
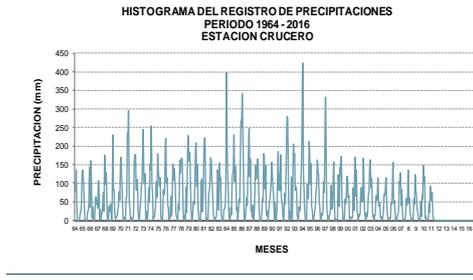
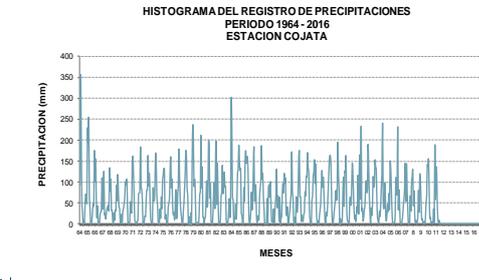
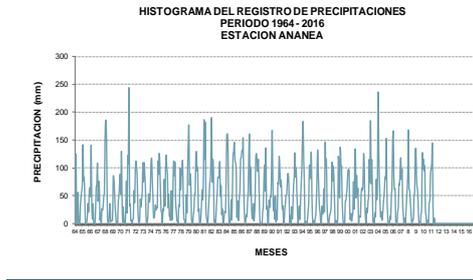
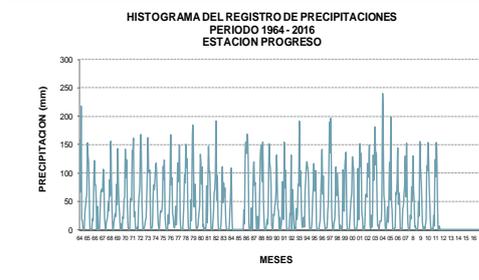
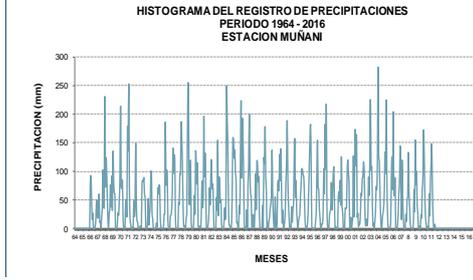
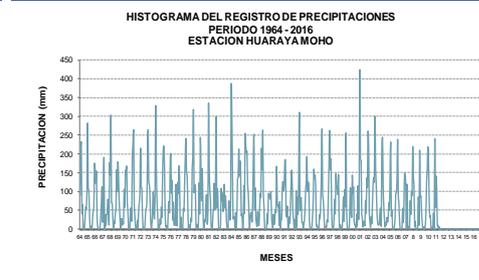
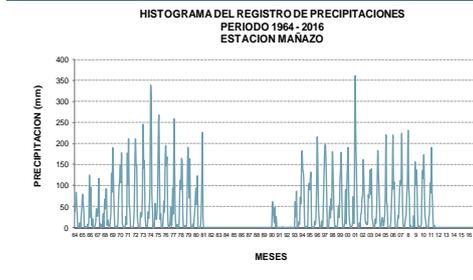
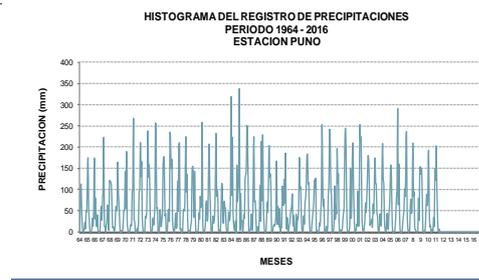
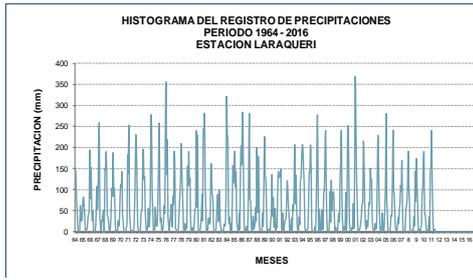


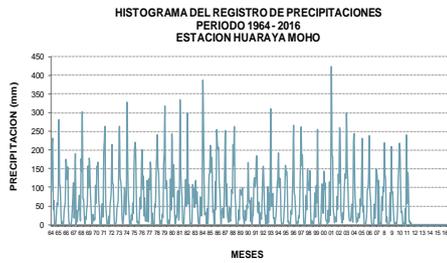
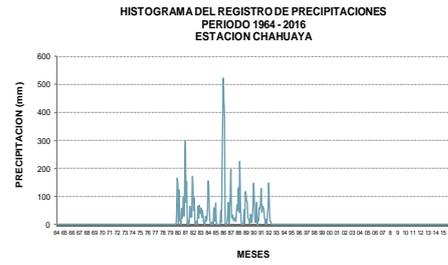
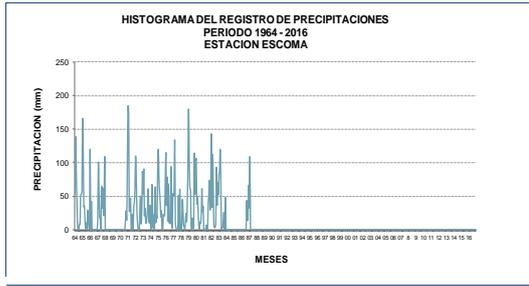






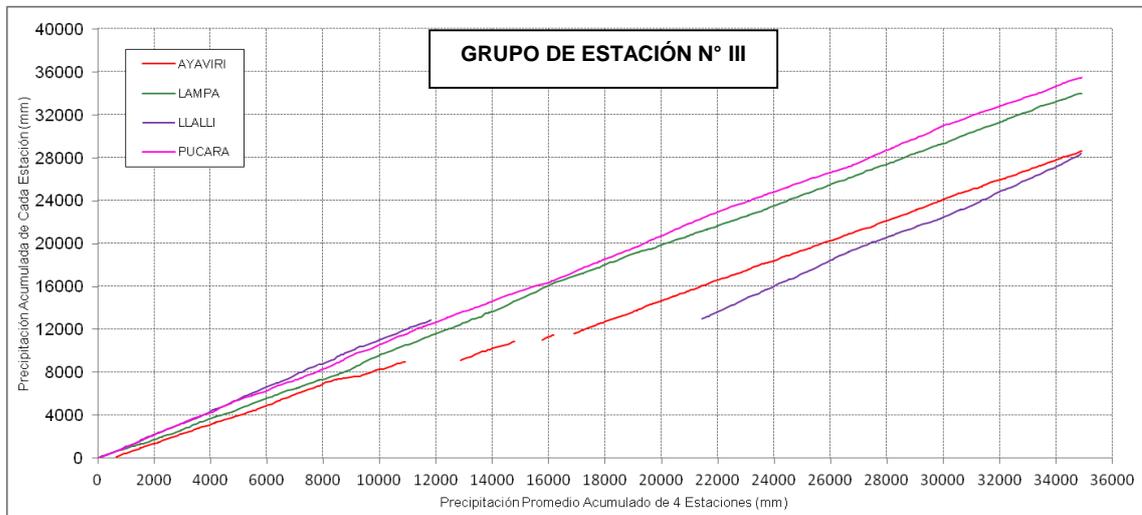
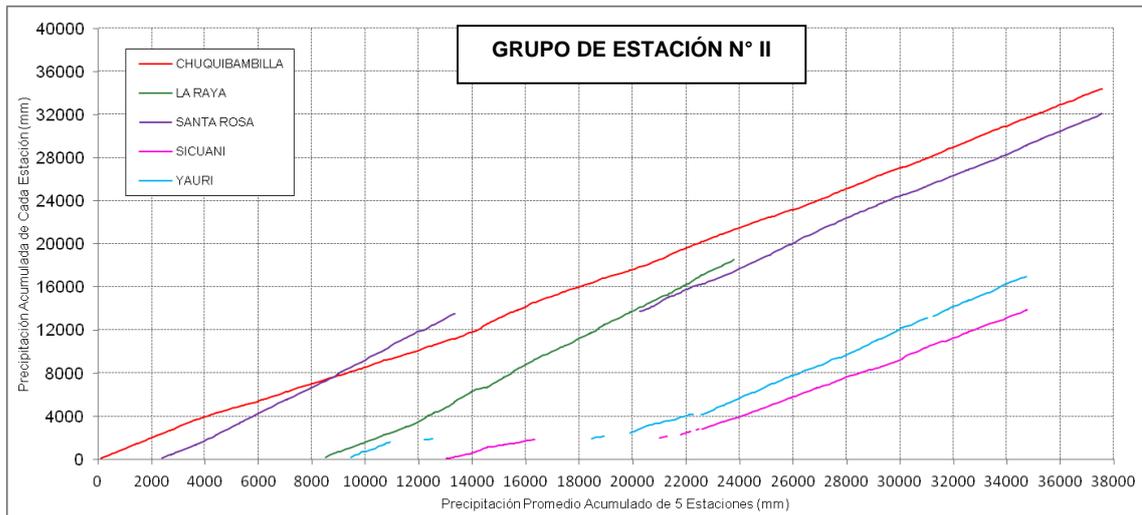
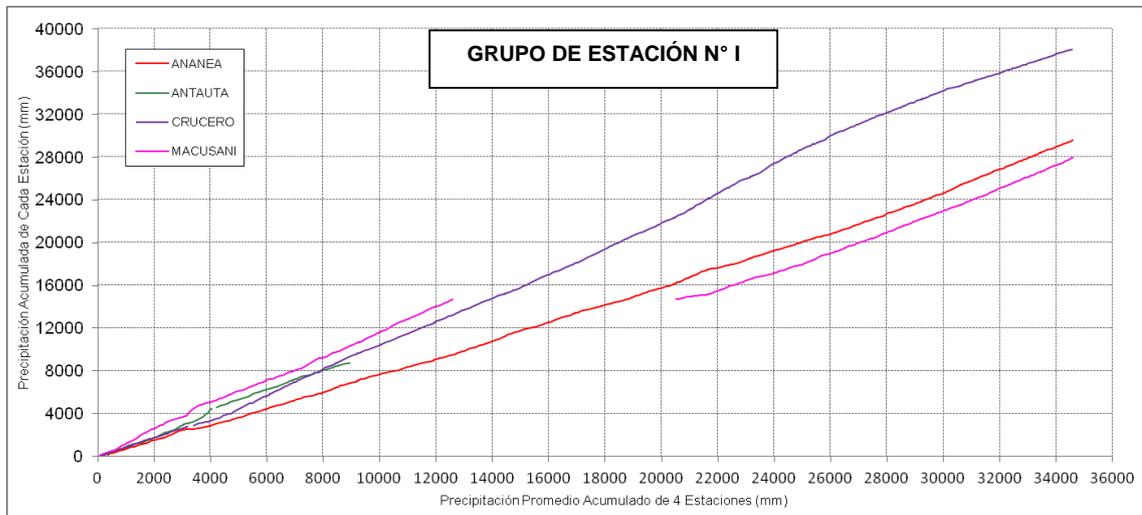


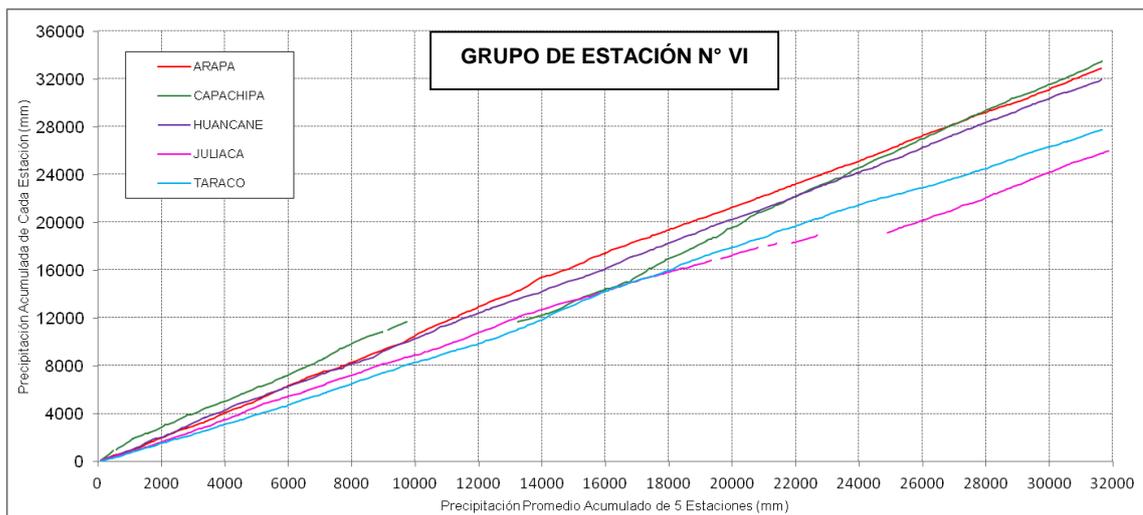
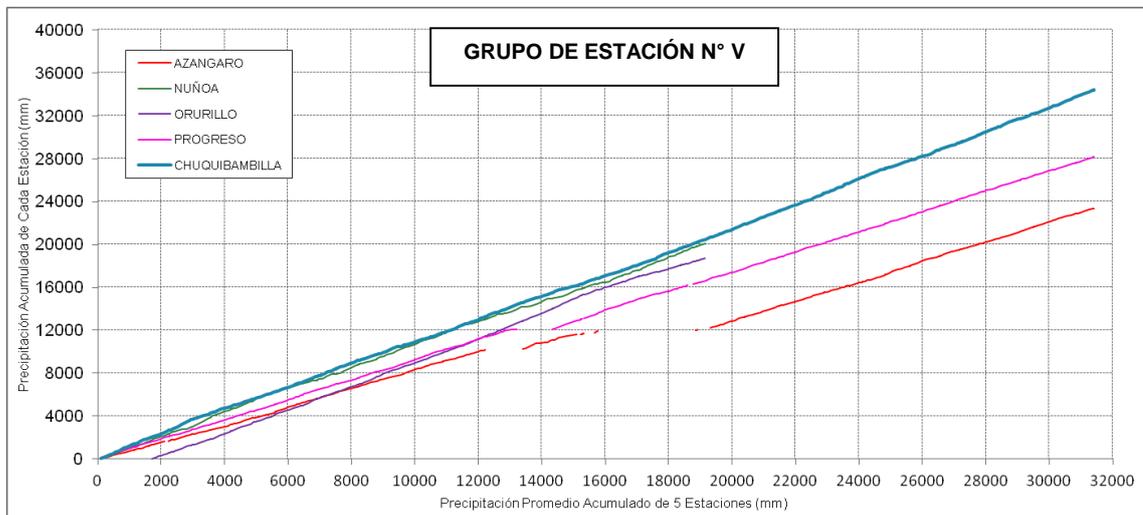
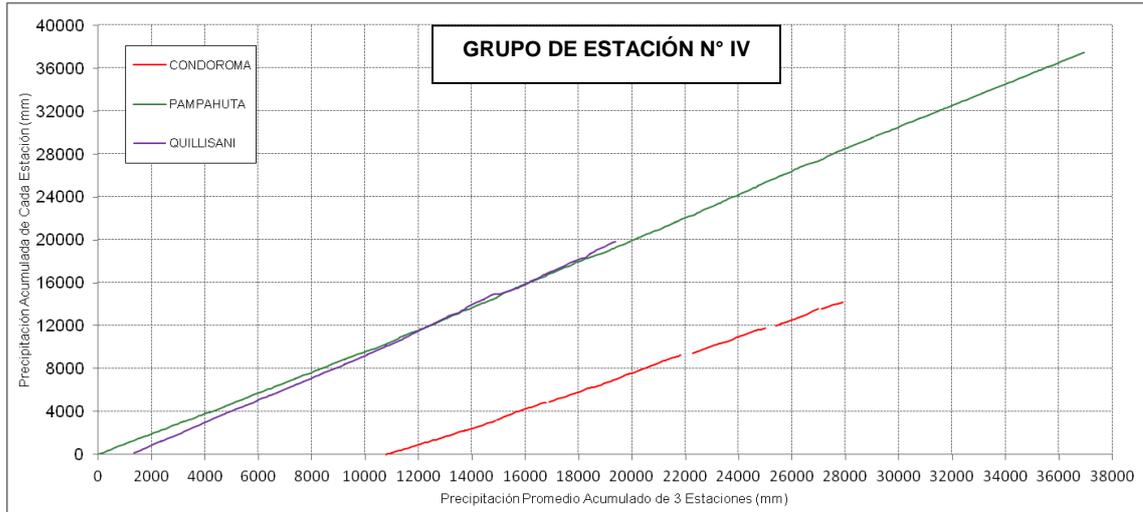


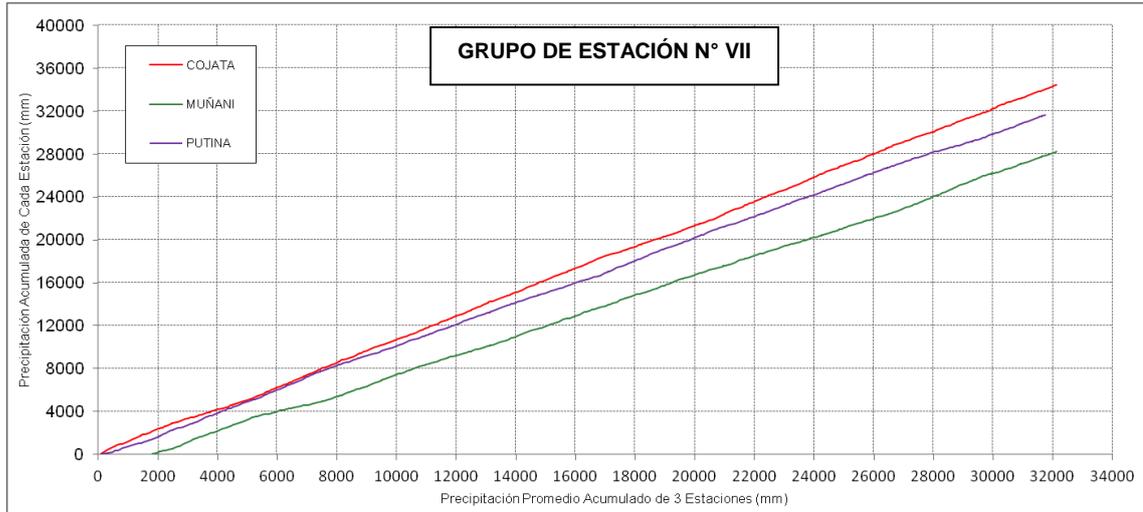


Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 4: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales -
cuenca Ramis

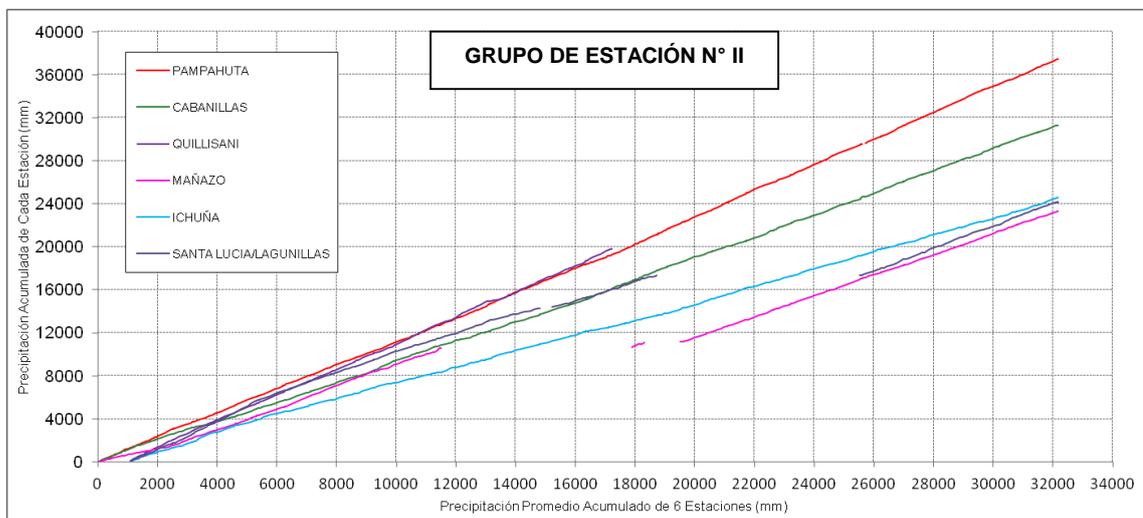
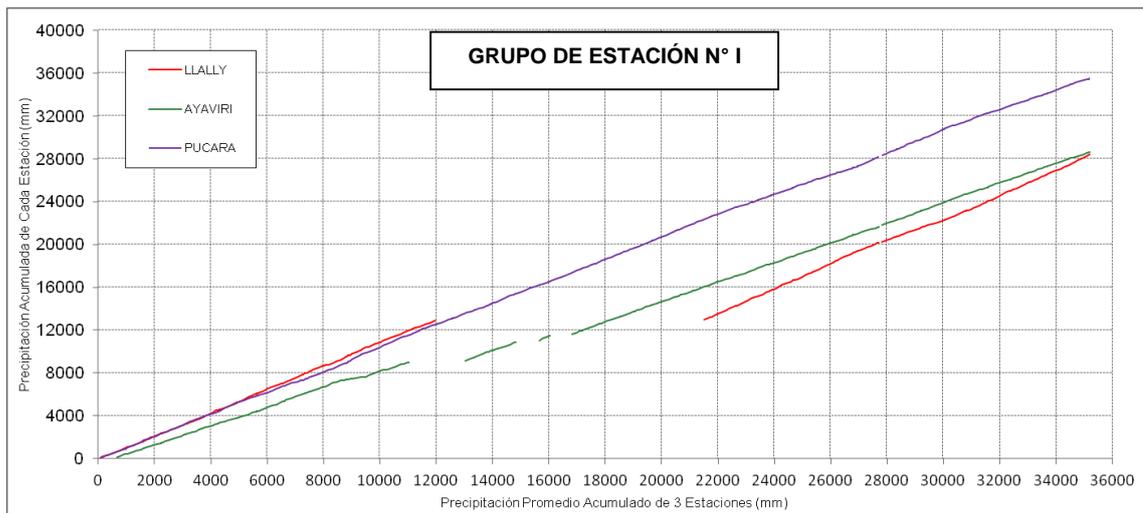


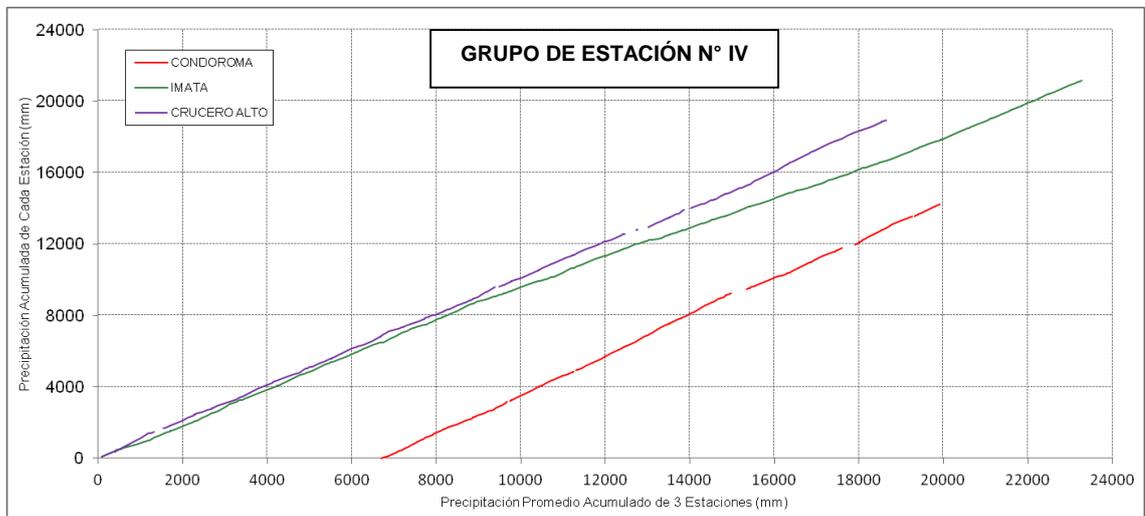
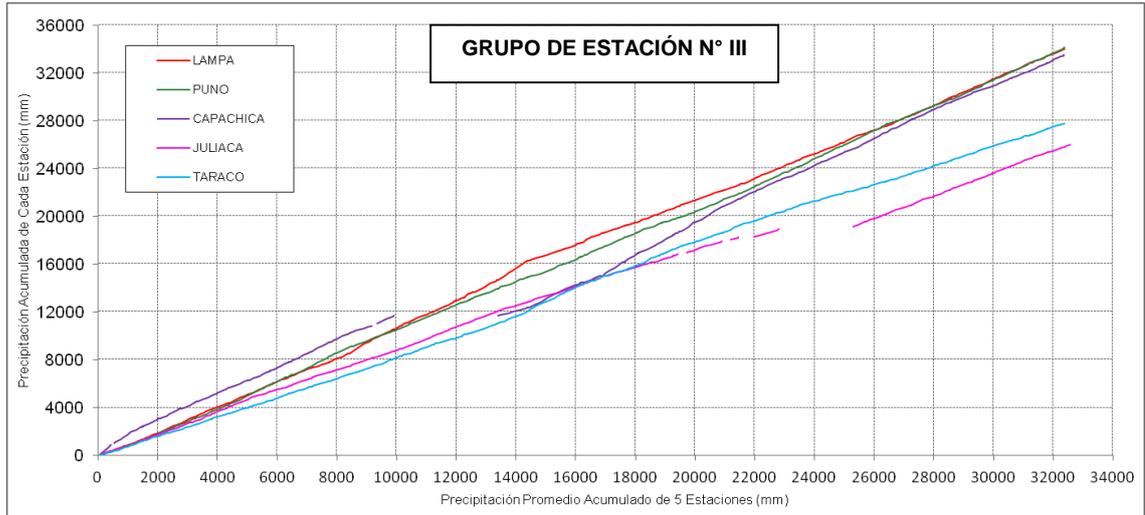




Fuente: Elaboración propia

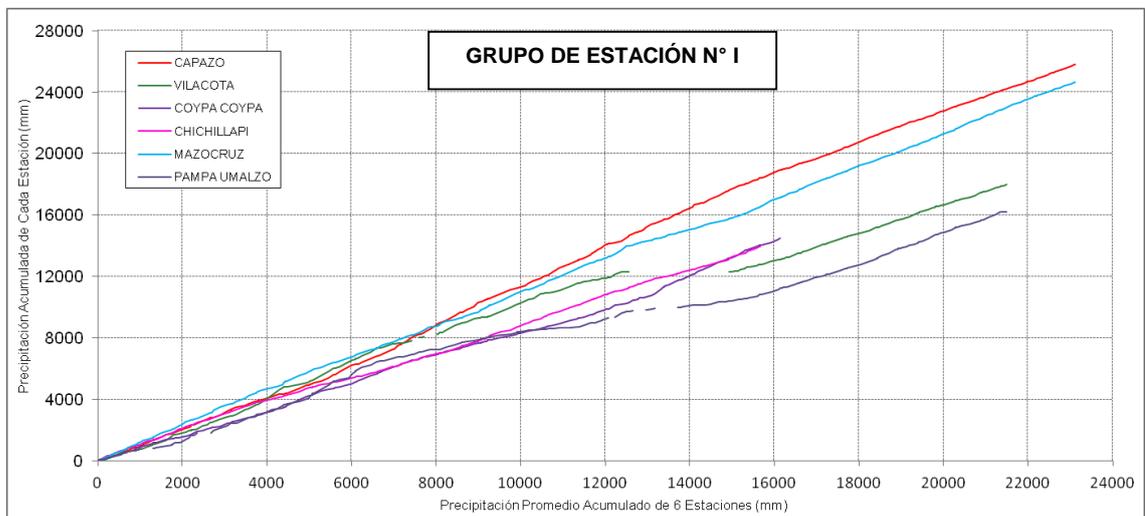
Gráfico N° 5: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca Coata.

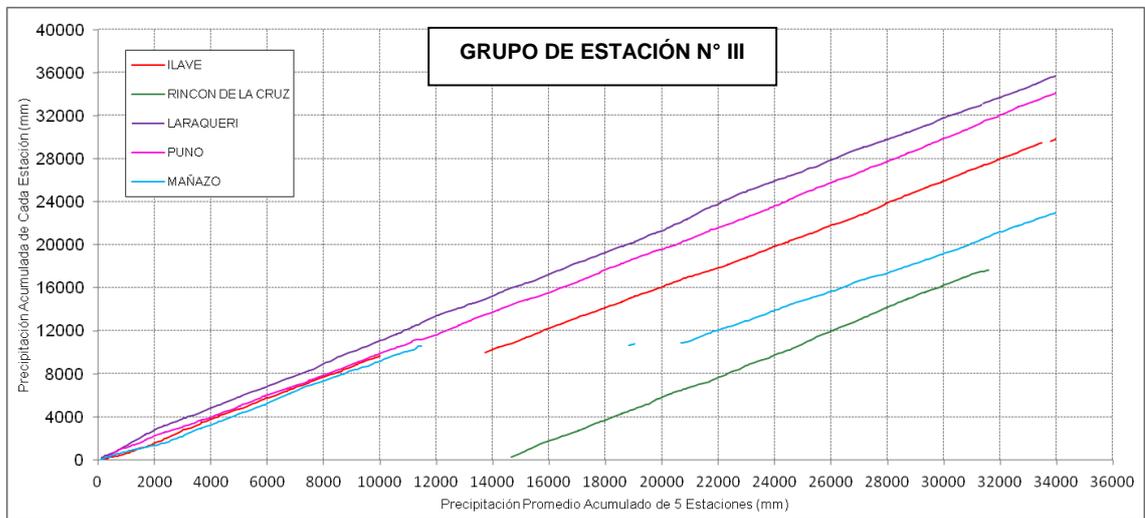
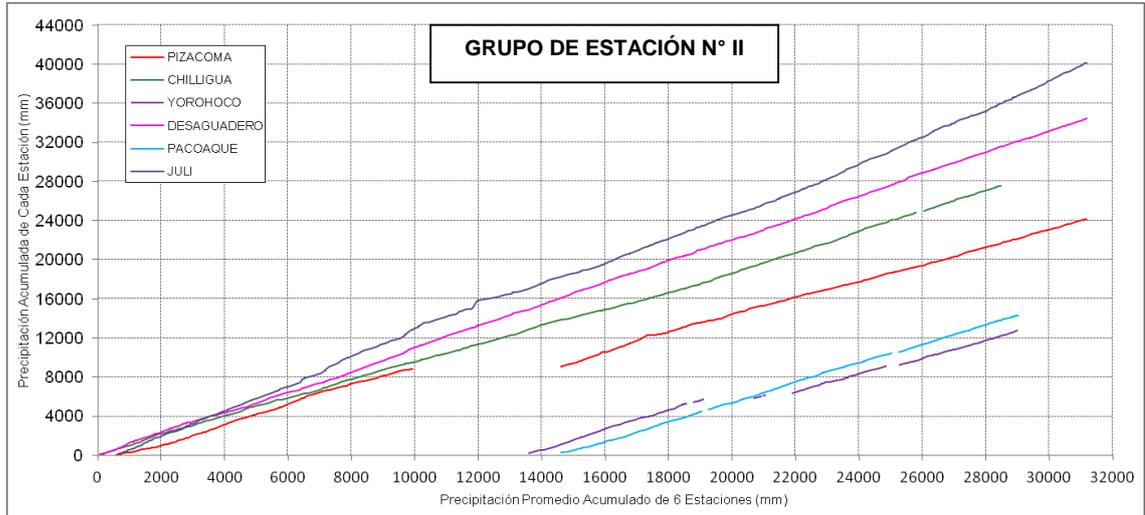




Fuente: Elaboración propia

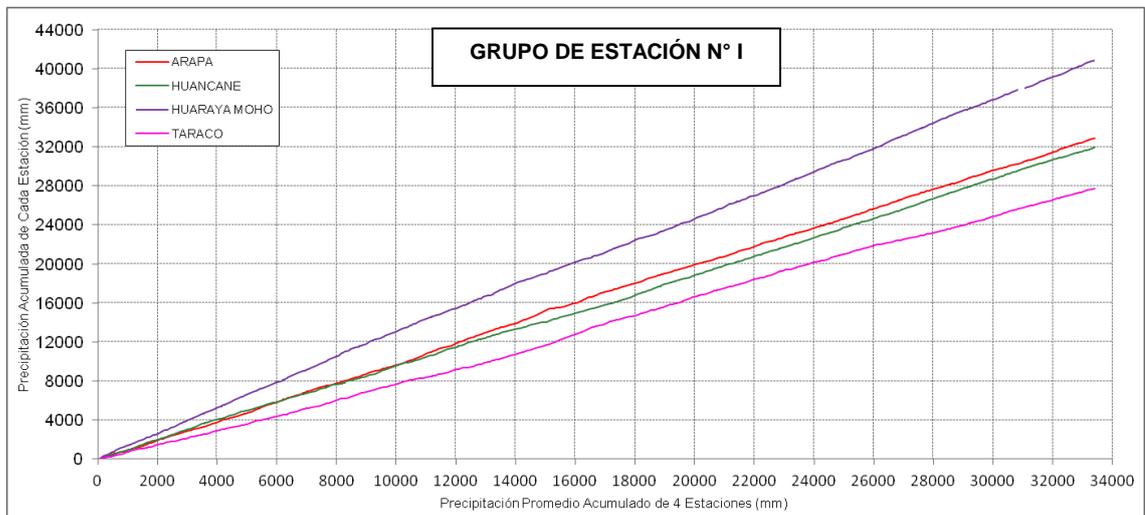
Gráfico N° 6: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca llave

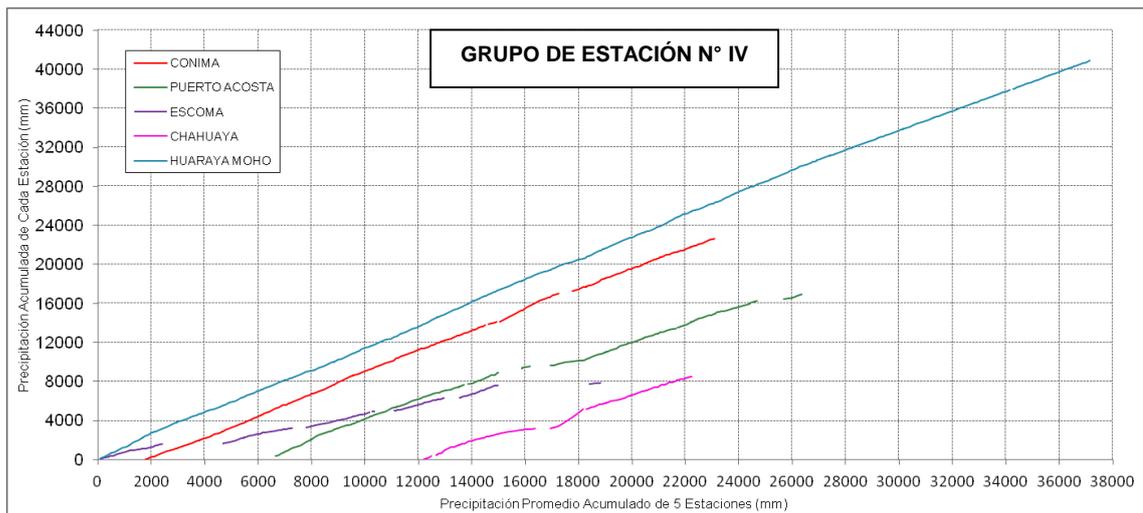
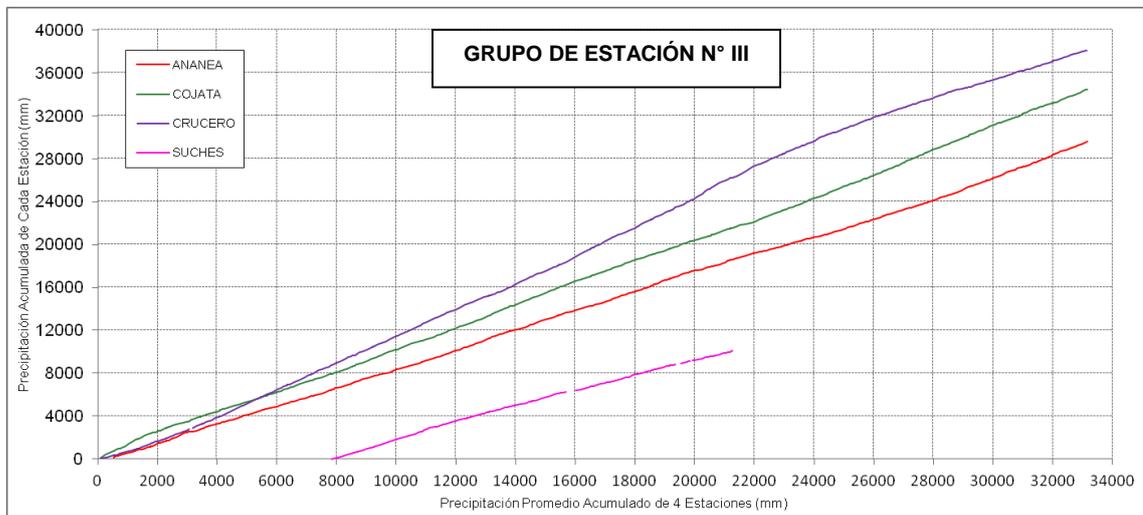
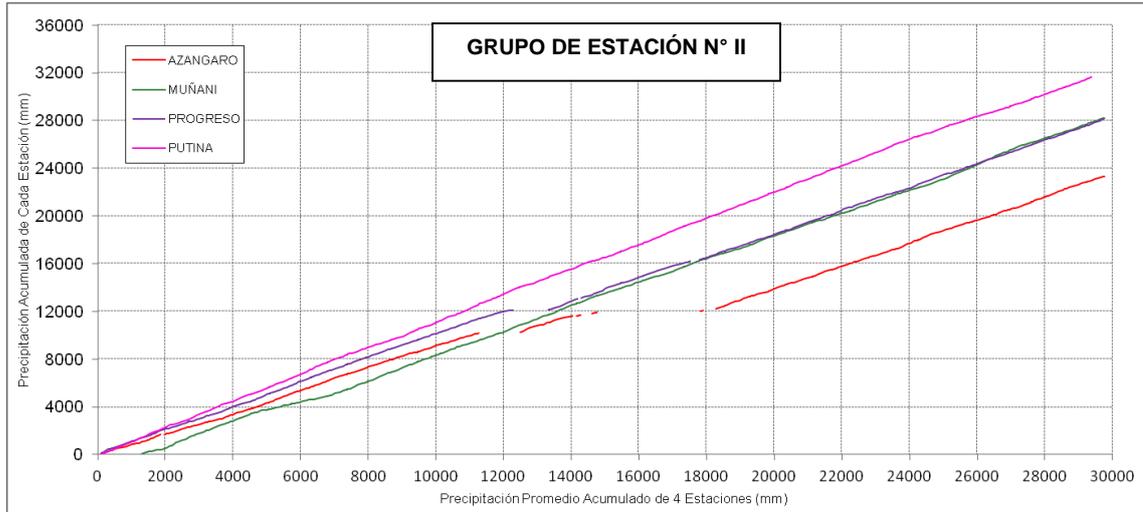




Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 7: Diagrama de doble masa de las precipitaciones mensuales - cuenca Huancané.





Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 30: Análisis de saltos en media y desviación estándar

Cuenca	Grupo	Estación Pluviométrica	Períodos de análisis		Salto en la Media		Salto en la Desv. Est.		Corrección	Periodo a Corregir	Ecuación de Corrección	
			Periodo 1	Periodo 2	T Calculado	T Tabular	F Calculado	F Tabular				
Ramis	Grupo 1	Ananea	Ene 1964 - Dic 1967	Ene 1968 - Dic 2016	1.064	1.964	1.357	1.494	No			
		Antauta	Ene 1964 - Dic 1969	Ene 1970 - Dic 2016	0.804	1.977	1.625	1.481	Si	1	X ¹ =0.784X ¹ +6.3675	
		Crucero	Ene 1964 - Dic 1980	Ene 1981 - Dic 2016	0.275	1.964	1.159	1.231	No			
		Macusani	Ene 1964 - Dic 1992	Ene 1993 - Dic 2016	2.719	1.965	2.053	1.245	Si	1	X ¹ =0.698X ¹ +4.2895	
	Grupo 2	Chuquibambilla	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.391	1.964	1.114	1.216	No			
		La Raya	Ene 1964 - Dic 1983	Ene 1984 - Dic 2016	1.254	1.970	1.008	1.354	No			
		Santa Rosa	Ene 1964 - Dic 2000	Ene 2001 - Dic 2016	1.922	1.966	1.395	1.292	Si	2	X ¹ =1.181X ¹ +3.9049	
		Sicuani	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	4.398	1.969	2.741	1.423	Si	1	X ¹ =1.656X ¹ +13.8313	
	Grupo 3	Yauri	Ene 1964 - Dic 1991	Ene 1992 - Dic 2016	2.050	1.969	1.339	1.387	Si	1	X ¹ =1.157X ¹ +12.1025	
		Ayaviri	Ene 1964 - Abr 1991	Ene 1992 - Dic 2016	0.536	1.965	1.018	1.227	No			
		Lampa	Ene 1964 - Dic 1983	Ene 1984 - Dic 2016	0.830	1.964	1.145	1.221	No			
		Llalli	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	0.705	1.966	1.118	1.257	No			
	Grupo 4	Pucara	Ene 1964 - Dic 1988	Ene 1989 - Dic 2016	0.877	1.964	1.202	1.217	No			
		Condorama	Ene 1964 - Abr 1989	Ene 1990 - Dic 2016	0.538	1.969	1.010	1.334	No			
		Pampahuta	Ene 1964 - Abr 1988	Ene 1989 - Dic 2016	0.488	1.964	1.013	1.217	No			
		Quillisani	Ene 1964 - Abr 1977	Ene 1978 - Dic 2016	0.104	1.969	1.074	1.325	No			
	Grupo 5	Azangaro	Ene 1964 - Dic 1986	Ene 1987 - Dic 2016	0.386	1.965	1.211	1.239	No			
		Chuquibambilla	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.391	1.964	1.114	1.216	No			
		Nuñoa	Ene 1964 - Dic 1978	Ene 1979 - Dic 2016	0.449	1.967	1.116	1.284	No			
		Orurillo	Ene 1964 - Dic 1981	Ene 1982 - Dic 2016	0.171	1.968	1.195	1.302	No			
	Grupo 6	Progreso	Ene 1964 - Dic 1989	Ene 1990 - Dic 2016	0.249	1.964	1.055	1.219	No			
		Arapa	Ene 1964 - Dic 1984	Ene 1985 - Dic 2016	0.100	1.964	1.010	1.220	No			
		Capachica	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.028	1.965	1.008	1.230	No			
		Huancane	Ene 1964 - Dic 1978	Ene 1979 - Dic 2016	0.305	1.964	1.120	1.216	No			
Grupo 7	Juliacca	Ene 1964 - Dic 1991	Ene 1992 - Dic 2016	0.547	1.965	1.197	1.237	No				
	Taraco	Ene 1964 - Dic 1986	Ene 1987 - Dic 2016	0.217	1.964	1.051	1.215	No				
	Cojata	Ene 1964 - Abr 1982	Ene 1983 - Dic 2016	0.040	1.964	1.178	1.218	No				
	Muñani	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.317	1.964	1.075	1.224	No				
Ucocolca	Grupo 1	Putina	Ene 1964 - Dic 1977	Ene 1978 - Dic 2016	0.597	1.964	1.114	1.219	No			
		Llalli	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.705	1.966	1.118	1.257	No			
		Ayaviri	Ene 1964 - Dic 1991	Ene 1992 - Dic 2016	0.536	1.965	1.018	1.227	No			
		Pucara	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.754	1.964	1.109	1.220	No			
	Grupo 2	Pampahuta	Ene 1964 - Dic 1988	Ene 1989 - Dic 2016	0.488	1.964	1.013	1.217	No			
		Cabanillas	Ene 1964 - Dic 1989	Ene 1990 - Dic 2016	0.650	1.964	1.006	1.219	No			
		Quillisani	Ene 1964 - Dic 1978	Ene 1979 - Dic 2016	0.049	1.969	1.044	1.325	No			
		Mañazo	Ene 1964 - Dic 1986	Ene 1987 - Dic 2016	0.353	1.965	1.141	1.249	No			
	Grupo 3	Ichuña	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.195	1.964	1.016	1.221	No			
		Santa Lucia	Ene 1964 - Dic 1978	Ene 1979 - Dic 2016	2.496	1.966	1.617	1.260	Si	2	X ¹ =1.272X ¹ +3.5979	
		Lampa	Ene 1964 - Dic 1983	Ene 1984 - Dic 2016	0.830	1.964	1.145	1.221	No			
		Puno	Ene 1964 - Dic 1984	Ene 1985 - Dic 2016	0.937	1.964	1.063	1.219	No			
	Grupo 4	Capachica	Ene 1964 - Dic 1978	Ene 1979 - Dic 2016	0.335	1.964	1.047	1.216	No			
		Juliacca	Ene 1964 - Dic 1988	Ene 1989 - Dic 2016	0.046	1.965	1.056	1.231	No			
		Taraco	Ene 1964 - Dic 1986	Ene 1987 - Dic 2016	0.217	1.964	1.051	1.215	No			
		Capazo	Ene 1964 - Dic 1988	Ene 1989 - Dic 2016	0.220	1.964	1.049	1.222	No			
	Ilave	Grupo 1	Vilacota	Ene 1964 - Dic 1974	Ene 1975 - Dic 2016	0.505	1.965	1.256	1.262	No		
			Coypa Coypa	Ene 1964 - Dic 1981	Ene 1982 - Dic 2016	0.644	1.966	1.172	1.264	No		
			Chichillapi	Ene 1964 - Dic 1979	Ene 1980 - Dic 2016	0.177	1.966	1.011	1.268	No		
			Mazocruz	Ene 1964 - Dic 1992	Ene 1993 - Dic 2016	0.148	1.964	1.199	1.225	No		
		Grupo 2	Pampa Umalzo	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	0.295	1.965	1.148	1.238	No		
			Pizacoma	Ene 1964 - Dic 1980	Ene 1981 - Dic 2016	0.191	1.965	1.061	1.240	No		
			Chilligua	Ene 1964 - Dic 1982	Ene 1983 - Dic 2016	1.421	1.965	1.222	1.232	No		
			Yorohoco	Ene 1964 - Dic 1998	Ene 1999 - Dic 2016	0.304	1.971	1.111	1.374	No		
Grupo 3		Desaguadero	Ene 1964 - Dic 1990	Ene 1991 - Dic 2016	0.539	1.964	1.183	1.220	No			
		Pacoaque	Ene 1964 - Dic 1994	Ene 1995 - Dic 2016	0.145	1.969	1.228	1.352	No			
		Julí	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	0.014	1.964	1.028	1.219	No			
		Ilave	Ene 1964 - Dic 1980	Ene 1981 - Dic 2016	1.075	1.965	1.142	1.248	No			
Grupo 4		Rincon de la Cruz	Ene 1964 - Dic 1996	Ene 1997 - Dic 2016	0.264	1.969	1.269	1.326	No			
		Laraqueri	Ene 1964 - Dic 1995	Ene 1996 - Dic 2016	0.414	1.964	1.008	1.238	No			
		Puno	Ene 1964 - Dic 1980	Ene 1981 - Dic 2016	1.228	1.964	1.107	1.231	No			
		Mañazo	Ene 1964 - Dic 1981	Ene 1982 - Dic 2016	0.334	1.965	1.126	1.251	No			
Huancané		Grupo 1	Arapa	Ene 1964 - Dic 1984	Ene 1985 - Dic 2016	0.100	1.964	1.010	1.220	No		
			Huancane	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	0.115	1.964	1.124	1.215	No		
			Moho	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	1.286	1.964	1.184	1.216	No		
			Taraco	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	0.217	1.964	1.051	1.215	No		
		Grupo 2	Azangaro	Ene 1964 - Dic 1986	Ene 1987 - Dic 2016	0.386	1.965	1.211	1.239	No		
			Muñani	Ene 1964 - Dic 1999	Ene 2000 - Dic 2016	0.700	1.964	1.069	1.249	No		
			Progreso	Ene 1964 - Dic 1985	Ene 1986 - Dic 2016	0.287	1.964	1.115	1.223	No		
			Putina	Ene 1964 - Dic 1983	Ene 1984 - Dic 2016	0.134	1.964	1.060	1.222	No		
	Grupo 3	Ananea	Ene 1964 - Dic 1995	Ene 1996 - Dic 2016	0.339	1.964	1.019	1.237	No			
		Cojata	Ene 1964 - Dic 1982	Ene 1983 - Dic 2016	0.040	1.964	1.178	1.218	No			
		Crucero	Ene 1964 - Dic 1980	Ene 1981 - Dic 2016	0.275	1.964	1.159	1.231	No			
		Suches	Ene 1964 - Dic 1981	Ene 1982 - Dic 2016	1.148	1.971	1.319	1.381	No			
	Grupo 4	Conima	Ene 1964 - Dic 1979	Ene 1980 - Dic 2016	0.355	1.968	1.127	1.303	No			
		Puerto Acosta	Ene 1964 - Dic 1979	Ene 1980 - Dic 2016	2.855	1.969	2.382	1.347	Si	1	X ¹ =0.648X ¹ +3.8938	
		Escoma	Ene 1964 - Dic 1973	Ene 1974 - Dic 2016	0.732	1.972	1.227	1.390	No			
		Chahuaya	Ene 1964 - Ene 1986	Feb 1986 - Dic 2016	0.525	1.977	1.433	1.483	No			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 31: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Ramis

Cuenca	Grupo	Estación Pluviométrica	Tendencia en la:	Media	Varianza	Coeficiente de Correlación	Coeficientes de Regresión		Estadística T		Comparación	Tendencia Significativa
							Am	Bm	T Calculada	T Tabla 95%		
Ramis	Grupo 1	Ananea	Media	52.08	2208.96	0.0104	51.222	0.003	0.248	1.964	Tc < Tt	No
		Antauta	Desviación Estándar	625.84	9319.28	0.0625	614.83	0.449	0.415	2.015	Tc < Tt	No
			Media	57.16	2434.96	0.0531	52.616	0.062	0.634	1.977	Tc < Tt	No
		Crucero	Desviación Estándar	634.99	9890.00	0.4652	554.83	12.247	1.577	2.262	Tc < Tt	No
			Media	66.85	4710.07	-0.0952	77.767	-0.039	-2.277	2.300	Tc < Tt	No
		Macusani	Desviación Estándar	808.78	66468.12	-0.2844	943.91	-5.449	-1.946	2.017	Tc < Tt	No
	Media		52.88	2791.98	-0.0353	55.891	-0.010	-0.751	1.965	Tc < Tt	No	
	Grupo 2	Chuquibambilla	Desviación Estándar	632.64	17798.57	-0.2110	679.28	-1.872	-1.240	2.035	Tc < Tt	No
			Media	60.24	3832.94	0.0039	59.826	0.001	0.092	1.964	Tc < Tt	No
		La Raya	Desviación Estándar	721.9	17122.6	0.0490	710.690	0.468	0.329	2.014	Tc < Tt	No
			Media	77.2	5543.31	0.0158	73.130	0.017	0.243	1.970	Tc < Tt	No
		Santa Rosa	Desviación Estándar	926.4	34823.9	0.1547	826.350	4.881	0.664	2.101	Tc < Tt	No
			Media	80.54	6388.26	-0.0530	88.510	-0.025	-1.089	1.966	Tc < Tt	No
	Grupo 3	Sicuani	Desviación Estándar	964.3	38725.6	-0.2912	1071.000	-4.017	-1.695	2.040	Tc < Tt	No
			Media	60.55	3124.91	-0.0117	62.338	-0.005	-0.189	1.969	Tc < Tt	No
		Yauri	Desviación Estándar	729.9	25173	0.0801	685.810	1.393	0.331	2.110	Tc < Tt	No
			Media	72.16	5821.41	-0.0485	85.651	-0.036	-0.777	1.969	Tc < Tt	No
	Grupo 4	Ayaviri	Desviación Estándar	878.2	22646.6	-0.3153	1051.300	-5.488	-1.287	2.131	Tc < Tt	No
			Media	55.11	3549.07	0.0303	51.871	0.011	0.689	1.965	Tc < Tt	No
		Lampa	Desviación Estándar	646.9	19628.4	0.2175	592.830	2.142	1.374	2.024	Tc < Tt	No
			Media	59.76	4650.59	0.0142	58.341	0.004	0.339	1.964	Tc < Tt	No
		Llalli	Desviación Estándar	710.8	47552.2	0.0422	694.830	0.677	0.280	2.015	Tc < Tt	No
			Media	67.27	5119.75	0.0452	62.329	0.017	0.927	1.966	Tc < Tt	No
	Grupo 5	Pucara	Desviación Estándar	788.9	13909.7	0.4016	717.250	2.908	2.402	2.430	Tc < Tt	No
			Media	62.1	4156.49	-0.0122	63.469	-0.005	-0.291	1.964	Tc < Tt	No
		Condoroma	Desviación Estándar	746.4	28176.8	-0.0172	751.410	-0.210	-0.115	2.014	Tc < Tt	No
			Media	54.08	4246.51	0.0496	40.107	0.045	0.803	1.969	Tc < Tt	No
	Grupo 6	Pampahuta	Desviación Estándar	623.3	30939.9	-0.0771	675.390	-2.099	-0.279	2.160	Tc < Tt	No
			Media	65.71	5337.59	0.0314	61.741	0.014	0.748	1.964	Tc < Tt	No
		Huyro	Desviación Estándar	781.6	27937.3	0.1632	734.380	1.991	1.097	2.015	Tc < Tt	No
			Media	71.89	6391.35	0.0009	71.742	0.001	0.015	1.969	Tc < Tt	No
	Grupo 7	Azangaro	Desviación Estándar	862.6	44463	0.0722	831.190	2.245	0.332	2.080	Tc < Tt	No
			Media	49.13	2474.69	0.0326	45.732	0.011	0.710	1.965	Tc < Tt	No
		Nuñoa	Desviación Estándar	578.1	15740.5	0.2160	535.460	1.723	1.191	2.045	Tc < Tt	No
			Media	57.75	3810.6	-0.0151	59.362	-0.009	-0.280	1.967	Tc < Tt	No
		Orurillo	Desviación Estándar	693	23747	-0.0207	698.610	-0.375	-0.108	2.052	Tc < Tt	No
			Media	59.31	3740.54	-0.0350	63.763	-0.023	-0.620	1.968	Tc < Tt	No
	Grupo 8	Progreso	Desviación Estándar	710.1	34118.2	-0.0830	743.200	-2.005	-0.408	2.064	Tc < Tt	No
			Media	51.04	2630.29	-0.0011	50.987	0.000	-0.025	1.964	Tc < Tt	No
		Chuquibambilla	Desviación Estándar	607	12462.2	0.0219	602.910	0.171	0.140	2.020	Tc < Tt	No
			Media	60.24	3832.94	0.0039	59.826	0.001	0.092	1.964	Tc < Tt	No
	Grupo 9	Arapa	Desviación Estándar	721.9	17122.6	0.0490	710.690	0.468	0.329	2.014	Tc < Tt	No
Media			58	3469.63	-0.0104	59.064	-0.004	-0.248	1.964	Tc < Tt	No	
Capachica		Desviación Estándar	692.2	33239.1	-0.0538	709.360	-0.715	-0.361	2.014	Tc < Tt	No	
		Media	65.67	5480.87	-0.0092	65.777	-0.002	-0.206	1.965	Tc < Tt	No	
Huancane		Desviación Estándar	781.1	36267	0.0815	753.190	1.088	0.497	2.026	Tc < Tt	No	
		Media	55.98	3364.5	-0.0079	56.768	-0.003	-0.188	1.964	Tc < Tt	No	
Grupo 10	Juliaca	Desviación Estándar	672.4	21579.8	-0.0045	673.510	-0.048	-0.030	2.014	Tc < Tt	No	
		Media	51.17	3008.47	0.0354	47.793	0.012	0.798	1.965	Tc < Tt	No	
	Taraco	Desviación Estándar	613.2	19961.1	0.2216	565.690	2.054	1.325	2.032	Tc < Tt	No	
		Media	48.64	2938.49	0.0128	47.443	0.004	0.305	1.964	Tc < Tt	No	
Grupo 11	Quillabamba	Desviación Estándar	584.6	32603	0.0812	558.930	1.069	0.547	2.014	Tc < Tt	No	
		Media	60.32	3317.82	-0.0241	62.724	-0.008	-0.575	1.964	Tc < Tt	No	
	Machupicchu	Desviación Estándar	725	24418.2	-0.0679	743.620	-0.774	-0.457	2.014	Tc < Tt	No	
		Media	51.68	3056.34	0.0270	48.598	0.010	0.631	1.964	Tc < Tt	No	
	Huyro	Desviación Estándar	622.3	24024.5	0.1298	583.550	1.532	0.848	2.018	Tc < Tt	No	
		Media	56.09	3029.65	-0.0316	59.100	-0.011	-0.749	1.964	Tc < Tt	No	
Media	673	13781.1	-0.1432	702.450	-1.226	-0.970	2.014	Tc < Tt	No			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 32: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Coata

Cuenca	Grupo	Estación Pluviométrica	Tendencia en la:	Media	Variancia	Coeficiente de Correlación	Coeficientes de Regresión		Estadística T		Comparación	Tendencia Significativa
							Am	Bm	T Calculada	T Tabla 95%		
Coata	Grupo 1	Llalli	Media	67.27	5119.75	0.0452	62.329	0.017	0.927	1.966	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	788.9	13909.7	0.4016	717.250	2.908	2.000	2.042	Tc < Tt	No
		Ayaviri	Media	55.11	3549.07	0.0303	51.871	0.011	0.689	1.965	Tc < Tt	No
	Pucara	Desviación Estándar	646.9	19628.4	0.2175	592.830	2.142	1.374	2.024	Tc < Tt	No	
		Media	62.1	4156.49	-0.0122	63.469	-0.005	-0.291	1.964	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	746.4	28176.8	-0.0172	751.410	-0.210	-0.115	2.014	Tc < Tt	No	
	Grupo 2	Pampahuta	Media	65.71	5337.59	0.0314	61.834	0.013	0.748	1.964	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	781.6	27937.3	0.1632	734.380	1.991	1.097	2.015	Tc < Tt	No
		Cabanillas	Media	55.02	3876.53	0.0398	51.118	0.013	0.950	1.964	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	657.5	21793.3	0.2241	599.530	2.465	1.526	2.015	Tc < Tt	No
		Quillisaní	Media	71.89	6391.35	0.0009	71.742	0.001	0.015	1.969	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	862.6	44463	0.0722	831.190	2.245	0.332	2.080	Tc < Tt	No
		Mañazo	Media	53.01	4198.93	0.0424	48.904	0.014	0.886	1.965	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	641.9	29287.1	0.2521	576.750	2.782	1.474	2.037	Tc < Tt	No
		Ichuña	Media	44.89	3489.11	-0.0124	46.267	-0.005	-0.289	1.964	Tc < Tt	No
	Desviación Estándar		534.5	17675.6	-0.0768	553.890	-0.777	-0.505	2.017	Tc < Tt	No	
	Santa Lucía	Media	67.92	6269.2	0.0336	63.656	0.016	0.786	1.966	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	822.2	25582.3	0.3028	746.280	3.386	1.769	2.040	Tc < Tt	No	
	Grupo 3	Lampa	Media	59.76	4650.59	0.0142	58.077	0.006	0.339	1.964	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	710.8	47552.2	0.0422	694.830	0.677	0.280	2.015	Tc < Tt	No
		Puno	Media	59.85	4507.85	0.0429	54.841	0.018	1.023	1.964	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	721.9	26152.9	0.1968	663.810	2.371	1.332	2.015	Tc < Tt	No
		Capachica	Media	65.67	5480.87	-0.0092	54.341	0.015	-0.206	1.965	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	781.1	36267	0.0815	679.740	3.267	0.497	2.026	Tc < Tt	No
		Juliaca	Media	51.17	3008.47	0.0354	47.189	0.011	0.798	1.965	Tc < Tt	No
	Desviación Estándar		613.2	19961.1	0.2216	565.690	2.054	1.325	2.032	Tc < Tt	No	
	Taraco	Media	48.64	2938.49	0.0128	47.443	0.004	0.305	1.964	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	584.6	32603	0.0812	558.930	1.069	0.547	2.014	Tc < Tt	No	
Grupo 4	Condoroma	Media	54.08	4246.51	0.0496	40.614	0.042	0.803	1.969	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	623.3	30939.9	-0.0771	675.390	-2.099	-0.279	2.160	Tc < Tt	No	
	Imata	Media	44.1	3450.68	-0.0487	49.801	-0.021	-1.066	1.965	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	529.2	22241.1	-0.1775	582.420	-2.265	-1.112	2.024	Tc < Tt	No	
Crucero Alto	Media	50.37	4330.75	-0.0319	54.305	-0.018	-0.617	1.966	Tc < Tt	No		
	Desviación Estándar	588.7	31896.1	0.0694	563.460	1.281	0.341	2.064	Tc < Tt	No		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 33: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Ilave

Cuenca	Grupo	Estación Pluviométrica	Tendencia en la:	Media	Variancia	Coeficiente de Correlación	Coeficientes de Regresión		Estadística T		Comparación	Tendencia Significativa
							Am	Bm	T Calculada	T Tabla 95%		
Ilave	Grupo 1	Capazo	Media	45.18	4613.11	-0.0149	46.928	-0.006	-0.355	1.964	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	541.2	29086	-0.0372	552.310	-0.462	-0.250	2.014	Tc < Tt	No
		Vilacota	Media	38.02	4565.97	-0.0380	41.909	-0.015	-0.825	1.965	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	470.2	52457.7	-0.0956	506.390	-1.611	-0.560	2.032	Tc < Tt	No
		Coypa Coypa	Media	36.54	3241.61	0.0707	29.504	0.035	1.408	1.966	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	433.2	28825.3	0.2329	355.510	4.322	1.290	2.045	Tc < Tt	No
		Chichillapi	Media	35.8	2491.51	-0.0053	36.260	-0.002	-0.105	1.966	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	426.7	19426.1	-0.0038	427.600	-0.056	-0.021	2.042	Tc < Tt	No
	Mazocruz	Media	43.19	3552.23	-0.0113	44.356	-0.004	-0.269	1.964	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	516.7	27647.8	-0.0297	525.320	-0.360	-0.199	2.014	Tc < Tt	No	
	Pampa Umalzo	Media	32.79	2686.46	0.0031	32.512	0.001	0.074	1.965	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	405.9	37604.3	-0.0172	411.710	-0.259	-0.102	2.030	Tc < Tt	No	
	Grupo 2	Pizacoma	Media	49.39	4984.01	-0.0121	50.896	-0.005	-0.268	1.965	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	591.7	42027	-0.0276	601.710	-0.398	-0.170	2.024	Tc < Tt	No
		Chilligua	Media	53.85	4464.51	0.0577	47.188	0.026	1.306	1.965	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	639.1	34097.7	0.2552	559.240	3.799	1.627	2.024	Tc < Tt	No
		Yorohoco	Media	56.16	4861.52	-0.0859	83.332	-0.069	-1.296	1.971	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	660	38821.8	-0.3934	996.250	-10.082	-1.657	2.131	Tc < Tt	No
		Desaguadero	Media	60.36	5553.35	0.0123	58.767	0.006	0.293	1.964	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	722	37358.8	0.0786	695.410	1.108	0.529	2.014	Tc < Tt	No
		Pacoaque	Media	55.93	4036.66	-0.0275	64.905	-0.023	-0.438	1.969	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	658.3	11294.2	-0.2399	786.360	-3.824	-1.049	2.101	Tc < Tt	No
	Juli	Media	72.37	6579.11	0.0288	68.405	0.013	0.459	1.964	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	868.7	26620.5	0.1089	835.260	1.372	0.702	2.020	Tc < Tt	No	
	Grupo 3	Ilave	Media	58.73	4653.51	0.0367	54.417	0.015	0.827	1.965	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	715	37869.2	0.1233	671.500	1.702	0.766	2.024	Tc < Tt	No
		Rincon de la Cruz	Media	64.39	5221.92	-0.0601	85.566	-0.054	-0.993	1.969	Tc < Tt	No
			Desviación Estándar	772.8	56716.6	-0.1591	953.160	-5.459	-0.720	2.086	Tc < Tt	No
Laraquero		Media	62.81	5347.19	-0.0082	63.846	-0.004	-0.194	1.964	Tc < Tt	No	
		Desviación Estándar	751.4	32755.1	-0.0246	759.110	-0.337	-0.161	2.017	Tc < Tt	No	
Puno		Media	59.85	4507.85	0.0429	54.457	0.019	1.023	1.964	Tc < Tt	No	
	Desviación Estándar	721.9	26152.9	0.1968	663.810	2.371	1.332	2.015	Tc < Tt	No		
Mañazo	Media	52.94	4230.25	0.0423	48.691	0.015	0.881	1.965	Tc < Tt	No		
	Desviación Estándar	646.1	29566.7	0.2610	579.670	2.853	1.505	2.040	Tc < Tt	No		

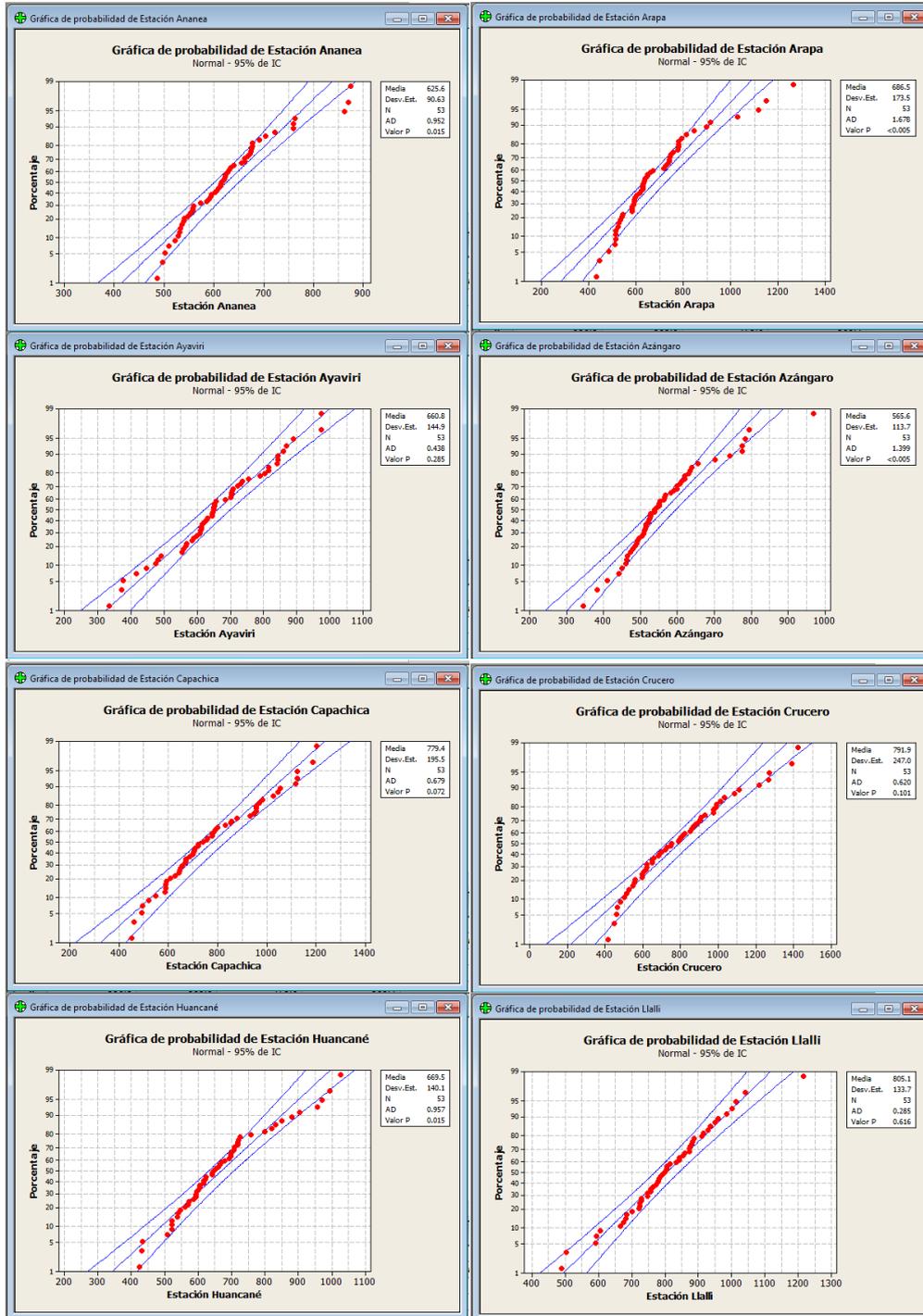
Fuente: Elaboración propia

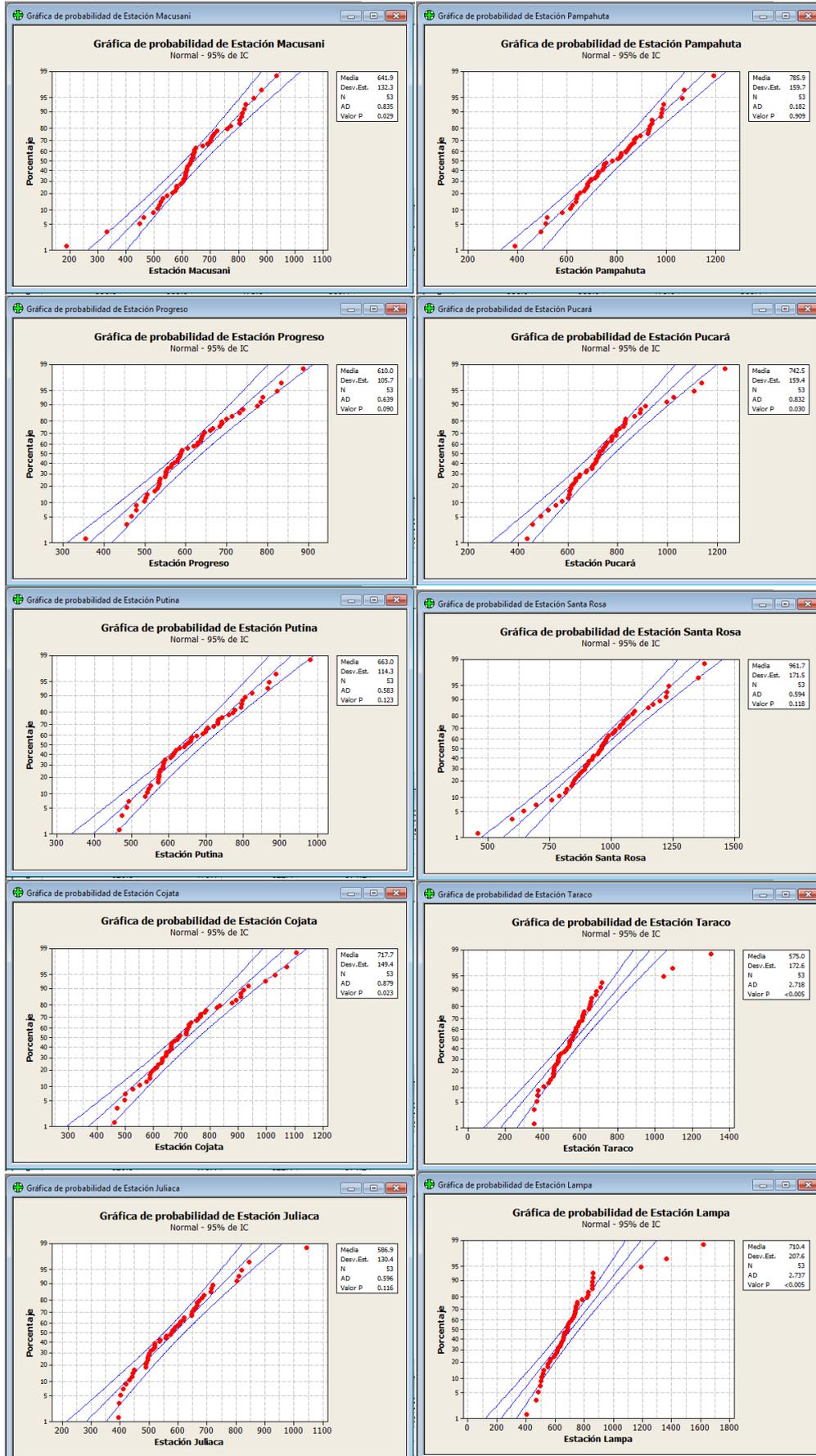
Cuadro N° 34: Análisis de tendencia en la media y desviación estándar-Cuenca Huancané

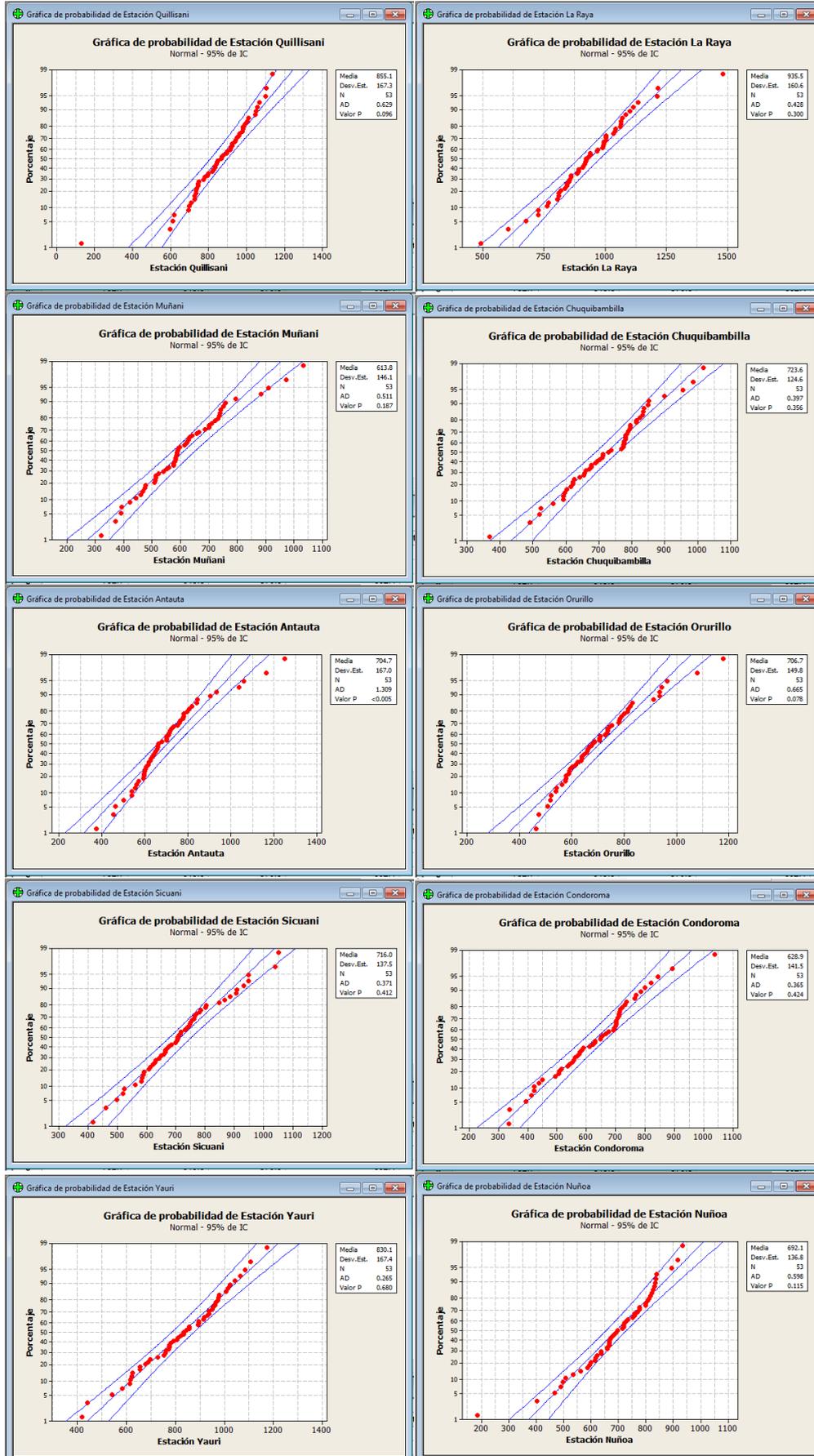
Cuenca	Grupo	Estación Pluviométrica	Tendencia en la:	Media	Varianza	Coeficiente de Correlación	Coeficientes de Regresión		Estadística T		Comparación	Tendencia Significativa	
							Am	Bm	T Calculada	T Tabla 95%			
Huancané	Grupo 1	Arapa	Media	58	3469.63	-0.0104	59.064	-0.004	-0.248	1.964	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	692.2	33239.1	-0.0538	709.360	-0.715	-0.361	2.014	Tc < Tt	No	
		Huancane	Media	55.98	3364.5	-0.0079	56.768	-0.003	-0.188	1.964	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	672.4	21579.8	-0.0045	673.510	-0.048	-0.030	2.014	Tc < Tt	No	
		Huaraya Moho	Media	71.71	5588.94	-0.0417	77.103	-0.019	-0.994	1.964	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	866.4	33122.1	-0.1290	907.290	-1.736	-0.863	2.015	Tc < Tt	No	
		Taraco	Media	48.64	2938.49	0.0128	47.443	0.004	0.305	1.964	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	584.6	32603	0.0812	558.930	1.069	0.547	2.014	Tc < Tt	No	
		Grupo 2	Azangaro	Media	49.13	2474.69	0.0326	45.732	0.011	0.710	1.965	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	578.1	15740.5	0.2160	535.460	1.723	1.191	2.045	Tc < Tt	No
			Muñani	Media	51.68	3056.34	0.0270	48.598	0.010	0.631	1.964	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	622.3	24024.5	0.1298	583.550	1.532	0.848	2.018	Tc < Tt	No
			Progreso	Media	51.04	2630.29	-0.0011	51.091	-0.001	-0.025	1.964	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	607	12462.2	0.0219	602.910	0.171	0.140	2.020	Tc < Tt	No
		Grupo 3	Putina	Media	56.09	3029.65	-0.0316	59.100	-0.011	-0.749	1.964	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	673	13781.1	-0.1432	702.450	-1.226	-0.970	2.014	Tc < Tt	No
			Quillabamba	Media	52.08	2208.98	0.0104	51.222	0.003	0.248	1.964	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	625.8	9319.5	0.0625	614.820	0.449	0.415	2.015	Tc < Tt	No
			Machupicchu	Media	60.32	3317.82	-0.0241	62.724	-0.008	-0.575	1.964	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	725	24418.2	-0.0679	743.620	-0.774	-0.457	2.014	Tc < Tt	No
		Huyro		Media	66.85	4710.07	-0.0952	78.220	-0.040	-2.277	2.300	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	808.8	66468.1	-0.2844	943.910	-5.449	-1.946	2.017	Tc < Tt	No
			Quebrada	Media	46.71	2128.12	-0.0917	63.115	-0.067	-1.350	1.971	Tc < Tt	No
				Desviación Estándar	570.5	19369.2	-0.4048	801.990	-11.573	-1.533	2.179	Tc < Tt	No
	Grupo 4	Conima	Media	72.67	6132.55	-0.0249	76.786	-0.021	-0.438	1.968	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	863.4	56459.3	-0.1432	931.450	-4.254	-0.663	2.080	Tc < Tt	No	
		Puerto Acosta	Media	54.89	2825.09	-0.0323	59.944	-0.020	-0.531	1.969	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	656.3	16776.8	-0.0790	683.870	-1.305	-0.307	2.131	Tc < Tt	No	
		Escoma	Media	39.29	1639.42	0.0626	34.859	0.034	0.887	1.972	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	482.3	19102.8	0.4223	369.410	7.885	1.473	2.228	Tc < Tt	No	
		Chahuaya	Media	59.92	6846.52	-0.0820	100.150	-0.150	-0.973	1.977	Tc < Tt	No	
			Desviación Estándar	558.8	24213.3	-0.1183	674.140	-4.991	-0.315	2.365	Tc < Tt	No	

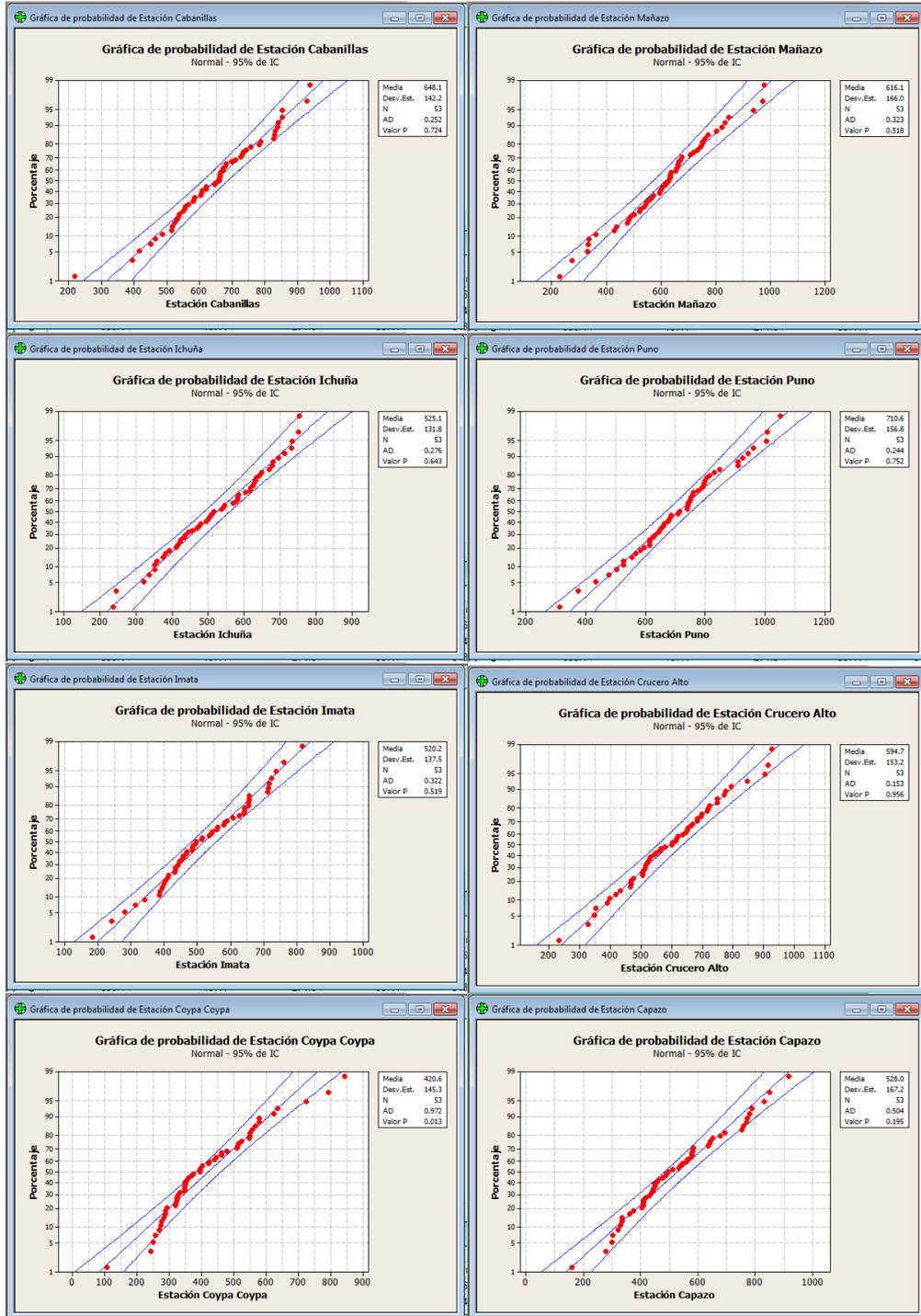
Fuente: Elaboración propia

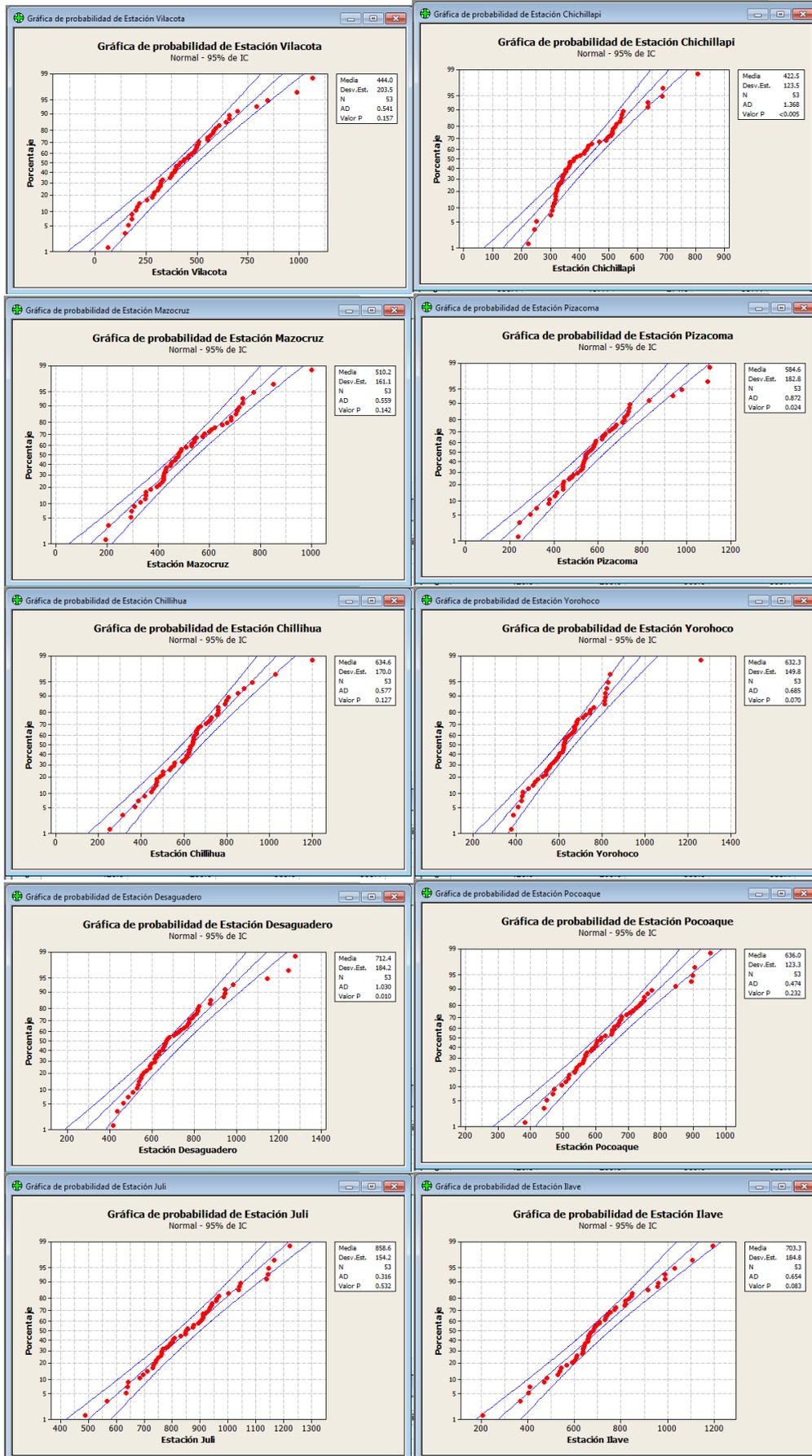
Gráfico N° 8: Prueba de Normalidad de las precipitaciones mensuales históricas

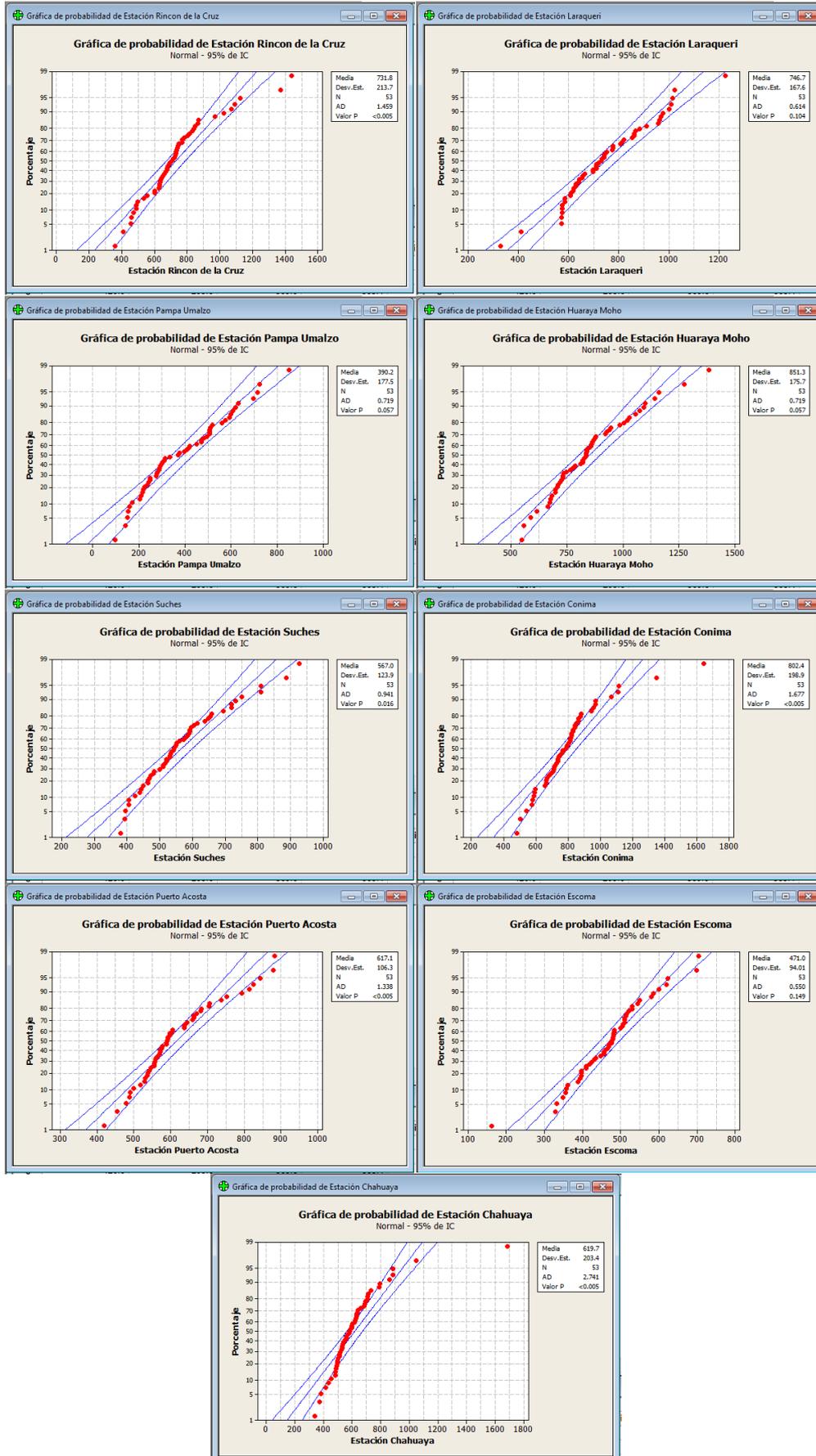












Fuente: Software MINITAB 16

Cuadro N° 35: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Ramis

PRECIPITACION AREAL TOTAL MENSUAL (mm.)													
CUENCA RAMIS													
PUENTE RAMIS													
AÑO	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1964	92.0	88.8	146.2	43.3	19.1	1.8	1.1	2.1	31.0	37.1	66.7	91.0	620.2
1965	154.1	110.5	142.7	49.2	3.5	1.1	1.6	3.2	20.8	32.2	58.2	117.9	695.0
1966	84.0	125.5	86.2	13.9	32.0	0.7	0.7	1.7	25.1	67.0	74.2	92.6	603.6
1967	59.4	110.0	113.1	20.1	17.7	3.5	28.0	24.7	43.4	68.3	33.5	151.0	672.8
1968	115.9	172.3	102.1	27.5	8.0	3.5	17.0	17.8	24.3	44.6	104.5	70.8	708.3
1969	156.1	110.9	73.6	50.4	8.9	7.1	12.0	6.8	26.6	43.5	52.6	81.3	629.8
1970	155.8	116.3	123.1	72.0	18.5	1.7	2.3	0.5	40.0	47.4	33.1	178.6	789.1
1971	143.9	214.7	50.2	47.9	6.7	1.9	0.2	8.0	6.0	46.8	71.8	113.3	711.4
1972	196.1	105.9	94.1	40.9	6.3	1.0	2.6	17.8	25.2	36.7	61.4	120.8	708.8
1973	171.3	134.1	130.2	103.7	16.0	1.8	9.2	13.6	49.5	53.0	62.6	81.1	826.0
1974	150.2	174.4	110.1	47.2	7.2	8.0	3.5	53.2	25.3	41.9	37.3	97.6	756.1
1975	139.9	141.2	110.2	38.1	17.7	5.8	1.1	4.2	29.9	52.3	50.4	141.7	732.4
1976	179.4	113.7	122.2	26.6	23.1	7.4	5.1	15.5	59.4	12.8	34.4	100.5	700.4
1977	95.0	149.9	141.4	35.2	11.3	3.4	3.3	1.1	37.0	47.7	118.2	103.9	747.5
1978	199.8	160.6	122.9	57.1	8.4	5.5	1.3	4.0	42.2	30.0	118.5	174.2	924.5
1979	173.5	96.2	129.3	67.0	16.3	2.1	1.6	10.8	16.8	50.4	64.9	134.9	763.8
1980	131.6	95.0	132.8	22.7	13.8	2.3	2.9	7.3	34.6	92.6	50.4	78.6	664.7
1981	158.4	141.6	164.8	59.4	6.6	5.1	0.6	17.8	44.8	63.6	67.7	119.1	849.5
1982	163.2	78.7	117.8	55.6	3.8	3.0	0.4	14.7	42.5	70.3	124.6	69.6	744.2
1983	69.6	97.6	59.2	49.5	8.5	4.5	0.6	2.0	20.2	24.9	27.3	73.6	437.6
1984	262.9	186.2	145.3	36.5	10.6	4.3	2.9	23.8	8.9	86.2	140.4	153.9	1061.9
1985	163.1	164.4	122.6	107.0	18.6	18.8	3.5	7.9	53.2	35.4	132.7	157.9	985.0
1986	153.3	209.6	186.6	98.0	11.7	1.5	3.3	19.2	36.8	21.8	57.5	136.4	935.6
1987	172.7	88.6	92.5	34.6	8.1	7.0	25.6	3.9	7.9	45.8	108.6	103.2	698.5
1988	150.2	114.2	173.2	78.4	22.2	0.5	0.3	1.1	10.7	36.5	19.5	112.4	719.2
1989	140.8	111.8	125.6	51.1	15.8	9.3	1.4	27.5	26.2	50.2	53.1	90.9	703.6
1990	147.9	103.3	62.0	37.3	8.1	36.2	1.9	7.9	16.2	87.2	99.6	92.5	700.1
1991	135.7	89.0	118.8	40.0	20.3	25.9	2.5	3.3	24.1	50.0	46.9	99.4	656.0
1992	152.1	118.2	71.4	24.2	4.7	12.7	4.9	49.5	16.4	46.1	83.8	98.7	682.7
1993	171.4	64.6	118.5	60.6	11.3	8.5	6.4	29.8	23.4	68.3	111.6	129.4	803.7
1994	166.6	187.8	132.5	63.8	9.6	3.7	0.1	3.7	22.4	39.7	66.5	123.0	819.5
1995	118.5	116.9	132.3	27.5	6.4	0.5	0.5	4.8	14.2	28.7	65.6	98.9	614.9
1996	150.7	116.6	97.3	43.7	17.8	0.2	4.8	14.9	14.9	27.4	71.5	103.7	663.5
1997	182.8	174.2	174.4	45.8	7.3	0.0	0.3	17.5	32.8	41.3	104.9	97.3	878.7
1998	110.7	108.6	108.1	39.0	1.6	5.6	0.1	2.0	8.9	82.1	84.1	47.4	598.3
1999	116.9	127.3	156.4	75.7	13.9	1.7	1.1	1.1	32.7	58.1	41.9	81.5	708.2
2000	152.4	143.2	103.4	17.0	8.5	7.4	2.8	14.4	13.8	96.6	22.7	103.1	685.3
2001	204.8	117.2	132.8	36.4	23.9	2.0	7.7	10.3	14.5	51.4	42.6	95.2	738.8
2002	120.4	151.1	110.4	62.6	21.3	5.7	15.8	9.5	29.5	101.7	94.9	134.3	857.3
2003	171.8	115.4	156.1	46.8	10.1	11.9	1.6	11.4	25.2	38.5	35.6	106.4	730.9
2004	209.8	133.1	84.0	47.0	9.3	7.5	7.4	16.5	37.5	24.3	62.0	109.4	747.6
2005	83.7	191.7	86.8	32.3	4.6	1.5	1.1	8.3	11.7	70.3	73.0	110.9	676.1
2006	173.5	97.7	96.1	54.8	5.5	9.8	1.8	9.3	21.7	55.6	83.8	123.9	733.5
2007	121.3	81.5	163.8	64.6	13.8	1.9	3.8	2.0	35.2	37.2	64.5	85.3	674.7
2008	153.2	87.3	68.3	16.8	10.2	3.4	0.7	4.2	13.5	51.0	46.6	164.8	619.9
2009	104.3	102.5	84.1	41.5	9.4	3.2	2.0	0.9	20.5	26.6	100.1	112.6	607.6
2010	164.6	144.3	103.5	44.2	12.7	0.6	1.5	1.9	4.7	30.9	35.3	108.5	652.6
2011	99.2	152.4	132.5	44.2	9.3	3.4	6.4	13.5	26.5	40.6	63.5	92.6	684.1
2012	125.6	134.7	123.3	48.0	7.9	0.8	1.8	3.1	22.0	47.0	65.8	117.5	697.6
2013	158.8	120.2	129.1	45.2	13.1	3.7	4.1	5.5	16.2	71.4	83.4	115.5	766.0
2014	167.1	121.9	122.4	51.3	10.1	3.6	2.2	8.3	18.7	43.9	70.6	116.6	736.6
2015	168.4	123.4	99.2	44.1	11.0	1.9	1.1	3.9	22.4	37.8	57.7	106.8	677.6
2016	140.9	120.8	137.0	52.9	7.5	2.1	1.9	8.0	26.1	43.3	69.7	98.1	708.4
PROM	147.3	127.5	117.4	47.9	11.9	5.3	4.1	10.9	25.5	49.7	69.3	109.8	726.6
DS	37.38	33.93	30.51	19.98	6.13	6.39	5.79	10.94	12.37	19.96	29.14	26.76	104.27
CA	0.04	0.74	-0.03	1.00	0.95	3.10	2.80	2.12	0.61	0.83	0.56	0.57	0.80
MAX	262.9	214.7	186.6	107.0	32.0	36.2	28.0	53.2	59.4	101.7	140.4	178.6	1061.9
MIN	59.4	64.6	50.2	13.9	1.6	0.0	0.1	0.5	4.7	12.8	19.5	47.4	437.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 36: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Unocolla

PRECIPITACION AREAL TOTAL MENSUAL (mm.)													
CUENCA COATA													
PUENTE UNOCOLLA													
AÑO	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1964	63.5	107.0	146.1	45.7	20.3	0.1	0.3	6.8	7.0	12.4	46.8	56.4	512.3
1965	126.1	119.6	118.2	40.0	3.4	0.5	2.2	0.4	12.5	19.1	58.6	114.3	614.9
1966	75.5	138.8	83.5	16.0	26.5	0.0	0.7	0.2	10.0	34.8	69.4	81.2	536.6
1967	71.4	105.2	168.9	21.8	14.7	0.8	9.2	7.9	48.8	43.8	12.0	127.0	631.5
1968	164.9	183.3	107.0	29.2	9.4	3.4	5.5	3.2	18.6	44.6	140.2	80.0	789.4
1969	166.1	92.4	56.5	39.3	0.0	0.9	5.6	0.5	12.3	35.8	69.8	94.1	573.2
1970	158.6	123.2	159.7	36.5	10.9	1.2	0.3	2.7	12.6	25.2	13.4	161.1	705.4
1971	114.8	211.0	77.3	20.8	3.4	2.6	0.0	4.9	1.3	13.9	43.2	151.1	644.4
1972	242.3	89.6	152.0	33.6	2.4	0.2	0.2	1.9	32.8	35.8	54.4	88.4	733.8
1973	249.3	183.2	137.8	85.6	17.1	1.0	8.1	8.8	40.5	31.8	52.8	99.0	915.0
1974	239.9	216.1	93.9	45.5	0.9	9.1	1.7	59.0	16.2	18.9	24.1	84.1	809.5
1975	186.5	209.2	137.1	30.1	26.8	1.7	0.0	1.2	11.7	37.7	29.6	171.8	843.5
1976	191.9	115.3	133.9	20.3	17.4	4.6	4.6	16.8	62.6	2.7	8.9	83.5	662.4
1977	80.1	196.8	176.2	12.3	1.5	0.0	4.0	4.6	17.4	40.0	106.3	110.9	750.1
1978	265.8	117.2	103.5	54.5	0.5	1.2	0.5	1.8	12.8	26.4	107.9	165.3	857.2
1979	190.4	102.4	125.0	39.5	1.4	0.1	3.0	7.4	0.7	50.6	74.6	114.0	709.0
1980	94.9	70.9	181.4	9.3	3.8	0.1	3.2	13.0	41.7	83.0	57.7	45.4	604.4
1981	175.5	173.9	155.1	64.8	1.0	0.1	0.1	39.9	20.7	30.8	51.0	125.2	838.1
1982	188.5	95.0	138.4	60.1	2.1	0.8	0.3	8.0	51.3	65.0	124.6	19.8	753.9
1983	49.5	77.1	31.4	25.4	8.5	2.6	0.0	2.5	14.0	15.2	15.7	56.5	298.5
1984	230.2	241.2	149.8	37.0	11.9	2.8	1.6	13.0	3.6	96.9	147.2	171.4	1106.6
1985	99.7	261.5	133.0	124.9	29.7	18.6	0.1	4.3	20.9	25.5	129.0	156.9	1003.8
1986	134.8	247.1	189.9	94.3	6.2	0.0	2.2	11.6	25.2	8.0	29.5	154.7	903.4
1987	177.4	74.1	63.6	12.9	2.6	6.0	19.1	2.9	3.5	30.9	93.8	67.2	554.1
1988	216.2	80.8	188.6	92.9	10.4	0.0	0.8	2.8	9.6	30.3	14.2	97.4	744.1
1989	167.7	88.0	122.8	61.4	4.2	5.7	4.0	7.3	3.9	10.5	32.7	52.7	560.8
1990	145.5	51.2	51.2	24.9	11.8	44.3	0.1	16.1	5.4	72.1	107.4	102.9	632.9
1991	144.8	138.2	132.1	60.0	8.2	28.1	2.9	0.3	8.9	31.0	29.4	88.4	672.2
1992	104.2	103.9	25.5	13.1	0.1	2.7	1.0	41.7	0.6	31.2	41.0	86.0	450.9
1993	190.7	55.8	130.6	58.9	3.5	0.9	0.0	23.6	9.9	87.2	103.9	152.8	817.8
1994	207.2	155.2	145.0	98.0	16.0	0.8	0.1	0.2	7.1	10.3	68.1	125.4	833.3
1995	120.4	123.8	134.8	22.8	0.6	0.0	0.0	2.7	15.4	14.3	45.5	104.1	584.5
1996	220.0	137.8	84.6	43.0	12.6	0.0	9.7	15.9	12.1	8.5	59.3	168.2	771.8
1997	196.6	189.2	133.5	55.2	7.5	0.0	1.6	26.4	49.7	32.0	91.8	69.7	853.1
1998	142.1	156.2	119.9	23.2	0.0	3.0	0.0	1.8	0.3	33.0	64.6	39.2	583.4
1999	143.7	154.9	174.1	90.9	8.7	0.7	0.9	3.7	24.1	105.1	21.0	104.4	832.2
2000	172.5	195.1	157.4	37.4	7.7	2.5	1.6	11.4	9.5	81.1	11.8	120.1	808.2
2001	281.5	218.7	141.3	55.4	11.4	2.5	2.4	22.0	17.1	45.8	30.7	66.5	895.4
2002	128.0	187.9	148.9	99.4	16.8	3.8	22.7	11.1	11.2	86.3	93.2	135.4	944.8
2003	200.4	128.9	158.4	22.1	8.5	3.8	0.2	2.9	19.1	16.1	24.5	124.0	709.0
2004	214.7	141.9	97.2	46.4	0.7	0.9	11.0	19.8	19.0	10.0	19.1	66.5	647.2
2005	116.5	248.7	125.6	40.2	0.1	0.0	0.0	0.6	19.0	30.8	69.8	131.1	782.4
2006	219.4	122.9	150.7	41.5	1.1	0.8	0.1	4.3	29.9	40.6	84.9	99.1	795.3
2007	128.0	121.1	215.7	64.4	8.2	0.2	5.2	3.6	34.5	30.5	61.7	108.6	781.8
2008	203.9	82.7	79.5	4.8	1.5	1.6	0.8	1.8	3.2	39.4	42.7	171.8	633.8
2009	113.7	150.8	128.2	27.6	2.9	0.0	3.3	0.9	6.9	28.3	104.9	119.9	687.3
2010	176.2	171.4	89.7	36.4	10.7	0.1	0.1	0.1	0.7	21.9	37.2	132.2	676.7
2011	102.3	195.7	137.5	46.3	4.0	0.0	3.6	4.0	11.4	29.8	41.1	124.0	699.8
2012	156.6	134.5	140.7	29.4	5.4	3.8	1.3	5.0	22.0	34.9	78.4	105.4	717.5
2013	116.0	166.9	143.1	40.4	2.8	0.3	0.6	1.5	20.1	46.2	122.0	123.0	782.9
2014	158.9	108.0	121.2	37.4	7.1	0.5	0.0	4.8	10.7	37.3	67.5	104.8	658.3
2015	115.3	117.8	96.5	35.1	3.8	0.9	0.2	3.5	11.1	31.5	61.2	89.1	566.1
2016	134.1	101.6	132.2	40.4	4.3	0.3	0.7	1.8	13.3	32.9	36.6	122.8	620.8
PROM	159.9	143.0	126.9	44.3	7.6	3.1	2.8	8.8	17.1	36.6	60.9	107.8	718.8
DS	54.11	53.06	39.47	26.02	7.27	7.42	4.51	11.61	14.20	23.64	36.37	36.87	143.48
CA	0.10	0.44	-0.54	1.10	1.31	4.32	2.86	2.51	1.41	1.27	0.59	-0.09	-0.05
MAX	281.5	261.5	215.7	124.9	29.7	44.3	22.7	59.0	62.6	105.1	147.2	171.8	1106.6
MIN	49.5	51.2	25.5	4.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	2.7	8.9	19.8	298.5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 37: Precipitación areal total mensual (mm) – Río Verde

PRECIPITACION AREAL TOTAL MENSUAL (mm.)													
CUENCA VERDE													
RIO VERDE													
AÑO	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1964	52.7	123.5	161.4	46.7	30.2	0.0	0.1	10.9	5.0	7.0	45.1	54.8	537.3
1965	118.5	152.5	136.9	47.5	5.6	0.9	4.8	0.4	18.2	23.8	86.4	92.0	687.4
1966	94.6	175.5	74.2	9.9	40.6	0.0	0.2	0.0	5.2	43.1	100.2	100.1	643.6
1967	78.3	103.5	209.9	29.2	20.0	1.1	11.7	8.8	42.2	45.6	12.5	123.1	685.6
1968	177.6	210.8	105.8	31.6	10.4	3.4	6.2	5.1	19.8	41.2	158.1	95.3	865.3
1969	152.2	96.6	62.9	46.3	0.0	0.3	7.1	1.0	17.1	32.1	72.9	118.3	606.8
1970	178.8	138.2	168.4	47.8	15.1	2.9	0.3	6.0	16.2	29.2	7.7	212.9	823.4
1971	143.7	254.6	109.3	22.2	3.8	5.7	0.0	5.7	1.2	8.9	44.0	185.4	784.5
1972	265.8	78.1	149.7	40.6	1.0	0.3	0.1	3.4	27.8	49.8	61.6	89.3	767.6
1973	263.2	211.0	138.3	99.6	27.4	2.1	13.8	13.4	42.7	23.4	82.0	136.5	1053.2
1974	215.0	255.6	109.9	33.8	1.4	8.0	1.9	50.0	12.8	17.3	12.5	105.6	824.0
1975	224.6	231.5	155.1	42.1	27.3	2.7	0.0	1.3	3.3	30.9	45.7	177.2	941.8
1976	203.0	116.3	172.3	21.6	27.3	6.2	3.6	23.6	58.5	2.9	5.7	81.1	722.2
1977	104.8	199.2	153.2	6.9	2.3	0.0	3.9	0.0	19.0	26.1	112.5	76.7	704.8
1978	288.2	99.1	81.3	66.6	0.4	2.1	0.4	1.4	11.1	32.1	122.6	165.6	870.9
1979	207.2	127.1	112.3	40.7	0.8	0.0	4.6	6.8	0.8	59.2	110.7	116.7	786.9
1980	125.8	71.4	220.3	13.3	3.9	0.1	3.3	9.2	32.4	91.7	28.8	46.8	646.9
1981	189.4	199.5	172.3	81.7	0.9	0.0	0.0	52.1	13.3	32.6	61.6	154.7	958.1
1982	188.1	91.7	130.4	45.7	3.3	0.5	0.0	5.3	46.3	71.5	168.1	19.0	770.0
1983	75.4	38.9	35.3	33.0	14.7	3.2	0.0	2.4	10.5	11.7	3.5	64.1	292.7
1984	210.4	244.3	163.6	23.2	8.3	2.8	1.0	19.4	3.8	105.8	149.3	186.0	1118.0
1985	87.3	229.5	150.1	130.9	51.0	14.3	0.0	2.5	11.3	15.4	150.5	170.2	1012.9
1986	145.3	283.6	216.8	120.4	6.4	0.0	0.0	12.8	26.0	14.5	36.9	194.1	1056.8
1987	182.7	62.3	81.3	12.8	2.8	7.2	24.9	3.8	2.3	36.6	97.0	60.3	574.1
1988	195.5	85.4	223.5	101.8	1.5	0.1	1.3	4.4	11.0	20.7	21.5	82.8	749.5
1989	164.3	95.7	139.1	61.9	6.3	9.8	3.8	9.6	4.0	14.8	40.9	68.9	619.1
1990	155.7	60.6	55.0	27.4	11.2	43.2	0.1	16.5	4.1	79.9	122.6	105.0	681.3
1991	182.0	156.4	159.2	80.0	4.9	25.6	4.9	0.2	13.3	30.3	28.6	106.5	791.9
1992	109.9	133.2	26.3	8.6	0.1	3.1	0.0	49.4	0.5	27.1	45.5	83.3	486.9
1993	223.5	69.2	155.2	58.7	3.2	2.0	0.0	23.2	7.1	99.8	117.4	172.9	932.1
1994	237.8	161.8	142.8	94.8	25.1	1.2	0.1	0.3	11.8	10.7	84.9	166.4	937.8
1995	129.4	148.7	131.9	32.3	1.1	0.0	0.0	3.4	14.2	14.5	52.2	142.9	670.7
1996	242.6	155.2	84.9	59.8	18.0	0.0	22.8	21.8	16.3	3.5	72.2	210.1	907.2
1997	230.3	182.3	124.3	46.0	11.6	0.0	2.6	31.2	52.3	35.1	94.7	78.4	888.8
1998	143.8	177.5	132.9	25.2	0.1	1.3	0.1	0.6	0.1	25.9	76.7	32.5	616.7
1999	145.5	170.0	197.6	100.7	15.2	1.0	1.2	5.2	16.7	123.7	29.4	132.7	938.9
2000	188.7	251.9	184.6	39.5	11.7	3.2	2.5	13.3	7.6	87.0	11.6	138.0	939.6
2001	289.9	241.1	151.4	69.9	15.7	3.8	3.8	22.5	21.5	41.2	31.7	81.0	973.5
2002	153.0	239.7	138.7	109.0	14.7	2.6	27.2	7.8	11.5	80.3	101.4	152.6	1038.6
2003	226.0	170.4	194.0	25.1	9.8	4.6	0.1	1.0	19.7	22.3	12.2	140.6	825.7
2004	216.5	166.2	81.9	64.3	0.0	0.7	11.5	18.0	20.6	12.9	24.7	73.0	690.3
2005	135.7	263.3	129.3	44.6	0.1	0.0	0.1	0.6	17.7	16.2	90.3	151.3	849.2
2006	194.4	150.6	161.0	61.3	1.9	0.1	0.2	8.6	35.3	46.5	109.0	110.2	879.0
2007	146.6	153.7	235.0	68.1	10.3	0.1	8.1	1.5	33.9	30.3	47.2	131.4	866.2
2008	192.6	73.7	80.2	4.6	1.0	3.3	0.0	1.4	3.3	42.6	41.7	200.0	644.4
2009	95.8	141.5	111.2	31.4	5.3	0.0	4.5	1.1	11.9	22.7	121.4	146.3	693.1
2010	214.4	210.2	106.3	47.9	10.4	0.0	0.1	0.0	0.4	21.7	44.4	143.3	799.1
2011	106.2	220.5	166.1	74.8	3.8	0.0	3.2	5.7	13.5	30.7	50.8	148.4	823.7
2012	166.6	158.3	141.1	38.7	2.6	7.2	1.9	4.3	24.8	35.3	96.5	121.8	799.3
2013	105.8	199.3	180.9	54.6	2.8	0.6	0.6	1.6	19.6	51.8	178.3	157.9	953.8
2014	141.2	110.3	124.5	43.4	11.1	0.8	0.0	5.9	5.7	31.5	82.9	115.6	673.0
2015	113.2	124.0	90.9	35.6	6.1	1.4	0.1	4.3	16.5	27.0	58.6	98.4	576.1
2016	128.8	87.3	139.4	53.1	7.5	0.4	1.0	1.1	11.9	33.3	26.3	136.5	626.6
PROM	168.8	157.6	137.0	50.1	9.8	3.4	3.6	9.6	16.5	37.2	69.7	121.8	785.0
DS	56.25	62.69	47.28	29.66	10.91	7.06	6.20	12.55	13.62	27.20	45.68	46.21	163.34
CA	0.13	0.11	-0.15	0.83	1.79	4.26	2.59	2.15	1.27	1.44	0.54	-0.03	-0.32
MAX	289.9	283.6	235.0	130.9	51.0	43.2	27.2	52.1	58.5	123.7	178.3	212.9	1118.0
MIN	52.7	38.9	26.3	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.9	3.5	19.0	292.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 38: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Ilave

PRECIPITACION AREAL TOTAL MENSUAL (mm.)													
CUENCA ILAVE PUENTE ILAVE													
AÑO	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1964	90.0	112.5	89.9	25.0	12.8	0.1	0.0	6.8	28.4	14.2	34.8	50.4	464.8
1965	84.9	76.5	45.1	25.4	1.5	1.6	2.4	6.0	22.6	18.2	22.5	130.2	436.9
1966	48.7	108.8	57.3	18.5	35.0	0.0	0.0	0.1	3.1	32.1	63.4	61.0	427.9
1967	82.7	117.4	164.3	22.6	9.5	0.0	10.1	8.6	34.6	29.1	4.6	106.5	590.0
1968	132.0	137.8	113.9	24.6	28.9	10.3	1.0	5.6	9.2	47.3	107.4	67.6	685.4
1969	156.6	80.3	60.4	20.2	1.5	1.0	0.8	0.1	9.5	14.5	37.1	77.6	459.7
1970	120.4	101.5	122.4	26.9	13.3	0.1	0.3	0.1	5.1	17.2	15.3	128.2	550.9
1971	138.1	212.4	60.2	22.7	1.9	2.2	0.0	2.7	0.1	6.5	45.5	113.6	605.9
1972	219.7	148.1	126.7	17.2	1.9	0.0	0.7	0.3	18.2	30.3	42.8	109.8	715.8
1973	205.2	124.8	119.2	51.0	12.6	0.3	2.7	10.6	30.9	6.8	18.7	56.6	639.5
1974	268.9	220.1	72.5	31.7	0.3	0.9	0.2	61.3	9.7	9.2	12.1	51.4	738.3
1975	151.6	195.6	116.1	16.3	18.8	3.7	0.0	3.9	12.6	28.4	19.7	173.5	740.1
1976	248.4	118.9	129.7	19.6	8.3	0.3	9.7	27.2	34.5	4.9	5.0	59.6	666.1
1977	59.8	197.1	132.5	7.9	4.1	0.0	1.0	0.2	18.4	32.3	80.2	93.5	627.0
1978	209.7	85.7	84.7	41.3	0.0	0.0	8.8	4.3	9.3	6.5	108.6	91.3	650.2
1979	156.0	71.8	109.6	15.9	0.3	0.4	4.5	2.5	2.2	30.8	24.5	74.1	492.6
1980	116.1	63.1	165.1	9.3	2.8	0.2	1.5	7.7	27.2	53.1	32.4	112.8	591.4
1981	171.6	201.7	90.1	37.0	2.5	0.0	0.0	28.7	15.7	18.0	20.4	113.3	699.2
1982	178.4	72.9	90.9	30.1	2.4	0.7	0.6	1.5	33.6	64.6	68.2	24.2	568.0
1983	52.0	54.8	18.8	18.1	2.9	1.5	0.4	2.2	17.1	14.8	15.5	71.4	269.6
1984	291.5	228.9	179.7	18.3	8.3	13.2	0.3	7.5	2.8	88.7	132.5	77.9	1049.7
1985	136.5	208.3	96.7	82.0	17.3	18.8	0.4	5.2	29.6	10.8	114.3	155.2	875.1
1986	147.4	235.4	198.4	69.4	5.6	0.1	2.8	8.7	7.0	4.0	29.6	138.4	846.7
1987	211.5	52.6	46.3	17.6	1.0	3.1	21.9	2.3	6.7	30.3	49.5	28.8	471.5
1988	159.8	44.6	127.5	84.3	10.0	0.8	0.3	0.0	13.3	23.1	7.0	70.2	540.7
1989	166.7	130.0	138.7	57.3	5.5	4.0	3.1	5.9	7.5	3.3	15.0	27.6	564.5
1990	113.9	34.2	58.3	19.4	12.9	45.5	3.0	14.5	5.9	70.0	74.9	89.8	542.3
1991	107.7	89.0	139.1	35.7	5.3	21.1	2.1	2.9	12.9	26.4	26.7	66.1	534.9
1992	117.8	63.3	29.6	22.8	0.3	2.7	5.7	28.8	0.5	44.2	38.5	72.9	427.1
1993	172.2	56.6	124.1	40.3	8.0	1.2	0.0	39.6	14.6	73.5	75.4	127.0	732.5
1994	161.4	161.6	108.0	64.6	10.2	0.7	1.3	0.6	4.6	13.6	61.3	116.4	704.3
1995	107.2	118.1	118.3	10.5	2.2	0.5	0.0	0.9	9.1	7.6	44.7	104.5	523.6
1996	204.2	115.7	34.4	39.7	9.2	0.0	1.5	23.7	5.7	5.9	67.3	88.7	595.9
1997	191.4	190.8	88.9	31.0	2.6	0.0	0.0	35.1	61.1	21.6	82.1	58.6	763.3
1998	115.1	82.2	67.2	23.2	0.6	11.7	0.0	0.5	0.9	17.2	44.9	26.5	390.0
1999	126.7	179.2	214.8	60.2	8.8	0.4	0.1	4.0	8.7	73.4	6.5	66.0	748.9
2000	219.8	166.9	98.6	17.3	5.9	2.1	0.9	8.3	3.8	49.4	8.5	98.1	679.6
2001	300.0	208.8	139.1	44.8	6.3	0.5	3.4	8.9	6.2	28.0	36.3	55.9	838.2
2002	80.1	186.1	140.1	70.7	16.8	7.6	19.2	9.5	6.2	50.1	66.7	76.3	729.5
2003	123.6	109.1	117.5	14.8	10.3	0.2	1.4	8.5	17.4	9.2	14.9	96.0	522.9
2004	196.6	124.7	67.7	19.7	1.5	3.1	18.9	42.8	13.1	0.5	11.2	55.0	554.8
2005	104.1	194.4	65.1	32.3	0.9	0.0	0.0	0.0	21.6	28.5	40.8	135.7	623.5
2006	235.9	98.5	109.0	32.6	4.8	1.7	0.0	6.2	18.3	27.4	66.0	74.5	674.9
2007	88.9	85.9	142.2	44.0	3.4	0.2	0.5	2.5	27.5	25.5	45.5	85.6	551.8
2008	181.7	76.3	68.9	5.8	0.4	0.2	0.4	3.1	1.1	22.9	9.6	121.5	492.0
2009	84.9	135.5	88.8	48.6	0.4	0.0	4.0	0.0	9.0	20.6	84.5	80.0	556.4
2010	141.9	119.3	58.8	30.2	18.0	0.0	0.0	1.9	2.6	26.6	12.5	105.9	517.8
2011	137.1	172.2	105.9	34.1	3.3	0.1	3.7	13.4	4.0	10.7	16.8	88.3	589.5
2012	116.4	139.5	113.7	41.5	1.8	0.2	0.0	1.1	7.3	10.9	27.0	80.7	540.1
2013	136.8	131.9	110.2	29.9	1.7	0.8	0.1	1.6	14.0	28.1	49.3	95.7	600.1
2014	160.0	133.0	98.2	34.2	4.5	0.5	0.8	5.2	13.1	24.5	70.8	76.3	621.2
2015	160.1	120.5	104.1	18.3	4.3	0.7	0.8	1.6	3.6	22.4	45.6	59.4	541.3
2016	154.9	107.6	96.5	28.4	2.2	0.2	0.1	2.6	11.8	11.6	54.5	80.2	550.5
PROM	151.8	128.4	103.1	32.2	6.7	3.1	2.7	9.0	13.5	26.2	43.6	85.8	605.9
DS	57.52	53.63	41.04	18.34	7.20	7.49	4.91	12.76	11.66	20.10	31.08	32.28	134.92
CA	0.57	0.31	0.34	1.17	1.95	4.16	2.78	2.31	1.70	1.32	0.89	0.35	0.60
MAX	300.0	235.4	214.8	84.3	35.0	45.5	21.9	61.3	61.1	88.7	132.5	173.5	1049.7
MIN	48.7	34.2	18.8	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	4.6	24.2	269.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 39: Precipitación areal total mensual (mm) – Puente Huanacán

PRECIPITACION AREAL TOTAL MENSUAL (mm.)													
CUENCA HUANCANE													
RIO HUANCANE													
AÑO	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1964	80.1	139.6	164.4	50.4	32.5	0.8	1.3	1.5	26.0	50.8	72.5	69.5	689.5
1965	189.7	118.8	141.2	41.3	7.3	0.1	2.0	3.2	25.1	30.7	73.8	148.6	781.8
1966	90.4	137.1	78.8	21.6	42.8	0.0	0.0	0.1	18.2	38.4	66.8	74.1	568.2
1967	32.0	73.1	113.2	10.6	24.8	2.8	25.2	30.5	76.1	65.9	27.7	149.1	631.0
1968	100.6	167.9	79.4	43.7	9.1	1.3	29.7	16.3	52.5	42.0	110.7	53.0	706.1
1969	156.5	103.9	67.2	31.5	2.5	1.3	12.4	5.1	27.9	29.4	70.0	81.2	589.1
1970	168.5	100.8	94.8	49.2	20.1	0.3	1.2	0.8	50.1	51.6	26.6	180.7	744.6
1971	161.4	215.1	58.8	18.7	4.2	1.5	0.0	6.2	3.8	50.1	50.9	62.0	632.7
1972	168.8	92.2	65.9	36.1	3.1	0.3	2.9	14.8	26.6	36.6	83.0	112.6	642.9
1973	142.7	105.5	111.0	85.5	11.1	1.8	6.4	11.8	67.0	44.5	43.1	76.7	707.0
1974	163.0	141.0	67.3	41.5	2.1	5.2	2.7	21.3	18.8	47.3	35.6	98.8	644.7
1975	115.7	140.2	104.3	26.0	15.3	7.4	0.0	3.4	21.8	52.0	42.7	153.0	681.8
1976	130.0	93.4	86.3	22.8	23.5	9.8	4.9	21.3	62.1	22.5	37.2	99.5	613.4
1977	82.1	158.7	117.3	24.1	14.0	3.5	1.3	0.6	45.1	42.4	102.3	105.3	696.6
1978	155.7	160.7	117.6	60.6	3.4	7.9	1.5	0.3	31.6	21.0	140.9	208.7	909.9
1979	217.3	82.4	87.2	104.5	6.4	0.0	1.9	6.8	11.3	68.3	49.4	124.2	759.7
1980	144.2	87.0	128.8	21.3	10.7	2.1	10.2	8.6	55.4	92.5	34.3	66.7	661.8
1981	248.6	124.2	116.5	79.1	6.4	2.8	0.0	20.4	42.9	92.9	50.6	124.6	908.9
1982	201.5	73.6	110.9	68.8	2.0	1.0	0.3	8.8	61.5	49.3	132.2	57.4	767.4
1983	98.8	93.7	52.6	66.6	14.0	4.0	1.6	2.3	26.0	35.7	26.8	77.6	499.7
1984	272.7	213.5	119.9	41.2	8.5	9.8	4.2	25.9	5.6	71.3	132.6	125.4	1030.6
1985	161.9	124.9	114.9	124.0	20.1	18.1	0.7	3.0	67.3	42.6	160.4	188.8	1026.6
1986	141.0	172.6	140.9	106.0	15.6	0.0	6.9	16.0	52.6	19.0	81.4	136.1	888.2
1987	181.9	64.3	77.2	49.7	11.2	5.9	27.8	8.9	6.3	57.0	98.7	66.6	655.5
1988	163.0	100.4	177.7	95.0	30.5	0.0	0.0	1.4	4.7	46.9	9.5	114.7	743.8
1989	139.9	110.5	114.7	60.6	6.8	8.3	1.0	21.8	23.6	29.6	49.4	74.9	641.3
1990	155.6	63.7	54.6	31.4	6.4	59.1	0.3	13.8	17.8	87.1	96.2	97.8	683.8
1991	137.7	111.5	136.6	47.5	16.9	43.9	2.8	1.0	22.2	27.2	65.0	113.9	726.3
1992	161.4	84.7	56.6	19.4	0.0	9.6	3.0	65.5	16.4	47.8	61.7	133.2	659.4
1993	175.2	63.9	87.0	60.1	15.6	3.4	5.2	19.2	23.2	62.3	92.8	125.2	733.1
1994	142.2	136.0	125.0	81.8	20.1	4.5	0.0	0.3	21.6	40.2	68.7	125.4	765.8
1995	135.0	141.7	124.0	18.5	4.1	0.0	2.7	0.6	12.5	20.1	58.0	95.9	613.2
1996	162.4	82.7	91.6	39.9	20.9	0.0	3.2	13.0	17.0	27.3	100.9	111.5	670.4
1997	195.9	124.8	190.2	74.4	8.6	0.0	1.8	21.4	35.5	42.4	95.3	62.7	853.0
1998	98.6	114.7	107.1	48.9	0.1	8.6	0.0	2.1	3.0	71.5	100.2	37.7	592.6
1999	108.9	78.1	160.6	47.3	18.1	1.1	1.5	0.5	47.7	58.1	44.5	73.2	639.5
2000	131.7	105.0	94.7	15.3	6.2	19.0	1.5	20.7	17.5	113.9	22.9	117.3	665.5
2001	209.9	116.7	187.9	33.1	34.2	3.8	9.8	14.6	22.6	76.1	64.9	97.6	871.2
2002	100.8	162.0	132.4	62.4	16.2	2.7	24.6	10.4	36.0	114.5	81.5	112.1	855.6
2003	204.1	121.2	128.6	55.9	6.6	9.2	1.6	15.7	25.3	71.2	48.6	118.6	806.5
2004	241.6	121.7	76.6	51.7	26.6	9.6	4.6	22.9	27.3	32.0	65.8	86.0	766.4
2005	105.4	173.2	71.4	27.6	1.7	0.0	1.0	4.9	17.4	74.0	76.7	91.5	645.0
2006	208.4	52.0	65.5	60.2	1.8	3.5	0.0	6.5	27.7	52.5	69.2	112.7	660.0
2007	124.3	62.0	139.2	71.0	19.4	0.6	1.9	0.6	52.2	23.4	69.1	86.2	649.9
2008	140.2	75.1	68.5	12.5	8.7	1.7	0.2	1.5	11.0	63.8	45.3	163.1	591.7
2009	98.3	92.0	46.0	19.0	4.8	0.0	3.6	0.0	16.9	29.4	84.3	109.1	503.4
2010	169.2	134.5	82.0	24.2	17.1	0.3	1.2	2.2	0.7	47.9	16.0	130.5	625.8
2011	94.9	149.5	106.2	26.0	5.1	1.2	5.1	6.8	29.7	47.0	81.4	90.5	643.4
2012	134.6	143.1	102.6	28.1	10.1	0.3	0.2	2.4	22.4	50.5	73.7	81.2	649.1
2013	158.3	108.9	102.7	39.6	15.7	1.7	0.8	4.5	24.3	49.7	67.0	87.8	661.1
2014	157.6	94.4	122.4	63.2	8.9	2.8	0.9	5.7	21.2	47.3	59.5	106.5	690.4
2015	157.4	116.3	123.5	46.2	15.1	0.6	1.6	2.8	16.2	49.9	80.1	107.1	716.7
2016	131.4	101.8	92.5	42.0	3.8	0.9	0.4	2.3	21.1	53.9	67.7	82.0	599.9
PROM	150.0	115.6	105.4	47.7	12.5	5.4	4.3	9.9	28.6	51.2	69.2	105.4	704.9
DS	45.64	36.67	34.45	25.76	9.51	10.30	7.06	11.34	18.27	21.91	31.69	34.88	112.93
CA	0.26	0.64	0.50	0.90	1.06	3.93	2.64	2.51	0.85	1.01	0.62	0.75	1.04
MAX	272.7	215.1	190.2	124.0	42.8	59.1	29.7	65.5	76.1	114.5	160.4	208.7	1030.6
MIN	32.0	52.0	46.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	19.0	9.5	37.7	499.7

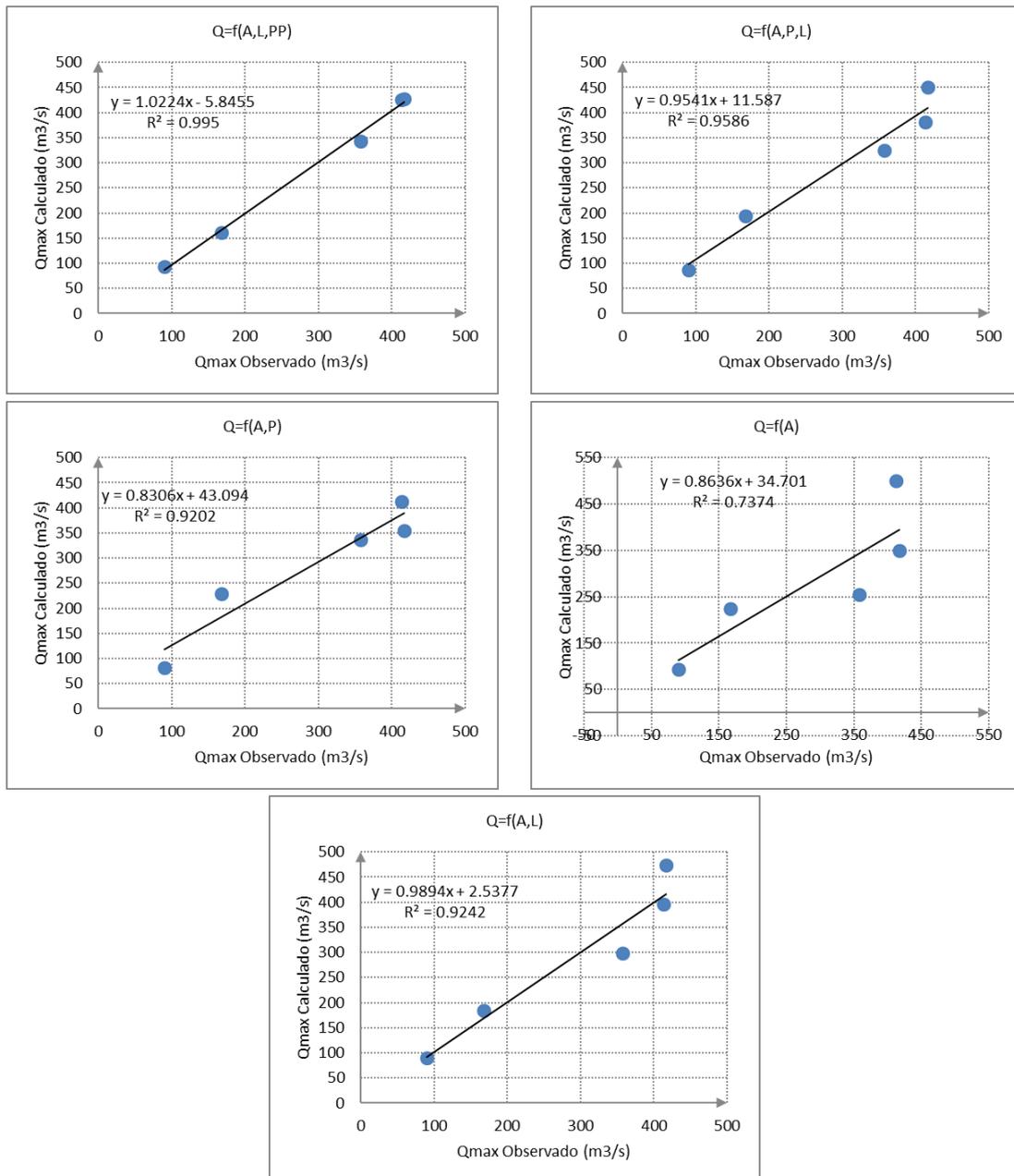
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 40: Caudal observado y calculados

N°	Estación	Caudal Observado (m3/s)	Caudal máxima calculado (m3/s)				
			Q=f(A,L,PP)	Q=f(A,P)	Q=f(A,P,L)	Q=f(A,L)	Q=f(A)
1	Pte. Ramis	412.9	425.2	412.9	382	396.9	500.3
2	Pte. Huancané	167.3	160.6	229.3	193.5	184.5	223.4
3	Pte. Unocolla	357.7	342.8	336.3	325.5	297.8	255.2
4	Rio Verde	90.4	93.1	82.4	86.1	90.3	93.6
5	Pte. Ilave	417.3	427.1	355.3	450.1	473.5	349.4

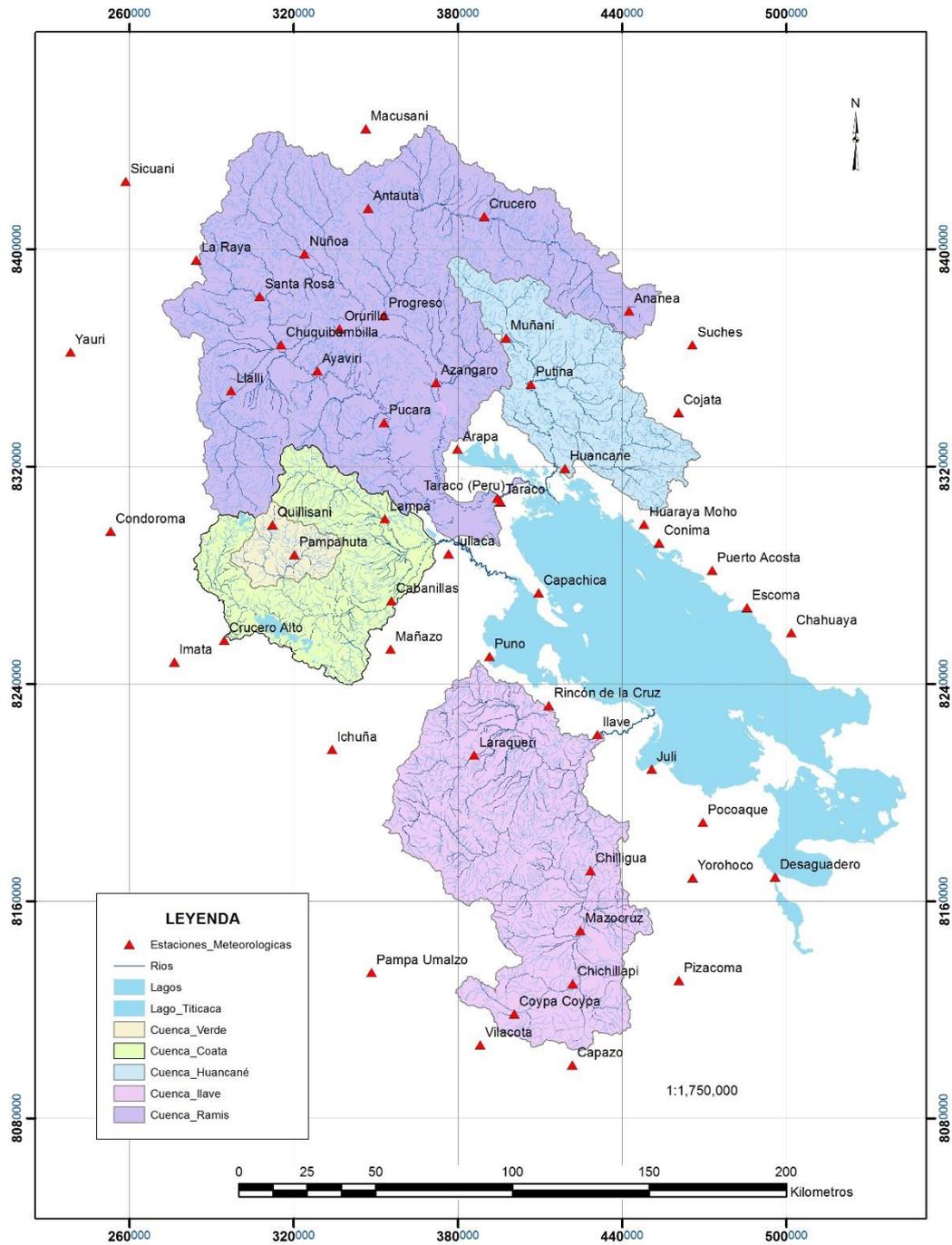
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 9: Diagrama de dispersión de caudales observados y calculados



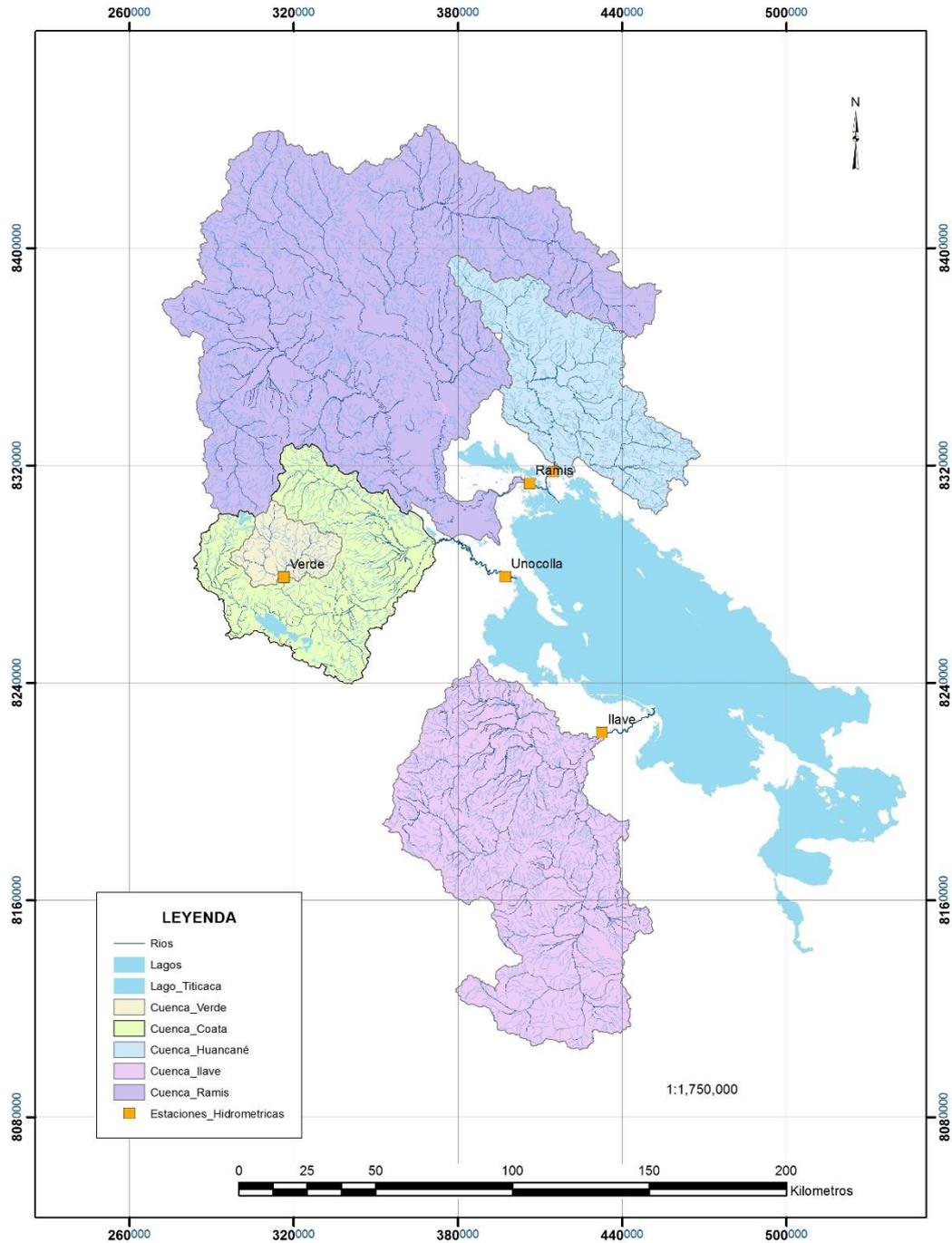
Fuente: Elaboración propia

Mapa N° 1: Estaciones Meteorológicas en la vertiente del Titicaca



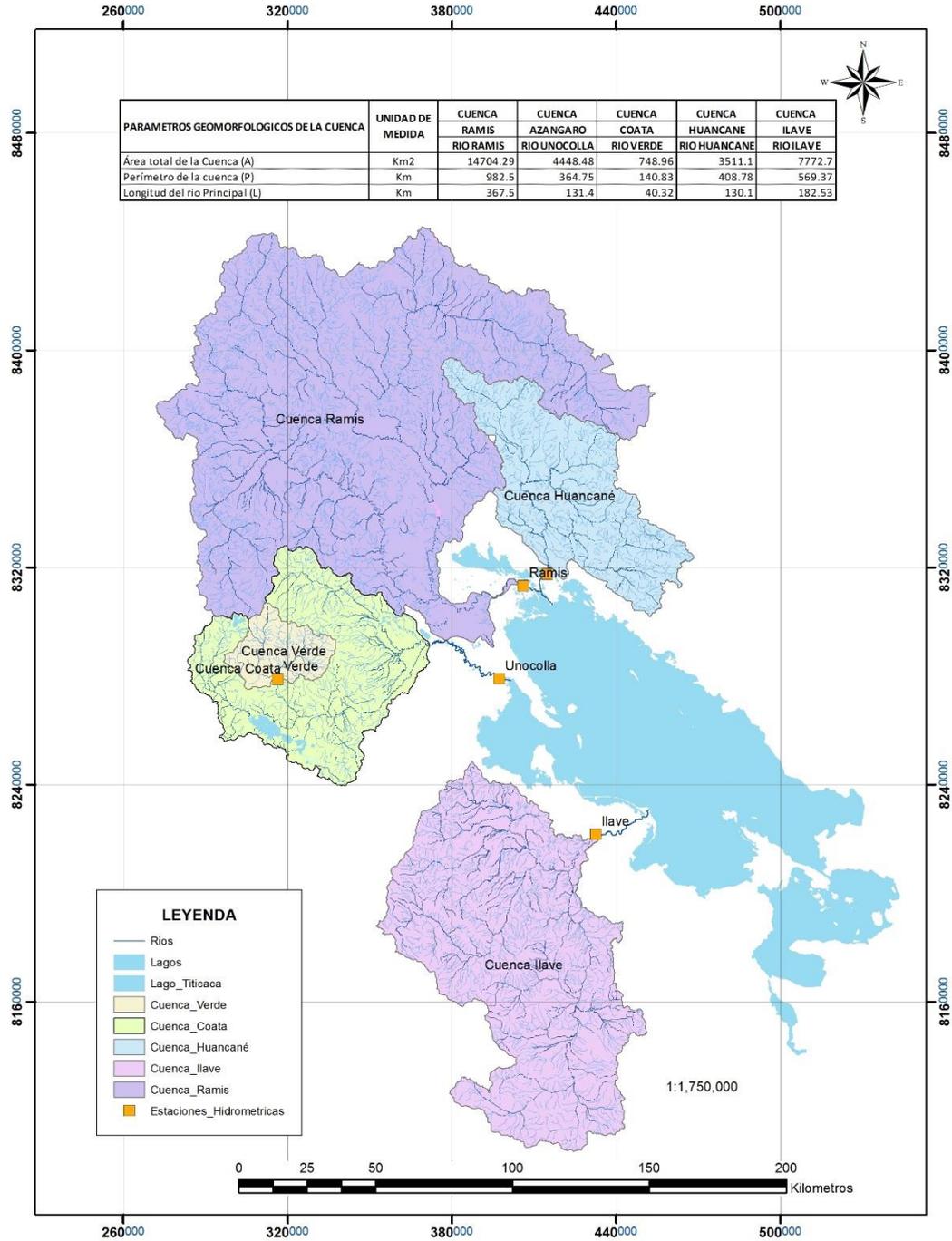
Fuente: Elaboración propia

Mapa N° 2: Estaciones hidrometricas



Fuente: Elaboración propia

Mapa N° 3: Parámetros geomorfológicos de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

