

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Generación de caudales medios mensuales de la cuenca del río
Coata utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz

Por:

Dennis Sander Tito Betancur

Asesor:

Ing. Efraín Lujano Laura

Juliaca, agosto de 2018

**DECLARACIÓN JURADA DE
AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**


Ing. Efraín Lujano Laura, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “Generación de caudales medios mensuales de la cuenca del río Coata utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz” constituye la memoria que presenta el Bachiller Dennis Sander Tito Betancur para aspirar al título Profesional de Grado académico de Ingeniero Civil ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en el campus universitario, a los 8 días, del mes Agosto del año dos mil dieciocho.


Ing. Efraín Lujano Laura

Generación de caudales medios mensuales de la cuenca del río
Coata utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz

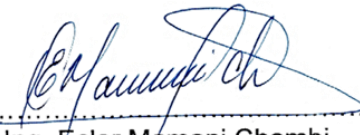
TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

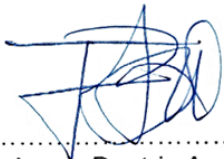
JURADO CALIFICADOR



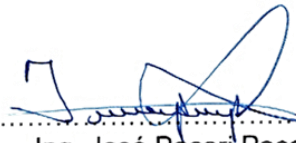
Ing. Rubén Fitzgerald Sosa Aquisé
Presidente



Ing. Ecler Mamani Chambi
Secretario



Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari
Vocal



Ing. José Pacori Pacori
Vocal



Ing. Efraín Lujano Laura
Asesor

Juliaca, 08 de agosto de 2018

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo primero a DIOS por poner a mi lado a las personas idóneas que me apoyaron a terminar este proyecto, por darme fuerza y determinación para cumplir con mis metas, por estar en cada momento de mi vida, por cada regalo de gracia que me supo dar, que inmerecidamente he recibido como el de tener una madre tan maravillosa.

A mi Madre SOFÍA BETANCUR MERMA, a mis abuelos MIGUEL BETANCUR GARCIA Y MARIA MERMA DE BETANCUR, por su sacrificio, por el apoyo incansable, para que cumpla con mis metas, mi más grande agradecimiento a quienes fueron los pilares más importantes de mi vida. A quienes les debo todo en la vida. Gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

A mis hermanas: MARICARMEN, VANESSA, SINDY SOFIA, por el aliento en los momentos difíciles, por la motivación a seguir delante, Por qué sé que siempre puedo contar con ellas.

A mis hijos DEYVIS ABEL Y ASIEL ELENA, por ser la motivación que me inspira a trazarme metas, por el cariño y afecto que me han brindado.

DENNIS SANDER TITO BETANCUR

AGRADECIMIENTO

Los más sinceros agradecimientos van dirigidos a todas aquellas personas e instituciones que prestaron su ayuda desinteresada en la realización de esta memoria académica.

A Dios quien me dio la vida y lleno de bendiciones en todo este tiempo, al que con su infinito amor me dio la sabiduría suficiente para culminar mis metas.

A La Universidad Peruana Unión mi alma mater, muy en especial a la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios superiores.

Al profesor guía Ing. Efraín Lujano Laura quien fue un verdadero orientador y amigo durante toda esta investigación académica.

Hago extensivo mi gratitud, a toda mi familia, a mis Tíos, Primos, Amigos y Compañeros de estudios, que de una u otra manera han motivado y contribuido en la ejecución y culminación del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I EL PROBLEMA	19
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. Objetivo.....	20
1.2.1. Objetivo General.....	20
1.2.2. Objetivo Especifico	20
1.3. JUSTIFICACIÓN	20
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.2. COMPONENTES METEOROLÓGICOS	25
2.3. CONSIDERACIONES EN HIDROLOGÍA.....	26
2.4. EL CICLO HIDROLÓGICO Y SUS COMPONENTES	26
2.4.1. Precipitación	27
2.4.2. Intercepción	27
2.4.3. Evapotranspiración	27
2.4.4. Infiltración	28
2.4.5. Almacenamiento	28
2.4.6. Escorrentía	28
2.5. EL CICLO HIDROLÓGICO COMO SISTEMA.....	28
2.5.1. El sistema hidrológico	28
2.5.2. Modelos hidrológicos	29
2.5.3. Modelos matemáticos en hidrológica	30
2.5.4. Modelo Propuesto por Lutz Scholz -1980.....	32
2.6. LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	33
2.6.1. Subcuenca.....	33

2.6.2. Microcuenca	33
2.7. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	34
2.7.1. Análisis de consistencia de la información.....	35
2.7.2. Análisis de hidrogramas	36
2.7.3. Análisis de doble masa	37
2.7.4. Análisis de saltos	37
2.7.5. Análisis de tendencia	39
2.8. COMPLETACIÓN Y/O EXTENSIÓN DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	39
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. MATERIALES	41
3.1.1. Equipos y materiales para el procesamiento.....	41
3.1.2. Información cartográfica	41
3.1.3. Información pluviométrica e hidrométrica	42
3.2. METODOLOGÍA	44
3.2.1. Análisis cartográfico y estadístico de la información.....	44
3.2.2. Aplicación de los modelos determinísticos parciales	48
3.2.2. Generación de Descargas Medias Mensuales Para Períodos Extendidos.....	62
3.3. LIMITACIONES DEL MODELO	63
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	64
4.2. DESCRIPCIÓN CARTOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	68
4.2.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA	70
4.3.1. Resultados y Discusión.....	70
4.4. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	74

4.4.1. Resultados y Discusión.....	74
4.5. COMPLETADO Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	100
4.5.1. Resultados y Discusión.....	100
4.6. DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIA MENSUAL SOBRE LA CUENCA.	107
4.6.1. Resultados y Discusión.....	107
4.7. VARIABLES METEOROLÓGICAS COMPLEMENTARIAS DE LA CUENCA	114
4.7.1. Resultados y Discusión.....	114
4.8. GENERACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA UN AÑO PROMEDIO	124
4.8.1. Resultados y Discusión.....	124
4.9. GENERACIÓN DE CAUDALES PARA PERIODO EXTENDIDOS.....	127
4.9.1. Resultados y Discusión.....	127
4.10. TEST ESTADÍSTICO Y CRITERIOS DE CONFIABILIDAD	133
4.10.1. Resultados y Discusión.....	133
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.1. CONCLUSIONES	135
5.2. RECOMENDACIONES	137
ANEXO	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Número de Estaciones/Cuenca.	42
Tabla 2 : Estaciones Pluviométricas – cuencas del río Cabanillas y Lampa y estaciones de apoyo.	43
Tabla 3 : Metodología del modelo de Lutz Scholz.....	44
Tabla 4: Método de la United States Bureau of reclamation (USBR).....	54
Tabla 5 : Coeficiente para el cálculo de precipitación Efectiva.	55
Tabla 6 : Cálculo de los Coeficientes de Agotamiento “a”.	58
Tabla 7 : Lámina de Agua acumulada en los tres tipos de almacén Hídrico.....	59
Tabla 8 : Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %).	60
Tabla 9 : Almacenamiento Hídrico durante la época de lluvia- (Valores 0 a 1 %).	61
Tabla 10 : Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Coata.	69
Tabla 11 : Descarga Media Mensual Aforados (M3/S) Estación Unucolla.	72
Tabla 12 : Análisis De Doble Masa De Caudal Medio Anual De La Estación Unucolla. .	73
Tabla 13: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Pucara.	88
Tabla 14: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Pucara.	88
Tabla 15: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Ichuña.	89
Tabla 16: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Ichuña.	89
Tabla 17: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Ichuña.	89

Tabla 18: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Quillisani.	90
Tabla 19: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Pampahuata.....	90
Tabla 20: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Lampa.	91
Tabla 21: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Taraco.	91
TABLA 22: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Capachica.....	91
Tabla 23: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Puno.....	92
Tabla 24: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Crucero alto.	92
Tabla 25: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Imata.	93
Tabla 26 : Análisis de doble masa estaciones del grupo 1: Llallí, Ayaviri, Pucara.	94
Tabla 27 : Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Pampahuata, Cabanillas, Mañazo, Quillisani y Ichuña	95
Tabla 28 : Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.....	96
Tabla 29 : Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 4: Condorama, Crucero alto y Imata.	97
Tabla 30 : Análisis de doble masa de precipitación total anual de datos extendidos de las estaciones del Grupo 1: Llallí, Ayaviri y Pucara.....	101

Tabla 31: Análisis de doble más de datos extendidos de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Cabanillas, Quillisani, Pampahuata, Mañazo y Ichuña.	102
Tabla 32: Análisis de doble masa de precipitación total anual de datos extendidos de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.	103
Tabla 33 : Análisis de doble masa de precipitación total anual de datos extendidos de las estaciones del Grupo 4: Condoroma, Crucero alto y Imata.....	104
Tabla 34 : Precipitación Total Mensual Promedio de Las Estaciones Ubicadas En El Ámbito de Estudio –Periodo 1967-2017.	108
Tabla 35 : Precipitación Media Anual de la Cuenca del Rio Coata – Método De Thiessen.	110
Tabla 36 : Precipitación media anual sub cuenca Lampa – Método De Thiessen.	110
Tabla 37 : Precipitación Media Mensual Cuenca Coata - Método De Thiessen.....	112
Tabla 38 : Precipitación media mensual sub cuenca Lampa.	113
Tabla 39 : Temperatura Media Mensual (°C) en la Cuenca del Rio Coata.	114
Tabla 40 : Resultados De La Evapotranspiración Potencial Cuenca del Rio Coata.....	115
Tabla 41 : Resultados De La Evapotranspiración Potencial Subcuenca del Rio Lampa. .	116
Tabla 42 : Resultados Del Coeficiente De Escurrimiento – Metodo Turc.....	117
Tabla 43 : La Estimación Del Coeficiente De Escurrimiento – Metodo Empirico.....	117
Tabla 44 : Precipitación Efectiva Según El Bureau Of Reclamation (Usbr).....	118
Tabla 45 : Coeficientes De Regresión Para Las Curvas De Precipitación Efectiva.....	119
Tabla 46 : Precipitación Efectiva Mensual (mm).....	121
Tabla 47 : Retención de la Cuenca del Rio Coata.	122
Tabla 48 : Resultados Del Gasto De La Retención Mensual (mm/mes).	123
Tabla 49 : Resultados Del Abastecimiento De La Retención Mensual (mm/mes).	124

Tabla 50 : Resultados Generados y aforados de Caudales Mensuales para el Año Promedio (m ³ /s).....	126
Tabla 51 : Datos de la Variable Dependiente e Independiente.....	128
Tabla 52 : Precipitación efectiva (mm) generada en la cuenca del rio Coata – Periodo 1967 a 2017.	129
Tabla 53 : Números aleatorios generados con distribución normal.	130
Tabla 54 : Descargas medias mensuales generados (mm) – Cuenca Coata.	131
Tabla 55 : Descargas medias mensuales generados (mm) – Bocatoma Ccatacha.....	132
Tabla 56 : Consistencia de la Media Y Desviación Estándar de la Serie de Caudales Generado Y Caudales Aforados – Cuenca Coata.....	133
Tabla 57: Consistencia de la Media Y Desviación Estándar de la Serie de Caudales Generado Y Caudales Aforados – Cuenca Coata.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El ciclo hidrológico a nivel de cuenca.	27
Figura 2: Esquema del Sistema Hidrológico.	29
Figura 3: Diagrama de flujo para el tratamiento de datos hidrometeoro-lógicos.....	35
Figura 4: Diagrama de errores aleatorios y errores sistemáticos.....	36
Figura 5: Serie con componente transitoria en forma de salto.	38
Figura 6: Serie con componente transitoria en forma de Tendencia lineal ascendente y Tendencia no lineal ascendente	39
Figura 7: Método de los polígonos de Thiessen.	49
Figura 8 : Ubicación Hidrográfica de la Cuenca del río Coata	66
Figura 9 : Ubicación Política de la Cuenca del río Coata.....	67
Figura 10 : Histograma de caudal medio mensual (m ³ /s) – estación de aforo puente Unucolla –periodo (1967 – 2017).	71
Figura 11 : Diagrama de doble masa de caudal medio anual de la estación puente Unucolla.	71
Figura 12 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Llallí –periodo (1967 – 2016).....	79
Figura 13 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Ayaviri –periodo (1967 – 2017).	79
Figura 14 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Pucara –periodo (1967 – 2016).	80
Figura 15 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Pampahuata –periodo (1967 – 2006).	80
Figura 16 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Santa Lucia –periodo (1967 – 2000 y 2006 – 2013).....	81
Figura 17 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Cabanillas – periodo (1967 – 2017).	81

Figura 18 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Mañazo – periodo (1967 – 2006).	82
Figura 19 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Lampa – periodo (1967 – 2016).	82
Figura 20 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Juliaca – periodo (1967 – 2017).	83
Figura 21 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Taraco – periodo (1967 – 2006).	83
Figura 22 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Capachica – periodo (1967 – 2006).	84
Figura 23 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Puno – periodo (1967 – 2006).	84
Figura 24 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Quillisani – periodo (1967 – 2006).	85
Figura 25 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Ichuña – periodo (1967 – 2006).	85
Figura 26 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Condoroma – periodo (1967 – 2006).	86
Figura 27 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Crucero alto – periodo (1967 – 2010).	86
Figura 28 : Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Imata – periodo (1967 – 2006).	87
Figura 29 : Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 1: Llallí, Ayaviri y Pucara.	98
Figura 30 : Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Cabanillas, Quillasini, Pampahuata, Mañazo y Ichuña.	98
Figura 31 : Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.	99

Figura 32 : Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 4: Condorama, Crucero alto y Imata.	99
Figura 33 : Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 1: Ayaviri y Pucara.	105
Figura 34 : Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Quillisani, Pampahuata, Mañazo y Ichuña.	105
Figura 35 : Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Taraco, Capachica y Puno.	106
Figura 36 : Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 4: Condorama, Crucero alto y Imata.	106
Figura 38 : Ecuación Polinómica De La Precipitación Efectiva De La Curva I.....	120
Figura 39 : Ecuación Polinómica De La Precipitación Efectiva De La Curva II.....	120
Figura 40 : Ecuación Polinómica De La Precipitación Efectiva De La Curva III.....	121
Figura 41 : Comparación de caudales calculados y aforados, luego de la calibración para el Río Coata.	125
Figura 42 : Comparación Entre Caudales Generados Y Caudales Aforados - Cuenca Coata. – Periodo 1967 – 2017.....	133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Panel Fotográfico	142
Anexo B. Delimitación sub cuenca lampa, mapa de polígono de Thiessen de la sub cuenca Lampa	143

RESUMEN

La investigación, se realizó en la cuenca del río Coata con el principal objetivo de graduar, “calibrar” los parámetros óptimos del modelo matemático de LUTZ SCHOLZ, y de ese modo poder generar los caudales medios mensuales sintéticos en la sub cuenca del río Lampa; por otro lado, en el departamento de Puno, se viene desarrollando un crecimiento de la demanda insatisfecha del recurso hídrico, tanto en la población rural como en la población urbana, y una forma de remediar esta demanda insatisfecha es con el desarrollo de proyectos hidráulicos, cabe resalta que en los puntos de interés donde se quiere proyectar la captación del recurso no cuenta con una estación hidrométrica que permitan medir y determinar el aporte volumétrico que discurre por el punto de interés, a su vez cabe mencionar que el proceso físico de medición de caudales demanda tiempo valioso e inversión. Bajo esta necesidad es imprescindible determinar una serie de caudales medios mensuales en los puntos de interés o sub cuencas, las cuales permitirán realizar el diseño hidráulico de una estructura hidráulica destinada para la captación del recurso hídrico, por lo que se hace necesario utilizar modelos matemáticos de Precipitación – Escorrentía y calibrar el modelo con datos observados. El modelo de LUTZ SCHOLZ, tiene como parámetros principales al coeficiente de escurrimiento y retención de la cuenca los cuales, en esta investigación tomaron los siguientes valores. $C = 41.41\%$, $R = 42.68 \text{ mm/año}$, y los valores de abastecimiento de la retención son diferentes a los valores propuestos por el modelo. Culminado el proceso de calibración y contrastar los caudales sintéticos generados y la serie históricas observadas que están comprendidos entre los años de 1967 – 2017 gráficamente y estadísticamente son iguales, por consiguiente, se concluye que el modelo matemático es válido y adecuado para su aplicación en la generación de caudales medios mensuales sintéticos para la cuenca del río Coata.

Palabras Clave: Cuenca del río Coata, Bocatoma, precipitación, coeficiente de escurrimiento, retención de la cuenca, coeficiente de agotamiento, caudales medios mensuales.

ABSTRACT

The research was carried out in the Coata river basin with the main objective of graduating, "calibrating" the optimal parameters of the mathematical model of LUTZ SCHOLZ, and in this way being able to generate the synthetic average monthly flows in the sub basin of the Lampa river; On the other hand, in the department of Puno, there has been a growth in the unsatisfied demand for water resources, both in the rural population and in the urban population, and one way to remedy this unmet demand is with the development of hydraulic projects, It should be noted that in the points of interest where the capture of the resource is to be projected, it does not have a hydrometric station to measure and determine the volumetric contribution that flows through the point of interest, in turn it is worth mentioning that the physical process of measuring Flows demand valuable time and investment. Under this need it is essential to determine a series of monthly average flows in the points of interest or sub-basins, which will allow the hydraulic design of a hydraulic structure destined for the capture of the hydric resource, for which it is necessary to use mathematical models of Precipitation - Runoff and calibrate the model with observed data. The LUTZ SCHOLZ model has as main parameters the runoff and retention coefficient of the basin which, in this investigation, took the following values. $C = 41.41\%$, $R = 42.68 \text{ mm / year}$, and the retention supply values are different from the values proposed by the model. Once the calibration process has been completed and the synthetic flows generated and the historical series observed between the years of 1967 and 2017 are graphically and statistically equal, it is concluded that the mathematical model is valid and suitable for its application in the generation of synthetic monthly average flows for the Coata river basin.

Key words: Coata river basin, Intake, precipitation, runoff coefficient, basin retention, depletion coefficient, average monthly flows.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según las últimas estadísticas emitidas por la “dirección regional agraria de Puno” computa un crecimiento en el sector agro pecuario, de lo cual es necesario mencionar el crecimiento del 0.85 % en el sector pecuario “ganadería”, y 3.44 %, en el sector agrícola “área de cultivos para pastoreo” no obstante, se hace referencia en el estudio realizado DRA PUNO “dirección regional agraria de Puno”, que el déficit hídrico causa pérdidas económicas considerables en el sector pecuario. Por otro lado, se menciona en el DS 002 – 2012 – VIVIENDA, un dato a considerar, el cual nos indica que el 61 % de la población rural no tiene acceso al agua potable, aproximadamente.

Los porcentajes indicados en el párrafo anterior indican una insatisfacción en la demanda del recurso hídrico, el cual requiere una alternativa de solución, que es el planteamiento de proyectos de desarrollo hidráulico, para aliviar total o parcialmente esta demanda insatisfecha, por lo que es necesario tener conocimiento de la concurrencia del recurso “oferta hídrica”, en puntos donde se quiere realizar proyectos de desarrollo hidráulico, información que debe tener cierto grado de confiabilidad que ayude a establecer hasta qué punto es posible la elaboración del proyecto.

Uno de los obstáculos o condicionantes dentro del planeamiento hídrico, que se presenta en la cuenca del río Coata, son los recursos y tiempo que demandan realizar las mediciones INSITU “punto de interés”, lo que hace que sea necesario calibrar modelos hidrológicos de precipitación escorrentía, en los puntos con potencial para realizar proyectos hidráulicos.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo General

Generar caudales medios mensuales sintéticos en la cuenca del río Coata partiendo de la Calibración de los parámetros del modelo Hidrológico de LUTZ SCHOLZ en el Puente Unucolla.

1.2.2. Objetivo Especifico

- 1) Realizar la Calibración de los parámetros del modelo Lutz Scholz para la generación de descargas medias mensuales en la Cuenca del Río Coata.
- 2) Realizar la modelación hidrológica en la cuenca, y realizar la generación de descargas medias mensuales sintéticas en la sub cuencas de interés.
- 3) Estudiar la precipitación sobre la cuenca, a modo que sea una base para la modelación matemática de precipitación – esorrentía.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es escaso y más evidente al pasar los años, ya sea a causa del aumento de su demanda o a l cambio climático, así como en el departamento de Puno y otros departamentos del Perú, para ser más precisos en la sierra peruana. paralelamente se observa que las fuentes de recurso hídrico en el transcurrir de los años han ido disminuyendo sus recursos, producto de ello se genera la insatisfacción del recurso hídrico.

La solución al problema mencionado en el párrafo anterior, radica en el planteamiento de proyectos de desarrollo hidráulico, el cual está condicionado por la cuantificación del potencial hídrico “oferta del recurso hídrico”. El empleo de modelos matemáticos simplifica el proceso de cuantificar el potencial hídrico en cuencas que no cuentan con registro hidrométricos, por lo que su uso es cada vez más consecuente, es el caso del modelo

determinístico y estocástico de Lutz Scholz, el cual utiliza un número reducido de parámetros, convirtiéndose en un modelo simple y eficiente para su aplicación en cuencas con escasa información hidrométrica.

“La intendencia de recursos hídricos, (ex dirección general de aguas y Suelos) del INRENA (instituto nacional de recursos naturales) el 2001, inicia con estudios hidrológicos en diversas cuencas del Perú, con el propósito de conocer el potencial de sus afluentes” (Autoridad nacional del agua [ANA], 2010). Como son las cuencas de los ríos Cañete, Chancay-Huaral, Chili, Caplina, Ramis, Pisco – Chincha, Yauca –Acari, etc.

Percibido la necesidad de conocer y brindar información valiosa para el ordenamiento y gestión de los recursos hídricos; se procura suministrar información primaria, con base a los estudios y trabajos de campo realizados. Los resultados que suministre el presente proyecto denominado; “GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LA CUENCA DEL RÍO COATA UTILIZANDO EL MODELO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ”, cederá información necesaria para optimizar tiempo en la gestión y el ordenamiento de los recursos hídricos dentro de cuenca del Rio Coata y la Sub Cuenca del Rio Lampa. “El modelo calibrado servirá para la generación de caudales medios mensuales sintéticos en el cauce de la cuenca, tomando en cuenta los cambios climáticos y meteorológicos en el régimen de precipitación” (Ttimp, 2012, p. 05).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Consciente de lo valioso que es el conocimiento de la oferta del recurso hídrico de una cuenca, el modelo se desarrolló tomando en consideración los parámetros físicos y meteorológicos de la cuenca en estudio. “Los cuales se hallan a través de mediciones cartográficas y mediciones de campo; los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención de la cuenca” (Ttimp, 2012, p. 27).

Dentro de los modelos de precipitación escorrentia el modelo de Lutz Scholz es el mas aplicado en estudios hidrológicos que tienen como objetivo determinar caudales sintéticos, el cual fue desarrollado por el experto Lutz Scholz, como afirma Douglas et al. (2012) “Fue desarrollado por el Ing. Lutz Scholz para las cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de la cooperación técnica de la República de Alemania con el Perú, a través del proyecto Plan Meris II”. (p. 02). El modelo tiene una ordenación mixta, que adopta una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales del año promedio apoyado en el balance hídrico de los modelos determinísticos, y una estructura estocástica para la generación de las series extendidas de caudal, ello se apoya en los procesos Markovianos del modelo estocástico.

“Los modelos Precipitación-Escorrentía más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema y las salidas del mismo (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y aporte a los acuíferos), reproduciendo simplifícadamente el ciclo hidrológico” (Huisa, 2003, p. 30).

2.1. ANTECEDENTES

La aplicación del modelo determinístico estocástico LUTZ SCHOLZ para la determinación de caudales medios mensuales tiene dentro de sus antecedentes más recientes los siguientes trabajos.

Sarango y sus colaboradores, aplicaron el modelo de precipitación Escorrentia de Lutz Scholz en un trabajo de Investigación denominado, Determinación del Rendimiento Hídrico en la Cuenca alta del río Grande en Puno, donde se menciona que uno de los problemas que afecta a la biodiversidad del valle (Valle del Río grande) y el Lago Titica Simultáneamente, es la intensiva actividad minera relacionada con la explotación del Oro en la zona de Ananea, el cual provoca un impacto ambiental negativo en toda la extensión de la cuenca. Plantea también que una forma de disminuir este impacto negativo es con la construcción de una presa que almacene y retenga los sedimentos que produce dicha actividad, para lo cual aplico un modelo de precipitación escorrentia en la cuenca alta de río Grande, para determinar los caudales medios mensuales, así como también utilizo las estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca alta del río Grande como son las estaciones de Ananea, Putina y Cuyo cuyo, utilizo también la delimitaciones de la cuenca del Río Ramis realizadas por el ministerio de salud. Los resultados muestran que la Extensión de la cuenca del Río Grande en la Zona de Ananea es de 316.3 Km², así como también el investigador pudo determinar un caudal promedio anual de 3.23 m³/s y un volumen promedio anual es de 100.07 MMC. En el sitio de emplazamiento de la presa a implementar. Además se menciona la eficiencia del modelo matemático de Lutz Scholz para determinar el rendimiento hídrico superficial, a partir de datos de la precipitación mensual en cuencas que carecen de registros de caudales medios mensuales y con poca información hidrometeorológica, como es el caso de la cuenca alta del río Grande, zona de Ananea. (Sarango et al., 2012).

Tenemos también a Ttimpo, quien aplicó el modelo hidrológico de Lutz Scholz en un trabajo de grado denominado, Generación de Descargas medias mensuales aplicando el modelo Lutz Scholz para la sub Cuenca del Río Azangaro, donde menciona también que uno de las limitaciones que se puede encontrar en la mayoría de proyectos de Riego, es el conocimiento de la oferta hídrica en puntos de interés donde se pretende aprovechar y gestionar los recursos hídricos, el conocimiento de la oferta hídrica es determinante para el proceso de diseño de dichos proyectos, además utilizó El modelo Hidrológico de precipitación Escorrentía de Lutz Scholz para la determinación de caudales medios mensuales, así como también se utilizó la información de 10 estaciones meteorológicas como son la Estación de Ananea, Crucero, Antauta, Nuñoa, Orurillo, Progreso, Muñani, Azangaro, Putina y Arapa. Y los resultados para la sub Cuenca del Río Azangaro son las siguientes, la precipitación Areal para la sub cuenca es de 708.9 mm/año, la evapotranspiración potencial anual es de 1347.8 mm y la retención de la cuenca es de 20 mm/año así como también un caudal anual de 37.91 m³/s generada con el modelo de Lutz Scholz. El investigador concluye en el trabajo de grado, que al realizar la correlación lineal entre los caudales generados mediante el modelo Lutz Scholz para un año promedio y los caudales aforados en el puente azangaro, se obtiene un coeficiente de correlación del 91 %. Por lo cual recomienda usar la metodología y el Modelo hidrológico de Lutz Scholz en otras cuencas del Altiplano. (Ttimpo, 2012).

Una investigación menos reciente es lo que hizo Tito, quien aplicó el modelo matemático de Lutz Scholz en la sub cuenca del río Ayaviri en un trabajo de grado denominado Calibración del Modelo Lutz Scholz en la Sub Cuenca del Río Ayaviri, con el objetivo de determinar los parámetros óptimos que minimicen la diferencia entre los caudales Observados y generados por el modelo. Mostrando resultados de los parámetros para la sub cuenca del río Ayaviri de la siguiente manera: el coeficiente de escorrentía $C = 46\%$, y una

retención de la cuenca $R = 73 \text{ mm/año}$. Concluye el investigador, que los caudales generados con el modelo matemático muestran una buena similitud con los caudales observados, por tanto el modelo es válido para su uso en la generación de caudales medios mensuales del río Ayaviri. Recomienda también el investigador implementar a las sub cuencas con programas de medición de caudales. (Tito, 2010).

Finalmente tenemos la investigación de Nina, quien aplicó el modelo de Lutz Scholz en un trabajo de grado denominado “Balance hidrológico de la cuenca del río Huancané” con el objetivo de determinar el balance hidrológico de la cuenca del río Huancané a nivel de flujo superficial, así como también establecer las ofertas y demandas hídricas de la cuenca del río Huancané a nivel de sub cuencas, como son Muñani, Pongongoni, Tuyto, y la sub cuenca intermedia que es la subcuenca Huancané. Los resultados que se obtuvieron al realizar dicha investigación muestran una oferta Anual de recursos hídrico de 584.54 mm^3 . Presentando una demanda anual en la cuenca de 56.41 mm^3 . Por otro lado, los parámetros del modelo matemático de Lutz Scholz, como es la retención de la cuenca es de 55.00 mm/año y el coeficiente de escurrimiento de 23% . (Nina, 2008).

Los investigadores mencionados anteriormente en este trabajo de grado obtuvieron resultados satisfactorios aplicando el modelo de Lutz Scholz, por ende, la presente investigación aplicará el modelo recomendado en la cuenca del río Coata para alcanzar sus objetivos.

2.2. COMPONENTES METEOROLÓGICOS

La meteorología. “Ciencia que estudia la atmósfera, pretende establecer la interrelación que existe entre los parámetros del ciclo hidrológico, Viento, precipitación, temperatura, presión y humedad (...), involucra también consideraciones geográficas (...), ya que alteran el carácter y distribución del comportamiento meteorológico sobre la superficie terrestre”

(Tarazona, 2005, p. 03). Los componentes mencionados establecen el rigor de la precipitación, así como la respuesta de la cuenca consecuentemente influyendo en su distribución en el espacio y en el tiempo.

Por otro lado, Cahuana y Yugar afianza el concepto de que los. “Factores que intervienen en la evaporación, la radiación solar es más importante, ya que varía con la latitud, época del año, hora del día y condiciones de nubosidad, los factores en consideración son: radiación solar, temperatura del aire, viento y presión atmosférica” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 82).

2.3. CONSIDERACIONES EN HIDROLOGÍA

“Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (Ttimp, 2012, p. 7).

Hidrología como la ciencia que estudia el recurso hídrico (agua), en cuanto a su existencia, distribución, propiedades físicas y químicas, influencia sobre el medio ambiente y relación que hay con los seres vivos. Indica también que el entendimiento de la hidrología dentro de una cuenca es de suma importancia debido a que en dichas cuencas se encuentran diferentes usos del suelo y consumo urbano, y por tanto la calidad y la cantidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico. (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013, p. 37)

2.4. EL CICLO HIDROLÓGICO Y SUS COMPONENTES

El concepto de que el ciclo hidrológico es un. “Fenómeno natural que comprende la circulación del agua, entre la superficie terrestre y la atmosfera, inducida básicamente por la energía solar y la energía gravitacional” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 5). Además, el ciclo

hidrológico es un grupo de cambios que experimenta el agua en la naturaleza tanto en su estado sólido, líquido, gaseoso, como en su forma de agua superficial y agua subterránea.

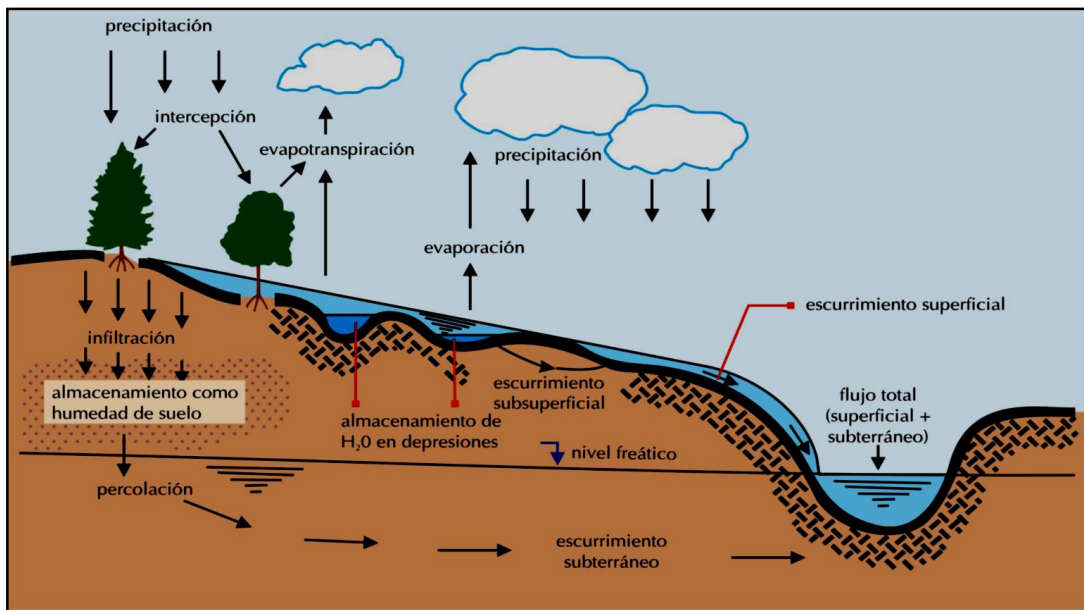


Figura 1. El ciclo hidrológico a nivel de cuenca.

Fuente: internet – [www. Google.com/imgresciclohidrol](http://www.Google.com/imgresciclohidrol).

2.4.1. Precipitación

La precipitación. “Es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre, incluye a la lluvia, nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como el granizo y nevisca” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 41).

2.4.2. Intercepción

“Es la precipitación depositada o retenida en la cobertura vegetal, no tiene mayor importancia en las avenidas grandes, sin embargo, debido a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual” (Tarazona, 2005, p. 10).

2.4.3. Evapotranspiración

Es la “Cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas; dicho de otra forma: es la pérdida de agua debida a la

transpiración de la vegetación más la evaporación del suelo” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 80).

2.4.4. Infiltración

Se le conoce como él. “Proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores; producto de la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 106).

2.4.5. Almacenamiento

El almacenamiento corresponde a las aguas subterránea que provienen de la precipitación. y los que le dan forma son la infiltración o percolación de corrientes y lagos. “La percolación directa es el proceso más efectivo de la recarga del agua subterránea y posteriormente fluir más tarde en forma de manantiales o llegar a las corrientes como escurrimiento a los cauces como gasto base o gasto de agua subterránea” (Tarazona, 2005, p. 11).

2.4.6. Escorrentía

El escurrimiento o escorrentía es parte del ciclo hidrológico y está definida como él. “Agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca” (Tarazona, 2005, p. 12).

2.5. EL CICLO HIDROLÓGICO COMO SISTEMA

“Un sistema es una estructura, mecanismo, esquema o procedimiento, real o abstracto, que relaciona en el tiempo y/o espacio una causa, entrada o estímulo de materia, energía o información con un efecto, salida o respuesta de materia, energía o información” (Tarazona, 2005, p. 18).

2.5.1. El sistema hidrológico

“Los fenómenos hidrológicos son muy complejos por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos, sin embargo, a falta de una concepción perfecta se puede representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema” (Tarazona, 2005, p. 17).

Tomando en consideración el texto del párrafo anterior, un sistema podría considerarse como un conjunto de partes que interactúan como un todo por lo que. “El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía y, las otras fases del ciclo; estos componentes pueden reagruparse en subsistemas separadamente y combinar los resultados de acuerdo con las interacciones entre ellos” (Tarazona, 2005, p. 17).

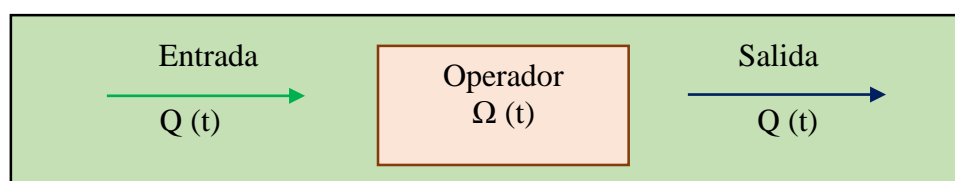


Figura 2. Esquema del Sistema Hidrológico.

Fuente: (Tarazona, 2005) - Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de lutz scholz.

2.5.2. Modelos hidrológicos

Conceptualiza al sistema hidrológico Nina, (2008) “A una representación sencilla de un sistema complejo referenciando las analogías entre sus variables y parámetros, así también sus ingresos y salidas son variables hidrológicas mensurables, y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y salidas.” (p. 15). Los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías.

Modelos físicos: Corresponde a una representación física de un modelo a escala. “La que está representada en escala reducida, tal como un modelo hidráulico del vertedero de una presa; de la misma manera se incluye en los modelos análogos, los cuales usan otros sistemas físicos de características similares a las del prototipo” (Tarazona, 2005, p. 18).

Modelos Abstractos: Que en este caso corresponde a la representación matemática del sistema. “La operación del sistema está puntualizada teniendo como guía un conjunto de ecuaciones que comparan las variables de ingreso y escape del sistema hidrológico, estas variables pueden depender de las propiedades del espacio y la variación del tiempo” (Tarazona, 2005, p. 18). Pueden tener también surgir de variables probabilísticas o aleatorias, los cuales no adoptan un valor definitivo en un punto particular ubicada en el espacio y el tiempo, se puede decir que el comportamiento está gobernado por las leyes de la probabilidad.

2.5.3. Modelos matemáticos en hidrológica

“Un modelo hidrológico provee una expresión cuantitativa de observación, análisis y predicción de las interacciones variables en el tiempo de varios procesos hidrológicos, para el uso en: Planeamiento, diseño, operación y administración de estructuras hidrológicamente relacionadas” (Ttimpo, 2012, p. 10).

Los modelos hidrológicos. “Son representaciones simplificadas de los sistemas hidrológicos reales, con el cual podemos estudiar la relación causa-efecto de una cuenca a través de los datos de entrada y salida, y lograr un mejor entendimiento de los procesos físicos hidrológicos” (Ttimpo, 2012, p. 11). Los cuales participan en el comportamiento de una cuenca.

Chavarri, (2005) citado por Ttimpo, (2012). “menciona que los modelos matemáticos en hidrología se clasifican en” (p. 13).

- a) Modelo Determinístico. – Comprende al “Comportamiento consecuente a establecer analogías cuantitativas de causa-efecto, empleando una analogía directa con el objetivo de obtener una respuesta adecuada a un requerimiento, empleando una ecuación

empírica o por medio de un operador desarrollado partiendo de criterios e hipótesis experimentales” (Ttimpo, 2012, p. 13).

Los modelos determinísticos. “Se emplean cuando la información sea escasa, lo que es muy frecuente en obras hidráulicas, donde uno tiende a tomar decisiones de reconstruir indirectamente la evolución del escurrimiento superficial partiendo del conocimiento de los eventos de lluvia diaria” (Ttimpo, 2012, p. 13). Información que se dispone generalmente.

- b) Modelos Estadísticos. – “Tienen como punto de fundación los métodos y las técnicas estadísticas para hacer notar sus analogías que existen entre las entradas y salidas, manteniendo la analogía con el interés secundario de los procesos físicos del sistema” (Ttimpo, 2012, p. 13). Su aplicación para una predicción, da facultad a la explotación racional de la información recabada, así también mencionar que su empleo es posible cuando se cuenta con una data suficientemente extensa.

“Los modelos estadísticos propiamente dichos se clasifican en modelos de regresión y correlación, en modelos probabilísticos y en modelos estocásticos”. (Ttimpo, 2012, p. 13).

- c) Modelos Probabilísticos. – Estos modelos emplean nociones de frecuencia en su análisis del comportamiento hidrológico. “La información utilizada para la calibración debe ser independiente del tiempo. Como la muestra disponible para caracterizar la población (...), en la extrapolación de resultados se debe considerar conceptos de error probable que el modelo debe cuantificar y considerar” (Ttimpo, 2012, p. 14).
- d) Modelos Estocásticos. – “La información empleada es considerada como históricos a manera de secuencia cronológica. Este tipo de modelos se utiliza frecuentemente para

la predicción a corto plazo y a largo plazo, pero es necesaria la comparación de las series observadas y simuladas” (Ttimpo, 2012, p. 14).

2.5.4. Modelo Propuesto por Lutz Scholz -1980

Afirma Lutz Scholt (1980), citado por Ttimpo, (2012). Que el modelo hidrológico que propone es determinístico y estocástico, podría decirse que es una mezcla ya que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y un esquema estocástico que genera series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico). Ya conocido la carencia y ausencia de registros de caudales que representa un problema en la sierra peruana, el modelo fue desarrollado considerando parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, los cuales pueden ser obtenidos a mediante mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más indispensables del modelo son los coeficientes para la que ayudan a determinar la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas. (p. 27)

“Recomienda Lutz Scholt, seguir los procedimientos establecidos e implementados del modelo, los cuales se detallan a continuación” (Ttimpo, 2012, p. 27).

1. Calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escurrimiento promedio.
2. Establecer un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica.
3. Calibrar el modelo y generar los caudales extendidos mediante un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes, con el caudal del mes anterior.

2.6. LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica se define como una unidad morfológica integral que. “Se define en un territorio donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce o unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria de las aguas, las cuales fluyen gal mar a través de una red de cauces principales” (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013, p. 6).

“En una cuenca hidrológica, además se incluye toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo, conformando un sistema integral, constituyendo un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad” (Ttimo, 2012, p. 9). Su estabilidad de sus componentes estructurales son propiedades y formas de comportamiento del sistema.

2.6.1.Subcuenca

“Área determinada en función del grado de ramificación de los cursos de agua, correspondiente a la subcuenca, (...), El área referencial para diferentes unidades hidrográficas, la subcuenca adopta un área que oscila entre los 5000 a 50000 has” (Nina, 2008, p. 15).

2.6.2.Microcuenca

Del mismo modo que la subcuenca, se define como al área determinad en función del grado de ramificación de los cursos de agua. “Microcuenca son las que comprenden los cursos de agua de 1º, 2º y 3º orden. En tanto al área referencial para las diferentes unidades hidrográficas, a la Microcuenca se le da un área que oscila entre los < 5000 has” (Nina, 2008, p. 15).

2.7. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

“El Análisis exploratorio de datos (AED) surge de los trabajos realizados por Tukey (1977), desde entonces su uso se ha venido incrementando, ya que se ha comprobado que el examen previo de los datos es un paso necesario” (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2006, p. 12). El proceso del análisis demanda tiempo, y generalmente es descuidado por los analistas de datos.

Se recomienda que al utilizar registros históricos es indispensable el proceso de verificación como se indica. “antes de iniciar cualquier análisis utilizar los datos observados en las estaciones pluviométricas o hidrométricas, hay necesidad de realizar ciertas verificaciones de los valores de precipitación o caudal” (Timpó, 2012, p. 21).

Los pasos recomendados por el modelo. “Para tratar con datos hidrometeorológicos se presenta en un esquema, donde se visualiza que (...), el estudio es denominado fase preliminar, quien contempla las siguientes actividades: Análisis de consistencia, completación de datos faltantes y extensión de datos” (Tarazona, 2005, p. 22).

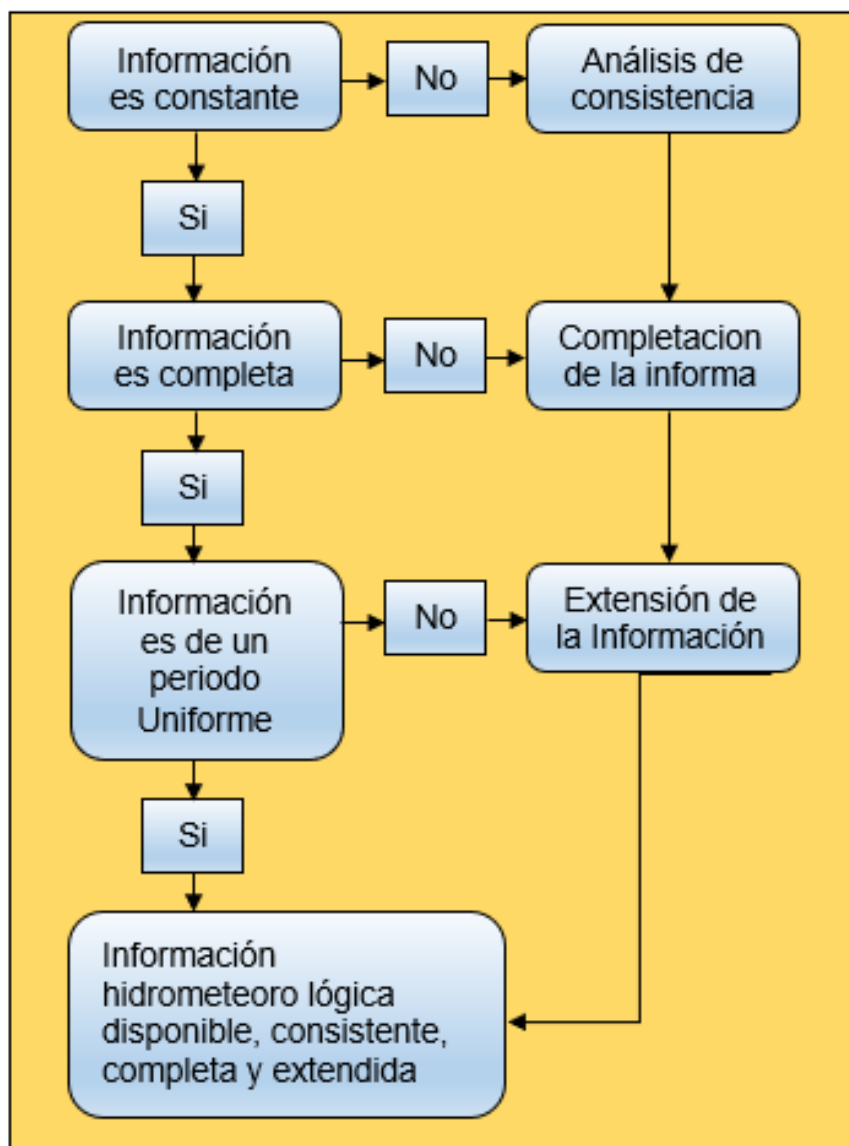


Figura 3. Diagrama de flujo para el tratamiento de datos hidrometeorológicos.

Fuente: (Tarazona, 2005) - Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de lutz scholz.

2.7.1. Análisis de consistencia de la información

“Los datos hidrológicos, están constituidos por una larga secuencia de observaciones de alguna fase del ciclo hidrológico obtenidas para un determinado lugar. No obstante que un registro largo sea lo deseable está condicionado” (Ttimp, 2012, p. 21). Es necesario tener en cuenta que cuanto más extenso es el periodo de registro, crese la posibilidad de error.

“La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas representa un aspecto importante en estudios hidrológicos. Cuando no identifican, elimina o ajustan a las condiciones futuras (...), puede introducirse errores significativos en los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados” (Tarazona, 2005, p. 22).

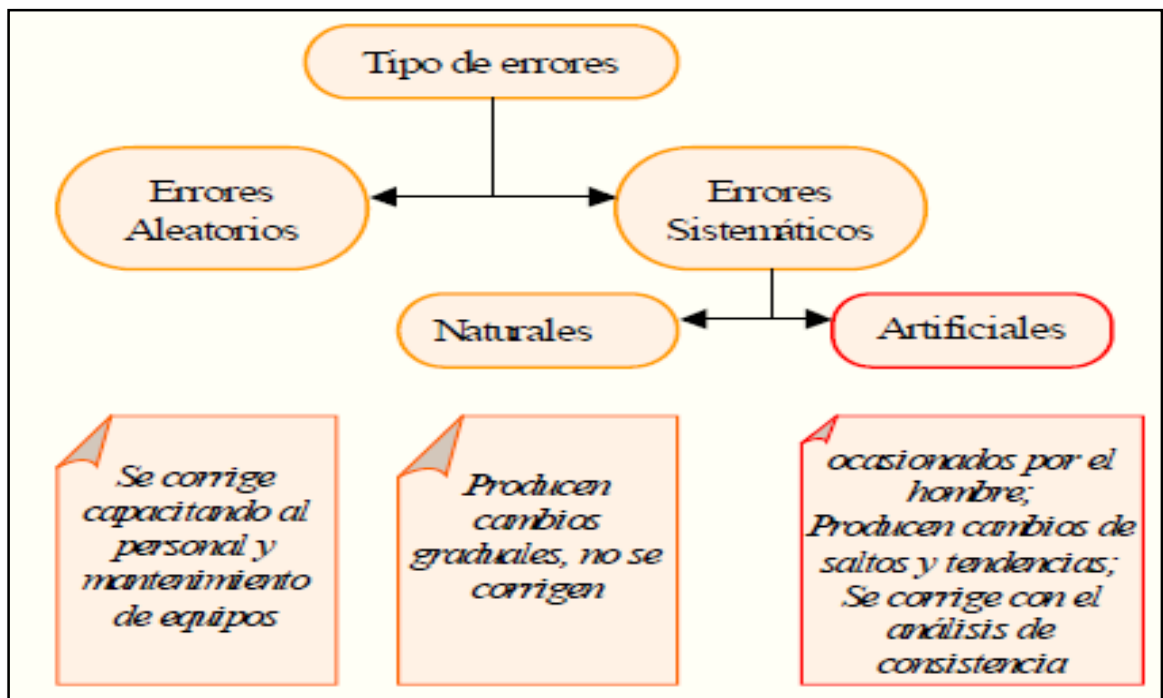


Figura 4. Diagrama de errores aleatorios y errores sistemáticos.

Fuente: (Tarazona, 2005) - Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de lutz scholz.

2.7.2. Análisis de hidrogramas

“Esta 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” (Ttimp, 2012, p. 21).

“Este análisis se realiza para detectar e identificar la inconsistencia de la información pluviométrica en forma visual, e indicar el período o los períodos en los cuales los datos son dudosos” (ANA, 2010, p. 121).

“Los periodos dudosos se pueden 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 gráficos o hidrogramas” (Callata, 2014, p. 32).

2.7.3. 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” (Callata, 2014, p. 32). El método se debe aplicar para encontrar errores sistemáticos en regiones homogéneas definidas.

“Este método requiere para su utilización, contar con una estación pluviométrica confiable o patrón, la cual se contrasta gráficamente con una estación cuyos registros merecen la duda de que pueda existir algún nivel de error sistemático” (UNESCO, 2006, p. 24).

El método está basado en el hecho de que “Una cantidad acumulada ploteada contra otra cantidad acumulada durante el mismo período, debe ser una línea recta siempre que las cantidades sean proporcionales, la inclinación de la recta representa la constante de proporcionalidad” (Ttimp, 2012, p. 22).

2.7.4. Análisis de saltos

“Son formas determinísticas transitorias, que permiten a una serie hidrológica periódica o no periódica pasar de un estado a otro como respuesta a cambios producto del hombre, debido al continuo desarrollo del agua o a cambios naturales que pueden ocurrir” (Tarazona, 2005, p. 25).

“Los saltos se presentan en la media y la desviación estándar y otros parámetros. Pero generalmente el análisis más importante es en los dos primeros” (Callata, 2014, p. 33)

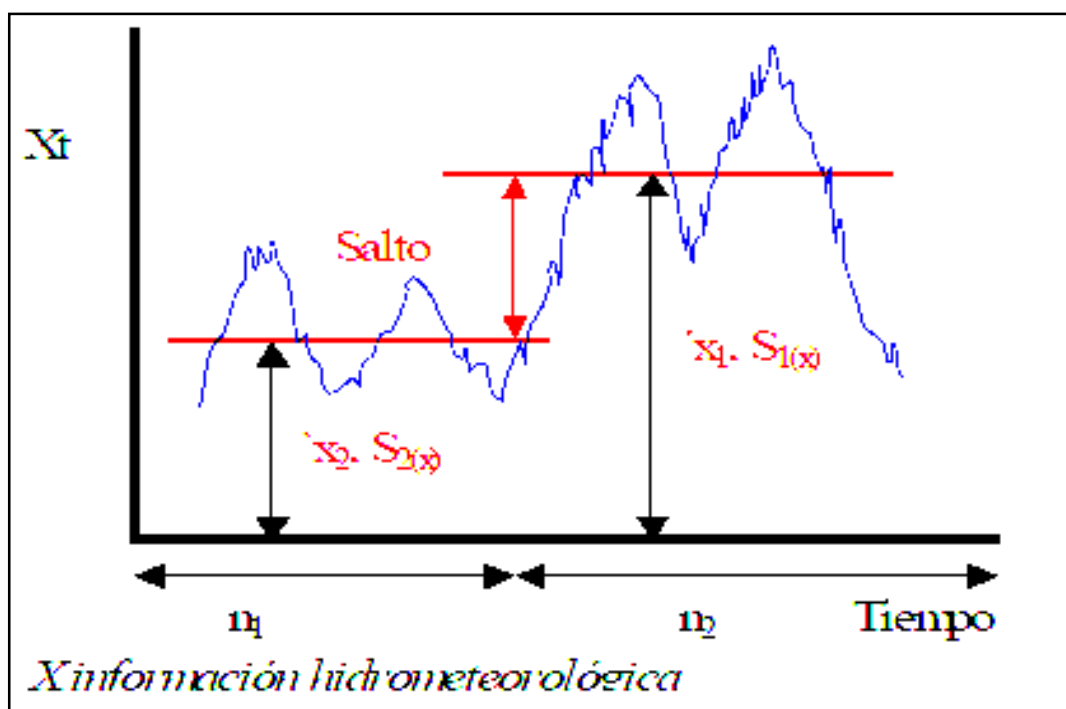


Figura 5. Serie con componente transitoria en forma de salto.

Fuente: (Tarazona, 2005) - Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de lutz scholz.

Al realizar el análisis estadístico 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 $= 0.05$) 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, aun 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. (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2007).

2.7.5. Análisis de tendencia

“Una vez analizado los Saltos tanto en la media y desviación estándar de la información pluviométrica se procedió a evaluar las Tendencias en los dos parámetros determinísticos. Para saber si la tendencia es significativa o no” (ANA, 2010, p. 134). Por recomendación de la UNESCO se analizan en el coeficiente de correlación "R" mediante pruebas estadísticas como el estadístico “T”, de Students.

“Las tendencias son componentes determinísticos transitorios que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro de la misma, que afecta la distribución y dependencia de las series” (Tarazona, 2005, p. 32).

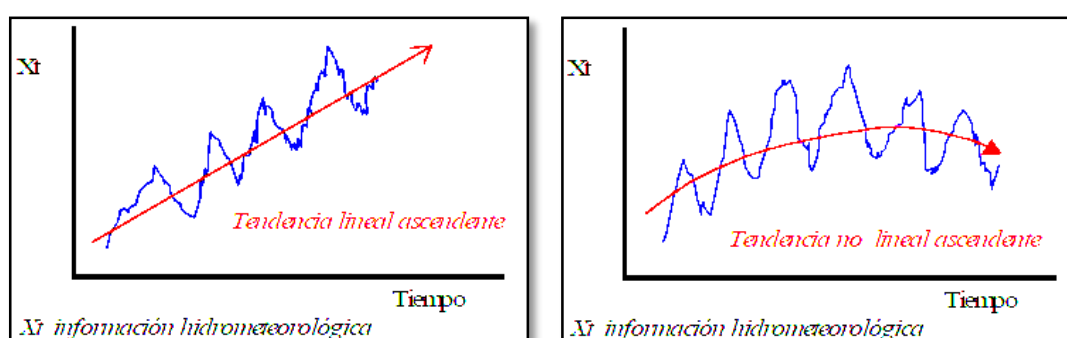


Figura 6. Serie con componente transitoria en forma de Tendencia lineal ascendente y Tendencia no lineal ascendente

Fuente: (Tarazona, 2005) - Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de lutz scholz.

2.8. COMPLETACIÓN Y/O EXTENSIÓN DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

“La completación y extensión de la información pluviométrica se realiza con el fin de obtener una serie completa y de un período uniforme” (ANA, 2010, p. 136).

“La extensión de datos es un proceso que consiste en llenar datos faltantes. Y la estación de la información es el proceso de transferencia de datos desde una estación con “largo” periodo de registro con otro “corto” periodo de registro” (Callata, 2014, p. 35).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución del presente trabajo de grado se ha recurrido a información básica como es la información cartográfica, hidrometeorológica (hidrometría, pluviometría y climatología) así como también a estudios anteriores realizados dentro de la Cuenca, que a continuación se detallará cada una de estas informaciones en forma breve.

3.1. MATERIALES

3.1.1. Equipos y materiales para el procesamiento

Los instrumentos y materiales aplicados para el análisis de la información para que posteriormente sean impresos son:

- Hardware: Computadora, Impresora y accesorios.
- Software: Office 2010, Auto CAD Civil v-2014, Auto CAD v-2014, ArcGis v10.5.
- Materiales de Escritorio.

3.1.2. Información cartográfica

Se recurrió al uso de la información cartográfica existente y necesaria para el progreso del proyecto y cumplimiento de los objetivos propuestos, se destaca inmediatamente los siguientes:

- Carta nacional que encierra la cuenca del Río Coata a escala 1/1000,000, el cual ofrece el Instituto Geográfico Nacional (IGN) digitalizado bajo el entorno de SIG con equidistancia mínima entre curvas de nivel de 50 m, de los cuales se utilizó las hojas 31t, 31u, 31v, 31x, 31y, 32t, 32u, 32v, 32x, 32y.
- Información cartográfica Complementaria existente, como es el mapa de delimitación administrativa de la Cuenca del Río Coata.

3.1.3. Información pluviométrica e hidrométrica

La información meteorológica se obtuvo del proyecto especial binacional Lago Titicaca “PELT” y es propiedad del servicio nacional de meteorología “SENAMHI”, se ha utilizado el registro de 17 estaciones pluviométricas, las cuales se presentan en la tabla 1, cabe mencionar también que el periodo de registro de 51 años entre 1967 – 2017, el cual se muestra en la tabla 2.

Tabla 1.
Número de Estaciones/Cuenca.

Cuenca	N.º Estaciones
Coata	06
Ramis	04
Titicaca	03
Alto Tambo	01
Chili	02
Colca	01
TOTAL	17

El punto de aforo (estación Hidrométrica), está ubicada en el puente Unocolla, con coordenadas UTM N 8285652 m., E 385973 m., y una Elevación de Z = 3,829 msnm. En la actualidad viene funcionando sobre el río Coata registrando los caudales del río Coata en forma diaria de lo cual se anota el caudal promedio diario y el caudal máximo promedio mensual, esta estación viene siendo operada por el SENAMHI Puno

Tabla 2.

Estaciones Pluviométricas – cuencas del rio Cabanillas y Lampa y estaciones de apoyo.

ESTACION/ZONA	CUENCA	TIPO DE ESTACION	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA			INSTITUCION RESPONSABLE
			DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	
Estación Llalli	Ramis	CO.110761	Puno	Melgar	Llallí	14° 56' 13.21"	70° 53' 09.59"	3980	SENAMHI
Estación Ayaviri	Ramis	CO.114038	Puno	Melgar	Ayaviri	14° 52' 22.80"	70° 35' 34.79"	3928	SENAMHI
Estación Pucara	Ramis	CO.115046	Puno	Lampa	Pucara	15° 02' 42.2"	70° 21' 59.9"	3900	SENAMHI
Estación Pampahuata	Coata	CO.115027	Puno	Lampa	Paratia	15° 29' 00.7"	70° 40' 32.8"	4400	SENAMHI
Estación Santa Lucia	Coata	CO.s/c	Puno	Lampa	Santa lucia	15° 42' 2.10"	70° 36' 32.4"	3980	SENAMHI
Estación Cabanillas	Coata	CO.115033	Puno	San Roman	Cabanillas	15° 38' 21.0"	70° 20' 47.6"	3892	SENAMHI
Estación Mañazo	Titicaca	CO.115051	Puno	Puno	Mañazo	15° 47' 56.8"	70° 20' 22.6"	3920	SENAMHI
Estación Lampa	Coata	CO.100081	Puno	Lampa	Lampa	15° 21' 40.17"	70° 22' 27.12"	3892	SENAMHI
Estación Juliaca	Coata	CO.115060	Puno	San Roman	Juliaca	15° 26' 39.02"	70° 12' 28.32"	3826	SENAMHI
Estación Taraco	Ramis	CO.115048	Puno	Huancane	Taraco	15° 10' 10.5"	69° 58' 11.6"	3820	SENAMHI
Estación Capachica	Titicaca	CO.100021	Puno	Puno	Capachica	15° 36' 16.69"	69° 49' 55.20"	3828	SENAMHI
Estación Puno	Titicaca	CO.100110	Puno	Puno	Puno	15° 49' 33.61"	70° 00' 43.22"	3820	SENAMHI
Estación Quillisani	Coata	CO.s/c	Puno	Lampa	Paratia	15° 23' 00.0"	70° 45' 00.0"	4600	SENAMHI
Estación Ichuña	Alto Tambo	CO.100059	Moquegua	Moquegua	Sanchez Cerro	16° 07' 58.80"	70° 33' 07.20"	3800	SENAMHI
Estación Condorama	Colca	CO.s/c	Arequipa	Caylloma	Callalli	15° 24' 01"	71° 18' 01"	4160	SENAMHI
Estación Crucero Alto	Chili	CO.s/c	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	15° 46' 1.19"	70° 55' 01.21"	4470	SENAMHI
Estación Imata	Chili	CO.765	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	15° 50' 12"	71° 5' 16"	4519	SENAMHI

CO: Climatológica Ordinaria CP: Climatológica Principal PLU: Pluviométrica.

3.2. METODOLOGÍA

Para una mejor aplicación del modelo se aplica la recomendación del modelo “La aplicación del modelo de precipitación descarga de Lutz Scholz comprende tres etapas bien definidas y se presenta en el siguiente organigrama” (Tarazona, 2005, p. 77).

Tabla 3.
Metodología del modelo de Lutz Scholz.

Modelo de Lutz Scholz		
Análisis cartográfico y estadístico de la información	Aplicación de los modelos determinísticos parciales	Generación de caudales para un periodo extendido
<ul style="list-style-type: none">• Análisis cartográfico de la cuenca• Análisis y regionalización de la información hidrometeorológica.	<ul style="list-style-type: none">• Precipitación media• Coeficiente de escurrentía• E.T.P• Precipitación efectiva• Fundamentos del balance hídrico• Periodos del ciclo hidrológico• Calculo de la retención en la cuenca• Gastos de la retención y abastecimiento de la retención• Caudal para el año promedio	<ul style="list-style-type: none">• Generación con el modelo marcoviano de primer orden• Validación mediante pruebas estadísticas a la media y desviación estándar

Fuente: (Tarazona, 2005) - Generación de descargas mensuales en sub cuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de lutz scholz.

3.2.1. Análisis cartográfico y estadístico de la información

“En esta etapa de la metodología el objetivo es el de analizar y mostrar la terminología e índices con los cuales se precisa y estudia a una cuenca hidrográfica, para describir sus principales características físicas, los cuales condicionan su comportamiento hidrológico” (Tarazona, 2005, p. 77).

“En esta etapa el modelo caracteriza la cuenca desde su fisiografía, para lo cual adopta los métodos clásicos de la hidrología los cuales son” (Tarazona, 2005, p. 78).

Área total de la cuenca

“Normalmente su valor se determina con el planímetro o con programas de cómputo como el ArcView, arc info, AutoCad, entre otros y se expresa en km² o hectáreas” (Tarazona, 2005, p. 78).

Perímetro total de la Cuenca

“Es el borde del contorno de la cuenca (limite exterior) la cual tiene una forma Irregular de la cuenca proyectada en un plano horizontal. Obtenida una vez delimitada la cuenca” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 18).

Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

“La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, por lo que se han señalado una serie de parámetros, los cuales sirven de referencia para la codificación y comparación de cuencas” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 19). Según el autor menciona, que para un adecuado y optimo estudio de las cuencas se han puntualizado parámetros que a continuación se describen.

Parámetros de Forma

“Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas)” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 19).

a) Índice de compacidad o coeficiente de gravelius

“Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo con la propiedad de que tenga la misma área que la cuenca” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 19).

$$I_c = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

“Si $I_c = 1$ la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 19).

b) Factor de forma

“Fue definido por Horton, “como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal.” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 20).

$$F_f = \frac{B}{L_c} \qquad B = \frac{A}{L_c}$$

Donde:

B = Ancho promedio de la cuenca.

A = Area de la cuenca, (Km²).

Lc = Longitud de la cuenca.

c) Relación de circularidad

“Relación de circularidad, (Rci), conocido tagmbién como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 21).

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

Donde:

A = Área de la Cuenca.

P = Perímetro de la Cuenca.

Cuando $R_{ci}=1$, la cuenca es circular y si $R_{ci}=0.785$, la cuenca es cuadrada.

d) Rectángulo Equivalente

El rectángulo equivalente está definido por algunos autores como. “Transformación geométrica, que permite representar la cuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene mismo, área, perímetro, índice de compacidad e igual distribución de alturas (igual curva hipsométrica), e distribución de terreno” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 21). En cuanto a sus condiciones de cobertura.

Parámetros de relieve

“Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son: pendiente de la cuenca, índice de pendiente, curvas Hipsométricas, histograma de frecuencias altimétricas y relación de relieve” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 23).

Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca

“La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por donde fluyen las aguas del escurrimiento superficial, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca, la red de drenaje de una cuenca está formada por el cauce principal y cauces tributarios” (Cahuana & Yugar, 2009, p. 30).

Sistema Hidrográfico

“En el Perú existe tres vertientes hidrográficas, la vertiente del Lago Titicaca, océano Atlántico y océano pacífico, determinadas estas últimas por la cordillera de los andes (divisoria continental de las aguas)” (ANA, 2010, p. 99).

“La cuenca del río Coata se ubica hidrográficamente en la vertiente del lago Titicaca. Esta tiene un área de 56,270 Km², en el cual existen cinco vertientes (Ramis, Coata, Ilave, Huancané y Suches), que desembocan en el Lago Titicaca” (ANA, 2010, p. 100).

“La cuenca Coata (...) descrita está compuesta por 02 sub cuencas, afluentes Ríos Cabanillas y Lampa, estas tienen un área de drenaje total, hasta la confluencia con el río Lampa de 2,888.61 km² lo que equivale al 58.85% del Coata” (ANA, 2010, p. 100).

3.2.2. Aplicación de los modelos determinísticos parciales

“En esta etapa el modelo toma varios modelos parciales para generar variables meteorológicas, sin embargo, no es rígido ni específica en su uso, dicha decisión es tomada en base a experiencias y el conocimiento de la fisiografía de la cuenca” (Tarazona, 2005, p. 85).

A continuación, se describen los principales modelos parciales empleados, los cuales son propuestos por el experto Lutz y algunos propuestos en base a la experiencia y el conocimiento de la zona en estudio.

Precipitación media de la cuenca

En principio antes de aplicar el modelo de LUTZ SCHOLZ, se realiza el análisis y cálculo de la precipitación media mensual que hay sobre la cuenca empleando el método de polígonos de THIESSEN, las consideraciones para el correcto empleo del método se describen a continuación:

- “Unir las estaciones más cercanas entre sí, mediante líneas rectas ploteadas en un plano de la cuenca, con ello se procurará formar triángulos, en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas” (Callata, 2014, p. 27).
- “Se realizará un trazo de líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto” (Callata, 2014, p. 27).
- “Realizado correctamente el trazo antes descrito se observará que cada estación pluviométrica quedara rodeada por las líneas rectas, las que formaran los llamados Polígonos de Thiessen” (Callata, 2014, p. 27).

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i$$

Donde:

- P_{med} = Precipitación media.
- A_t = Área total de la cuenca.
- A_i = Área de influencia parcial del Polígono de Thiessen correspondiente a la estación i .
- P_i = Precipitación de la estación i .
- n = Numero de estación tomadas en cuenta.

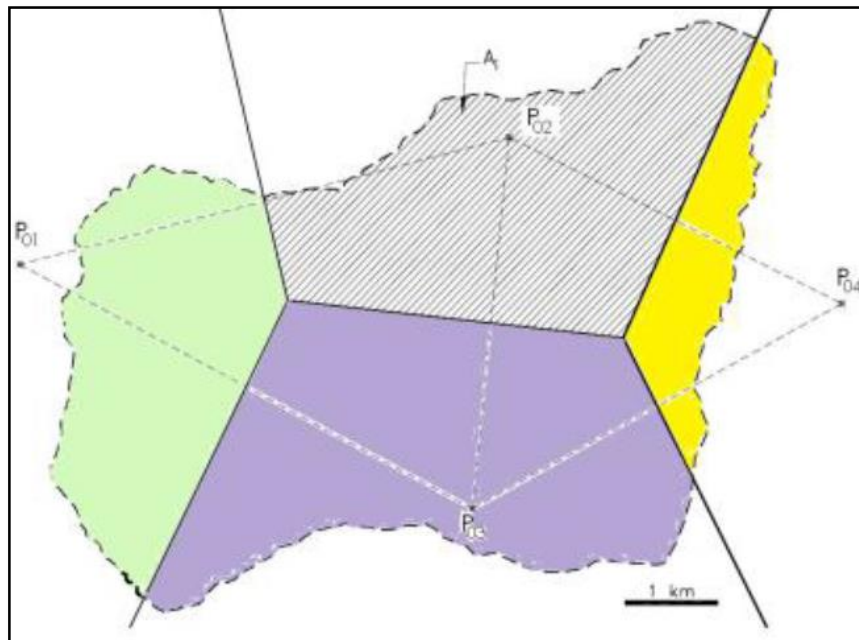


Figura 7: Método de los polígonos de Thiessen.

FUENTE: Cahuana et al, (2009) - Material De Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De La Asignatura De Hidrología Civ-233.

MODELO DETERMINÍSTICO Y ESTOCÁSTICO DE LUTZ SCHOLZ

Afirma Lutz Scholt (1980), citado por Ttimpo, (2012). Que el modelo hidrológico que propone es determinístico y estocástico, podría decirse que es una mezcla ya que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y un esquema estocástico que genera series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico). Ya conocido la carencia y ausencia de registros de caudales que representa un problema en la sierra peruana, el modelo fue desarrollado considerando parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, los cuales pueden ser obtenidos a mediante mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más indispensables del modelo son los coeficientes para la que ayudan a determinar la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas. (p. 27)

“Recomienda Lutz Scholt, seguir los procedimientos establecidos e implementados del modelo, los cuales se detallan a continuación” (Ttimpo, 2012, p. 27).

1. Calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escurrimiento promedio.
2. Establecer un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica.
3. Calibrar el modelo y generar los caudales extendidos mediante un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes, con el caudal del mes anterior.

Balance Hídrico

“Menciona que la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es la siguiente” (Tito, 2010).

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

Dónde:

CM_i	=	Caudal mensual (mm/mes).
P_i	=	Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes).
D_i	=	Déficit de escurrimiento (mm/mes).
G_i	=	Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes).
A_i	=	Abastecimiento de la retención (mm/mes).

Asumiendo que para periodos de largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir $G_i = A_i$, y. Que para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmosfera por evaporación. Reemplazamos $(P-D)$ por $(C*P)$, y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m³/segundo) la ecuación anterior se convierte en:

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

Que es la expresión básica del método racional.

Donde:

Q	=	Caudal mensual (m ³ /s).
c'	=	Coefficiente de conversión del tiempo (mes/Seg.).
C	=	Coefficiente de escurrimiento.
P	=	Precipitación total mensual (mm/mes).
AR	=	Área de la cuenca.

Coefficiente de Escurrimiento (c).

“Se denomina coeficiente de escurrimiento al cociente entre el caudal de agua que circula por una sección de una cuenca a consecuencia de un suceso lluvioso y el volumen de agua que ha precipitado sobre la misma (lluvia total)” (Ttimp, 2012, p. 28). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escorrentía superficial.

Menciona el autor que la escorrentía varía a lo largo del tiempo en función a. “Características del terreno (naturaleza, vegetación, permeabilidad, inclinación y humedad del suelo) y de la zona (temperatura, intensidad y duración de la precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y dimensiones de la cuenca)” (Ttimpó, 2012, p. 29). Así mismo indica también que los factores indicados se influyen mutuamente, siendo complicado el análisis aislado de cada uno de ellos, para ello se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L. Turc:

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

Donde:

- C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año).
- P = Precipitación Total anual (mm/año).
- D = Déficit de escurrimiento (mm/año).

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \quad L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3$$

Siendo:

- L = Coeficiente de temperatura.
- T = Temperatura media anual (°C).

“Dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escorrentía para toda la sierra, se ha desarrollado la formula siguiente, que válida para la región sur” (Ttimpó, 2012, p. 29).

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

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

Donde:

- C = Coeficiente de escurrimiento.
- D = Déficit de escurrimiento (mm/año).
- P = Precipitación total anual (mm/año).
- EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año).
- r = Coeficiente de correlación.

Evapotranspiración Potencial

“Evapotranspiración es un factor determinante en diseños de sistemas de riego, incluyendo obras de almacenamiento, conducción, distribución y drenaje. Especialmente el volumen útil de una presa para abastecer a una zona de riego depende en gran medida del uso consuntivo” (Ttimpo, 2012, p. 29).

La evapotranspiración potencial, se ha determinado por la fórmula de Hargreaves.

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

Donde:

$$RSM = 0.075(RA)\sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)} \quad FA = 1 + 0.06(AL)$$

- RSM = Radiación solar media.
- TF = Componente de temperatura.
- FA = Coeficiente de corrección por elevación.
- TF = Temperatura media anual (°F)
- RA = Radiación Extraterrestre (mm H₂O/año).
- (n/N) = Relación entre insolación actual y posible (%)
50% (estimación en base a los registros).
- AL = Elevación media de la cuenca (Km).

Para determinar la temperatura anual se toma en cuenta el valor de los registros de las estaciones y el gradiente de temperatura de -5.3 °C 1/1000 m, determinado para la sierra.

Precipitación Efectiva

Suponiendo que los caudales promedios observados pertenezcan a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención, se calcula la precipitación efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio de manera que la relación entre la precipitación efectiva total sea igual al coeficiente de escurrimiento. (Tarazona, 2005, p. 94).

“Para fines hidrológicos se toma como precipitación efectiva la parte de la precipitación total mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR (precipitación efectiva hidrológica es el antítesis de la precipitación efectiva para los cultivos)” (Tarazona, 2005, p. 94). Menciona el autor que a fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado:

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

Dónde:

PE	=	Precipitación efectiva (mm/mes).
P	=	Precipitación total mensual (mm/mes).
ai	=	Coficiente del polinomio.

La tabla 4 muestra los valores límite de la precipitación efectiva y la tabla 5 muestra los tres juegos de coeficientes, ai, que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Tabla 4.

Método de la United States Bureau of reclamation (USBR).

Precipitación total mensual (Rango)	Porcentaje del aumento (Rango).	Precipitación efectiva acumulada. (Rango)
0 – 25.4	90 – 100	22.9 – 25.4
25.4 – 50.8	85 – 95	44..5 – 49.5
50.8 – 76.2	75 – 90	63.5 – 75.4
76.2 – 101.6	50 – 80	76.2 – 92.7
101.6 – 127.0	30 – 70	83.8 – 102.9
127.0 – 152.4	10 – 40	86.4 – 118.1
> 152.4	0 – 10	85.4 – 120.6

Fuente: PLAN MERIS II Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – LUTZ SCHOLZ.

Límite superior para la precipitación Efectiva:

Curva I : PE = P – 120.6 para P > 177.8 mm/mes

Curva II : PE = P – 86.4 para P > 152.4 mm/mes

Curva III : PE = P – 59.7 para P > 127.0 mm/mes

Tabla 5.

Coficiente para el cálculo de precipitación Efectiva.

COEFICIENTE PARA EL CÁLCULO DE PE SEGÚN CURVA			
Ai	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.028)
a1	-0.0185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1.2E-05	4.35E-08	5.53E-05
a4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Fuente: PLAN MERIS II Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – LUTZ SCHOLZ.

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

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

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento.

Q = Caudal anual.

$\sum_{i=1}^{12} PEi$ = Suma de la precipitación efectiva mensual.

P = Precipitación total anual.

Retención de la Cuenca

“Suponiendo que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas” (Aguirre M., 1999).

$$R_i = CM_i - PE_i$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Donde:

CM _i	=	Caudal mensual (mm/mes)
PE _i	=	Precipitación Efectiva Mensual (mm/mes)
R _i	=	Retención de la cuenca (mm/mes)
G _i	=	Gasto de la retención (mm/mes)
A _i	=	Abastecimiento de la retención (mm/mes)
R _i	=	G _i para valores mayores que cero (mm/mes)
R _i	=	A _i para valores menores que cero (mm/mes).

“Ambas ecuaciones son contribuciones hídricas al caudal, por tanto, sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total R de la cuenca para el año promedio, en la dimensión de (mm/año)”. (Aguirre M., 1999).

Relación entre Descarga y Retención

“Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación”: (Aguirre M., 1999).

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)}$$

Donde:

Q _t	=	Descarga en el tiempo t
Q ₀	=	Descarga inicial
A	=	Coefficiente de agotamiento
t	=	tiempo

“Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real”. (Aguirre M., 1999).

Coefficiente de Agotamiento

“Mediante la ecuación anterior se puede calcular el coeficiente de agotamiento "a", en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente” (Aguirre M., 1999).

“El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área. El análisis de las observaciones disponibles muestra, además cierta influencia del clima, la geología y cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana” (Aguirre M., 1999).

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas (Aguirre M., 1999).

Tabla 6.
Cálculo de los Coeficientes de Agotamiento “a”.

Característica de la Cuenca	Relación
Agotamiento muy rápido , por temperatura elevada > 10° C y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana.	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.034$
Agotamiento rápido , por retención entre 50 y 80 mm/año	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.030$
Agotamiento mediano , por retención reducida mediana (alrededor 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.026$
Agotamiento reducido , por alta retención (arriba 100 mm/año) y vegetación mezclada	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.023$

Dónde: “a” es el coeficiente de agotamiento por día, AR es el área de la cuenca (km²).

Fuente: Generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo lutz scholz para la sub-cuenca del rio Azángaro.

Almacenamiento Hídrico

“Se tienen tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados”: (Lutz Scholt, 1980).

- * Acuíferos
- * Lagunas y pantanos
- * Nevados

“Todos los valores del almacenamiento hídrico producido por el efecto de la retención en la cuenca son recomendados por el modelo. En el siguiente cuadro se muestra la lámina de agua almacenada en los tres tipos de almacenes hídricos”. (Lutz Scholt, 1980).

Tabla 7.

Lámina de Agua acumulada en los tres tipos de almacén Hídrico.

TIPO	LAMINA ACUMULADA (mm/año)		
	Napa Freática	Pendiente de la Cuenca	
2%		8%	15%
300		250	200
Lagunas – Pantanos	500		
Nevados	500		

Fuente: Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana – Lutz Scholz Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones PLAN MERIS II.

Gasto de la Retención

“La contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede determinar experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio por siguiente expresión:” (Lutz Scholt, 1980).

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

Donde:

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

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

G_i : Es el gasto mensual de la retención (mm/mes), y

R : Retención de la cuenca (mm/mes).

Restitución

“Se utiliza como referencia los valores de la Tabla 5, para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interes” (Lutz Scholt, 1980).

$$R_i = \left(r_i / \sum r_i \right) \cdot A \qquad r_i = r / 100$$

Donde:

- R_i : Proporción del agua de lluvia que entra en el almacén hídrico para el mes(i)
- A : Almacenamiento hídrico
- r : Almacenamiento hídrico (mm/año)
- r_i : Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias(r %)

Tabla 8.

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

REGION	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
CUSCO	0	5	35	40	20	0	100
HUANCAVELICA	10	0	35	30	20	5	100
JUNIN	10	0	25	30	30	5	100
CAJAMARACA	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: PLAN MERIS II – Parámetros de calibración para la sierra peruana - LUTZ SCHOLZ.

Abastecimiento de la Retención

“Comparando cuencas vecinas respecto a la lámina de agua que entra en la retención de la cuenca se puede demostrar que el abastecimiento durante la estación lluviosa es casi uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática”. (Lutz Scholt, 1980).

“Se determina el abastecimiento de la retención experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio o por similitud con cuencas vecinas”. (Lutz Scholt, 1980).

“La lámina de agua que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de un déficit mensual de la precipitación efectiva mensual y se calcula mediante la siguiente expresión”: (Lutz Scholt, 1980).

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

Donde:

- A_i : Abastecimiento mensual deficit de la precipitacion efectiva (mm/mes).
 a_i : Coeficiente de abastecimiento (%).
 R : Retencion de la cuenca (mm/año).

En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9.

Almacenamiento Hídrico durante la época de lluvia- (Valores 0 a 1 %).

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

Fuente: PLAN MERIS II – Parámetros de calibración para la sierra peruana - LUTZ SCHOLZ.

Determinación del Caudal Mensual Para el Año Promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual se calcula a partir de la ecuación del balance hídrico, tomando en cuenta la precipitación total mensual y el déficit de escurrimiento.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Donde:

- CM_i = Caudal del mes i (mm/mes)
 PE_i = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes)
 G_i = Gasto de la retención del mes i (mm/mes)
 A_i = Abastecimiento del mes i (mm/mes)

3.2.2. Generación de Descargas Medias Mensuales Para Períodos Extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para períodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden, según la ecuación, con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación (Lutz Scholt, 1980).

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad Q = g(PE_t)$$

“Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria” (Lutz Scholt, 1980).

$$Z = z(S)\sqrt{(1-r^2)}$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

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

Donde:

Q_t = Caudal del mes t.

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

PE_t = Precipitación efectiva del mes.

$B1$ = Factor constante o caudal básico.

Se calcula los parámetros $B1$, $B2$, $B3$, r y S sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio por un cálculo de regresión con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t , como valores independientes. Para el cálculo se recomienda el uso de software comercial (hojas electrónicas) o de uso específico (programas elaborados tales como el SIH). (Lutz Scholt, 1980)

“El proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas” (Lutz Scholt, 1980).

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes,

“Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor Q_0 sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado” (Lutz Scholt, 1980).

Criterios de Confiabilidad del Modelo o Test Estadístico

“Para determinar la calidad de la coincidencia de los caudales generados con los observados, se desarrolla la comparación de los promedios y desviaciones tipo de los valores históricos y los generados” (Lutz Scholt, 1980).

“Para probar si los promedios salen de la misma población, se utiliza el test de Student (Prueba "t"). Esta prueba debe ser desarrollada para cada mes” (Lutz Scholt, 1980).

“Se compara el valor de t con el valor límite $t_{p,n}$ que indica el límite superior que, con una probabilidad de error del P%, permite decir que ambos promedios pertenecen a la misma población” (Lutz Scholt, 1980).

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

3.3. LIMITACIONES DEL MODELO

El modelo de precipitación escorrentía de Lutz Scholz presenta ciertas restricciones de uso y aplicación como son:

- La aplicación de los parámetros del modelo será de uso exclusivo y se aplicaran, únicamente dentro del rango de calibración establecido.
- El uso del modelo es únicamente para el cálculo de caudales mensuales promedio.
- Las series sintéticas generadas para los períodos de estiaje presentan una mayor confiabilidad que los valores generados para la época lluviosa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados, los que son producto de la aplicación del modelo descrito en el capítulo anterior, así como también la discusión de estas, se expondrá en el presente capítulo.

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La superficie de la cuenca del río Coata está integrada y formada hidrográficamente por las sub cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, la cuenca del río Coata descarga sus caudales en el lago Titi Caca, y Presenta la siguiente ubicación geográfica, política y administrativa:

Ubicación Geográfica:

La cuenca del río Coata (Cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa) tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas Geográficas de la Cuenca del Río Coata:

Latitud Sur : 15°06'36" - 15°55'12"

Longitud Oeste : 71°12'00" - 69°55'12"

Coordenadas UTM (WGS84):

Norte : 8328509 – 8239696

Este : 282907 – 401525

Variación Altitudinal : 5300 – 3800 m.s.n.m

Ubicación Política:

La superficie de la cuenca del río Coata (Cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa), políticamente se encuentra en:

Región : Puno.

Departamento : Puno.

Provincias : San Roman, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancane.

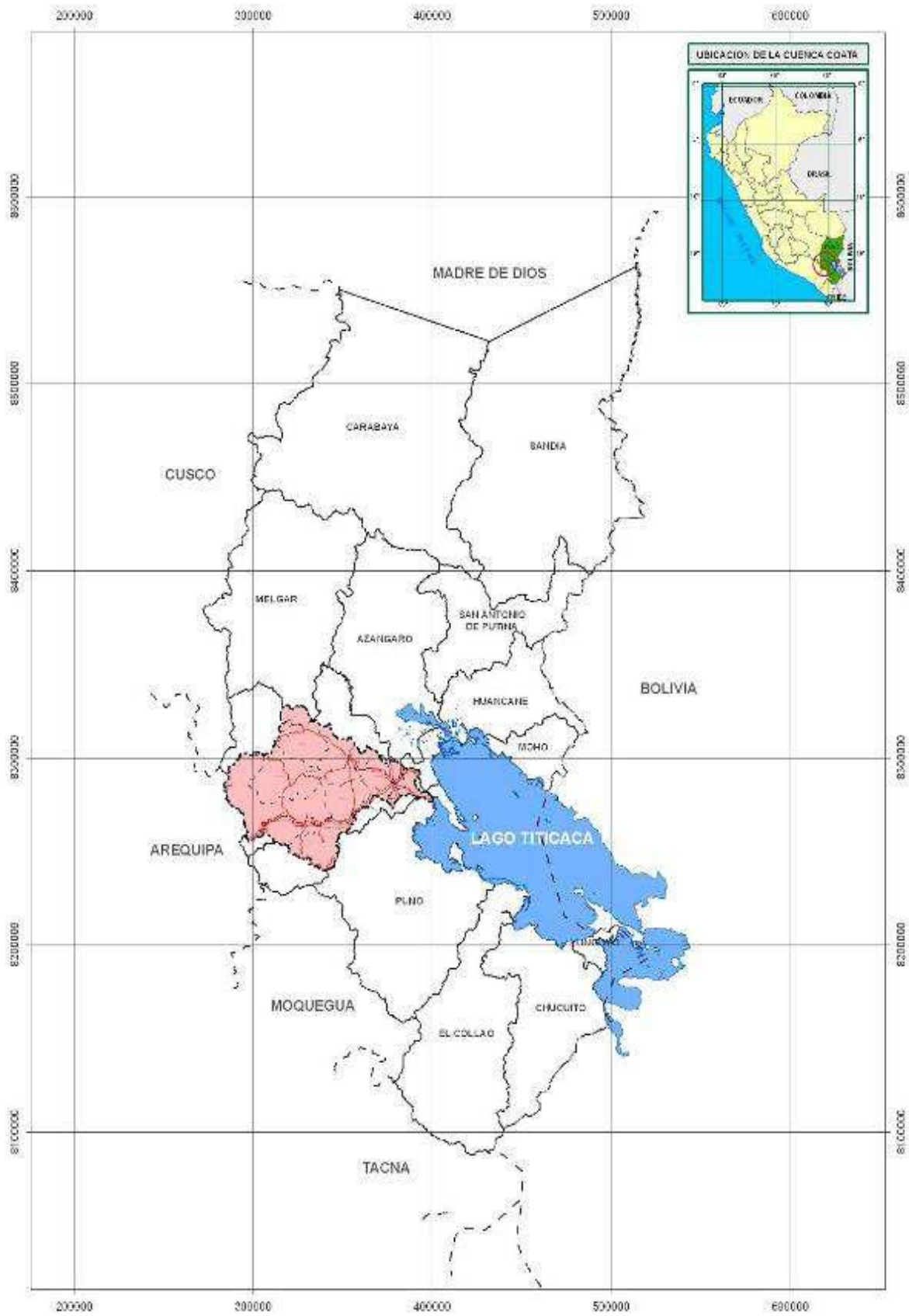


Figura 9. Ubicación Política de la Cuenca del río Coata.

Fuente: INRENA - Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa.

4.2. DESCRIPCIÓN CARTOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.2.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros obtenidos de la geomorfología de la cuenca del río Coata y la sub cuenca del río Lampa son presentadas en Tabla 10.

La Superficie horizontal de la Cuenca del Río Coata comprende una extensión de 4908.40 Km² Hasta la desembocadura en el Lago Titi Caca, por otro lado, el area para el proceso de Calibración hasta el punto de Aforo en el Puente Unucolla es de 4448.48 Km².

El coeficiente de compacidad ($K_c > 1$), para la cuenca del río Coata es de 1.86 y 1.68 para la sub cuenca Lampa. El factor de forma (Ff), es de 0.14 para la cuenca del río Coata y 0.15 para la sub cuenca del río Lampa. Lo que explica que la subcuenca y la cuenca Coata tienen forma alargada, la cuenca y subcuenca tienen mayor desarrollo a lo largo que ancho, es decir que la precipitación no se produce simultáneamente en toda la superficie de la cuenca ni tampoco con la misma intensidad, por lo cual la concentración de las intensidades de la precipitación no es constante. La relación de circularidad, es de 0.29 para la cuenca del río Coata y 0.35 para la sub cuenca Lampa. Con lo que se puede ratificar la forma alargada de la cuenca y sub cuenca.

El área de lagunas y nevados no guardan ninguna relación según el inventario y evaluación de fuentes de agua superficial de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, realizada por el INRENA, con las superficies de las subcuencas que las portan, aparentemente la presencia de esto en mayor o menor cantidad, en cada una de las subcuencas es de forma aleatoria. La cuenca del río Coata contiene una extensión de lagunas de 113 Km², Nevados 38 Km², y acuíferos 459.5 Km², según el “inventario y evaluación de fuentes de agua superficial de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa”, realizada por el INRENA.

Tabla 10.

Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Coata.

PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA COATA	LAMPA
Superficie total de la cuenca		Km ²	At	4908.44	1559.87
Perímetro		Km.	P	464.65	236.41
Coeficiente de Compacidad (Kc)		S/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.86	1.68
Radio de Circularidad (Rc)		S/U	$Rci = (4 * 3.1416 * At) / P^2$	0.29	0.35
Factor de Forma	Longitud (Curso más largo)	Km.	LB	188.57	101.44
	Ancho Medio	Km.	$AM = At / LB$	26.03	15.38
	Factor de Forma	S/U	$Ff = AM / LB$	0.14	0.15
Rectángulo Equivalente	Lado Mayor	Km.	$L = (Kc * (A)^{1/2}) / 1.128 * (1 + ((1 - (1.128 / Kc)^2)^{1/2}))$	206.96	102.09
	Lado Menor	Km.	$Lm = (Kc * (A)^{1/2}) / 1.128 * (1 - ((1 - (1.128 / Kc)^2)^{1/2}))$	23.72	15.28
Grado de Ramificación (Longitud Total)	Orden 01	Km.		1641.98	565.62
	Orden 02	Km.		570.54	239.76
	Orden 03	Km.		344.36	177.49
	Orden 04	Km.		235.64	165.94
	Orden 05	Km.		126.47	21.47
	Orden 06	Km.		57.00	0.00
	Lt	Km.		2975.99	1170.28
Número de Ríos para los Diferentes Grados de Ramificación	Orden 01	S/U		687.00	245.00
	Orden 02	S/U		312.00	119.00
	Orden 03	S/U		182.00	69.00
	Orden 04	S/U		73.00	34.00
	Orden 05	S/U		46.00	5.00
	Orden 06	S/U		1.00	0.00
	N° Ríos	S/U		1301.00	472.00
Densidad de drenaje		Km./Km ²	$Dd = Lt / At$	0.61	0.75
Longitud promedio de flujo superficial			$Lo = At / (4 * Lt)$	0.41	0.33
Altura máxima cuenca		m.s.n.m.	Hmax	5300.00	5200.00
Altura mínima cuenca		m.s.n.m.	Hmín	3800.00	3800.00
Desnivel total de la cuenca		Km.	Ht	1.50	1.40
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm	4336.116	4260.95
Pendiente cuenca (Criterio del Rectángulo Equivalente)		m/m	$Ic = 100 * Ht / Lm$	6.32	9.16
Pendiente media de los Ríos		m/m		1.13	2.29

4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

4.3.1. Resultados y Discusión

a) Análisis Visual del Hidrograma.

La Figura 10 contiene el hidrograma de caudales medios mensuales de la estación de medición de caudales del puente Unucolla, la figura muestra el periodo de registro de 1957 al 2016, “el hidrograma refleja la conducta de los caudales que discurren por el cauce en forma homogénea, el valor mínimo es de $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo de $491.00 \text{ m}^3/\text{s}$, el análisis refleja que no existe saltos en sus registros; considerando las recomendaciones del modelo se realizara el análisis de doble masa para su aceptación del análisis inicial.”

b) Análisis De Doble Masa

La recta de doble masa presenta quiebres, por lo que se podría interpretar la existencia de saltos en el registro histórico, por otro lado, cabe mencionar que también podrían ser registros de años en donde la precipitación fue mínima. En Tabla 12, se presentan los datos de caudal medio anual acumulado de la estación del puente Unucolla.

c) Análisis Estadístico

El análisis estadístico nos revela datos consistentes, posterior al análisis de la consistencia de su media con el método “T” de Student el cual revela resultados para el “T” calculado de 0.84, y el valor de “T” tabular es de 1.68, por lo que podemos decir que está libre de saltos, por otro lado en el análisis de la consistencia de la desviación estándar con el método de Fisher el “F” calculado es 1.49 y el valor de “F” tabular es de 2.09, realizando el análisis se puede afirmar que la información está libre de tendencia.

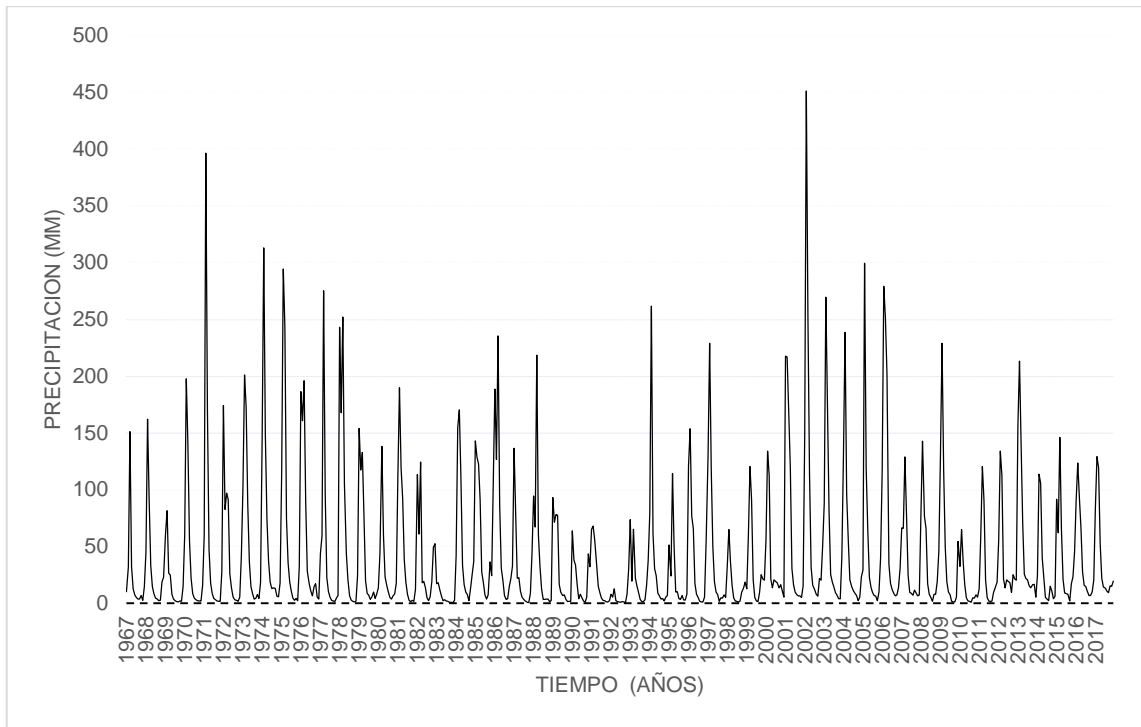


Figura 10. Histograma de caudal medio mensual (m³/s) – estación de aforo puente Unucolla –periodo (1967 – 2017).

Fuente: SENAMHI.

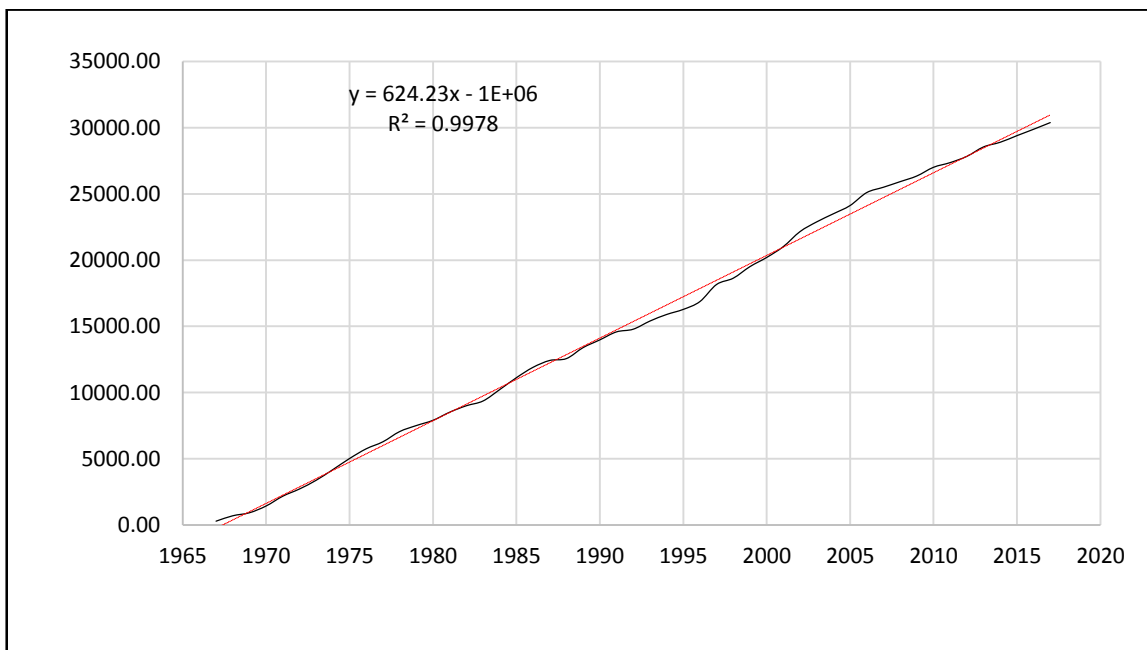


Figura 11. Diagrama de doble masa de caudal medio anual de la estación puente Unucolla.

Tabla 11.
Descarga Media Mensual Aforados (M3/S) Estación Unucolla.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1967	10.16	31.66	150.99	31.94	12.51	7.18	4.85	3.51	3.43	6.53	2.58	14.6	279.94
1968	45.25	162.04	90.61	32.83	14.64	8.02	4.52	3.58	2.2	2.54	18.48	22.74	407.45
1969	60.56	81.27	26.28	24.81	7.8	3.59	2.13	1.31	1.16	1.75	1.62	14.45	226.73
1970	59.74	197.71	140.16	54.86	21.84	8.29	4.29	2.87	2.12	1.98	1.74	15.79	511.39
1971	59.92	396.49	171.11	47.45	17.62	8.49	4.22	3.06	1.93	1.49	1.62	27.52	740.92
1972	174.02	82.58	96.92	91.24	25.8	13.73	5.45	3.06	2.43	1.64	5.25	41.41	543.53
1973	101.63	200.89	172.57	86.92	36.44	14.7	8.33	3.43	4.05	7.62	4.13	18.22	658.93
1974	146.09	312.91	147.63	73.38	37.26	18.48	12.77	13.44	12.81	6.24	5.67	17.59	804.27
1975	114.96	294.19	243.13	74.27	35.66	18.71	10.53	4.41	2.39	4.03	2.08	32.18	836.54
1976	186.16	160.56	195.9	89.7	28.19	17.21	10.6	6.42	14.39	17.14	5.4	3.55	735.22
1977	43.72	59.15	275.16	96.18	22.55	10.38	5.38	2.43	1.93	1.34	4.36	6.53	529.11
1978	242.94	167.82	251.92	105.13	43.72	20.56	6.72	2.65	1.54	1.05	1.54	23.93	869.52
1979	153.9	117.27	132.62	77.44	19.73	8.68	7.03	3.19	5.6	9.78	4.00	7.96	547.2
1980	13.43	43.99	138.14	59.63	22.95	15.96	10.09	5.06	3.43	6.29	8.12	17.27	344.36
1981	111.75	189.79	119.21	91.87	38.05	18.28	7.69	2.56	1.32	2.51	1.7	12.23	596.96
1982	113.22	60.9	124.22	18.07	19.11	13.62	4.58	2.06	5.83	18.87	49.15	52.38	482.01
1983	16.97	17.86	11.76	6.47	2.21	2.89	1.96	1.66	0.7	0.87	0.32	2.34	66.01
1984	41.53	154.73	170.1	109.9	33.23	16.14	9.67	7.55	2.22	12.77	24.92	36.47	619.23
1985	142.94	128.82	122.66	90.66	27.34	18.22	7.22	3.69	7.27	36.39	24.07	105.54	714.82
1986	188.62	126.5	235.41	86.86	30.83	20.27	6.75	3.31	3.78	14.51	21.69	32.5	771.03
1987	136.26	78.78	21.83	22.48	10.33	5.31	3.27	1.84	0.65	0.58	8.51	43.47	333.31
1988	94.36	66.88	218.57	60.08	31.93	12.35	3.36	3.36	3.59	3.58	1.23	2.28	501.57
1989	93.08	71.3	78.14	77.39	16.58	9.45	6.76	7.17	3.32	1.38	1.5	1.64	367.71
1990	63.77	37.91	33.34	16.63	3.99	7.68	4.63	1.87	0.66	5.38	43.4	32.11	251.37
1991	65.11	67.92	55.44	37.15	14.71	9.07	4.55	2.39	2.04	1.01	1.12	2.17	262.68
1992	7.73	5.23	12.58	2.28	1.31	1.00	0.86	1.31	1.08	0.6	8.02	30.02	72.02
1993	73.51	19.22	65.11	21.84	14.97	9.18	3.21	1.23	1.2	3.14	15.7	37.56	265.87
1994	79	261.5	61.78	30.3	24.12	9.04	6.42	3.55	4.03	1.94	5.37	6.59	493.64
1995	51.26	23.85	114.08	48.99	9.78	10.1	3.83	3.2	6.8	2.63	2.76	8.05	285.33
1996	120.83	153.66	76.65	65.67	17.16	7.89	4.94	1.54	1.09	0.93	5.26	54.23	509.85
1997	129.66	228.75	117.84	49.28	18.91	9.84	7.45	1.57	4.58	4.29	7.18	5.09	584.44
1998	32.3	64.85	36.61	15.88	4.56	1.9	1.57	0.73	1.77	9.57	13.56	18.5	201.8
1999	12.57	59.62	120.37	90.84	20.49	4.87	1.76	1.21	9.53	25.12	21.33	20.18	387.89
2000	55.83	133.93	112.42	21.47	13.48	20.48	18.96	17.82	13.31	16.14	10.58	5.33	439.75
2001	217.68	216.81	168.86	119.35	30.65	16.32	9.88	7.43	6.35	6.3	4.86	15.27	819.76
2002	148.14	451.17	253.1	113.81	31.53	15.83	12.67	7.85	6.16	21.73	20.32	50.38	1132.69
2003	88.02	269.37	174.83	80.97	25.37	18.76	14.35	9.11	6.94	3.73	3.76	40.68	735.89
2004	129.74	238.51	96.23	55.89	20.54	14.37	11	8.69	6.55	2.02	5.23	22.89	611.66
2005	29.24	299.27	118.78	64.37	22.74	13.89	9.32	6.58	6.16	2.02	9.65	39.75	621.77
2006	116.73	279.02	251.77	201.63	34.61	17.3	12.11	8.69	6.35	7.16	13.7	30.97	980.04
2007	66.05	65.83	128.78	77.88	24.30	9.45	8.59	6.97	11.49	9.02	6.44	7.30	422.09
2008	77.798	142.645	76.645	65.673	17.163	7.894	4.94	1.537	7.766	7.927	19.21	45.711	474.909
2009	129.664	228.746	117.839	49.276	18.909	9.841	7.45	1.571	1.094	0.932	5.264	54.227	624.813
2010	32.296	64.848	36.607	15.883	4.555	1.898	1.574	0.729	4.677	4.291	7.176	5.136	179.67
2011	12.567	59.618	120.372	90.836	20.494	4.874	1.756	1.206	1.768	9.571	13.562	18.504	355.128
2012	55.856	133.933	112.415	21.469	13.481	20.484	18.96	17.821	9.529	25.119	21.326	20.18	470.573
2013	156.466	213.126	139.806	70.34	25.437	21.552	20.474	15.503	13.306	16.144	16.598	5.328	714.08
2014	24.073	113.568	105.595	39.813	22.203	4.842	3.599	2.065	14.946	10.514	3.732	6.131	351.081
2015	91.425	62.009	145.886	64.919	21.006	9.004	8.291	7.702	1.931	17.24	22.904	45.063	497.38
2016	90.573	123.272	93.289	66.2	27.411	15.71	14.689	10.258	6.643	6.566	9.728	20.197	484.536
2017	83.68	129.18	119.40	52.55	21.91	14.32	13.20	10.67	9.27	15.12	14.86	19.38	503.53

Fuente: SENAMHI.

Tabla 12.

Análisis De Doble Masa De Caudal Medio Anual De La Estación Unucolla.

AÑO	Puente Unucolla	
	Anual	Acum.
1967	279.94	279.94
1968	407.45	687.39
1969	226.73	914.12
1970	511.39	1425.51
1971	740.92	2166.43
1972	543.53	2709.96
1973	658.93	3368.89
1974	804.27	4173.16
1975	836.54	5009.70
1976	735.22	5744.92
1977	529.11	6274.03
1978	869.52	7143.55
1979	547.20	7690.75
1980	344.36	8035.11
1981	596.96	8632.07
1982	482.01	9114.08
1983	66.01	9180.09
1984	619.23	9799.32
1985	714.82	10514.14
1986	771.03	11285.17
1987	333.31	11618.48
1988	501.57	12120.05
1989	367.71	12487.76
1990	251.37	12739.13
1991	262.68	13001.81
1992	72.02	13073.83
1993	265.87	13339.70
1994	493.64	13833.34
1995	285.33	14118.67
1996	509.85	14628.52
1997	584.44	15212.96
1998	201.80	15414.76
1999	387.89	15802.65
2000	439.75	16242.40
2001	819.76	17062.16
2002	1132.69	18194.85
2003	735.89	18930.74
2004	611.66	19542.40
2005	621.77	20164.17
2006	980.04	21144.21
2007	422.09	21566.30
2008	474.91	22041.21
2009	624.81	22666.02
2010	179.67	22845.69
2011	355.13	23200.82
2012	470.57	23671.40
2013	714.08	24385.48
2014	351.08	24736.56
2015	497.38	25233.94
2016	484.54	25718.47
2017	503.53	26222.00

4.4. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

4.4.1. Resultados y Discusión

La verificación realizada de la consistencia de la información meteorológica las estaciones Ayaviri, Pucara, Santa lucia, Pampahuata, Quillisani, Mañazo, Ichuña, Lampa, Taraco, Capachica, Puno, Imata Y Crucero Alto se describen en este capítulo.

a) Del análisis visual de hidrogramas

El proceso de evaluación contempla la visualización del grafico de hidrogramas de las estaciones involucradas en este proyecto, que a continuación detallaremos.

En la Figura 12, se evidencia el hidrograma de la estación de Llallí, en la cual se puede valorar que durante los periodos de 1967 al 2016, hay precipitaciones, un máximo de 531 .00 mm en los meses lluviosos y en los meses de estiaje de 0.00, aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos.

En la Figura 13, se evidencia el hidrograma de la estación de Ayaviri, en la cual se puede valorar que durante los periodos 1967 al 2017, se registran precipitaciones con un máximo de 268.39 mm, la estación tiene los registros completos, motivo por el cual es ideal para la asignación del título de estación patrón, el cual nos ayudara a rellenar y/o completar los datos faltantes de otras estaciones.

En la Figura 14, se evidencia el hidrograma de la estación de Pucara, en la cual se puede valorar que durante los periodos 1967 al 2016, se registran precipitaciones con un máximo de 337.30 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, por otro lado, se evidencia la ausencia del registro del periodo del 2017, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro.

En la Figura 15, se evidencia el hidrograma de la estación de Pampa-huata, en la cual se puede valorar que durante los periodos 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 310.20 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, por otro lado, se evidencia la ausencia del registro del periodo 2007 al 2017, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro.

En la Figura 16, se evidencia el hidrograma de la estación de Santa Lucia, en la cual se puede valorar que durante los periodos 2000 al 2006 así como también del periodo 2016 al 2017, se registra un salto debido a la ausencia de datos y los periodos de 1967 al 2000 y 2006 al 2013, se registran precipitaciones con un máximo de 327.10 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro.

En la Figura 17, se evidencia el hidrograma de la estación de Cabanillas, en la cual se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2017, se registran precipitaciones con un máximo de 273.90 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro.

En la Figura 18, se evidencia el hidrograma de la estación de Mañazo, en la cual se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 498.00 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 19, se evidencia el hidrograma de la estación de Lampa, en la cual se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2016, se registran precipitaciones con un máximo de 702.00 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 20, se evidencia el hidrograma de la estación de Juliaca, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2017, se registran precipitaciones con un máximo de 287.80 mm, aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 21, se evidencia el hidrograma de la estación de Taraco, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 285.40 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 22, se evidencia el hidrograma de la estación de Capachica, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 350.00 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos.

En la Figura 23, se evidencia el hidrograma de la estación de Puno, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo

de 337.60 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 24, se evidencia el hidrograma de la estación de Quillisani, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 324.50 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 25, se evidencia el hidrograma de la estación de Ichuña, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 288.70 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 26, se evidencia el hidrograma de la estación de Condoroma, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 279.91 mm; aparentemente el hidrograma planteado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 27, se evidencia el hidrograma de la estación de Crucero alto, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2010, se registran precipitaciones con un

máximo de 376.80 mm; aparentemente el hidrograma plotado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

En la Figura 28, se evidencia el hidrograma de la estación de Imata, en ella se puede valorar que durante el periodo de 1967 al 2006, se registran precipitaciones con un máximo de 342.80 mm; aparentemente el hidrograma plotado no presenta saltos en sus registros históricos, continuando con el análisis exploratorio de datos se realizara el análisis de doble masa para la validación y uso del registro, sin olvidar el relleno y completado de datos faltantes.

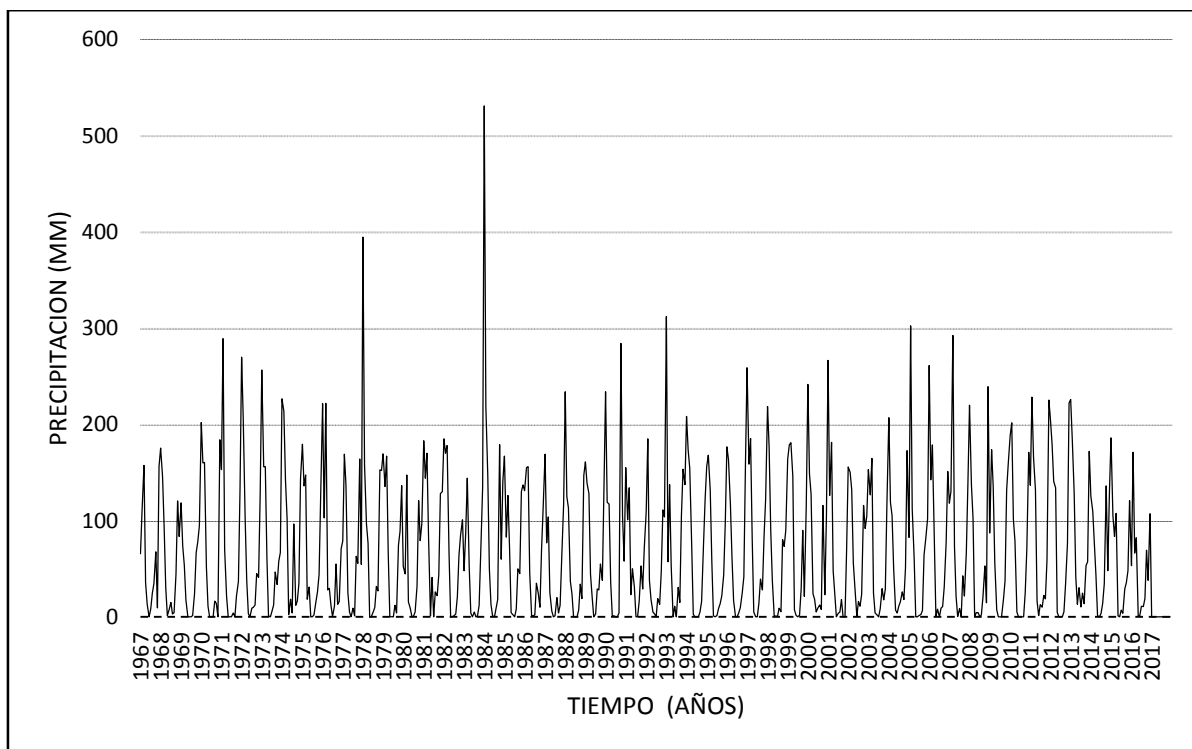


Figura 12. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Llalí –periodo (1967 – 2016).

Fuente: SENAMHI.

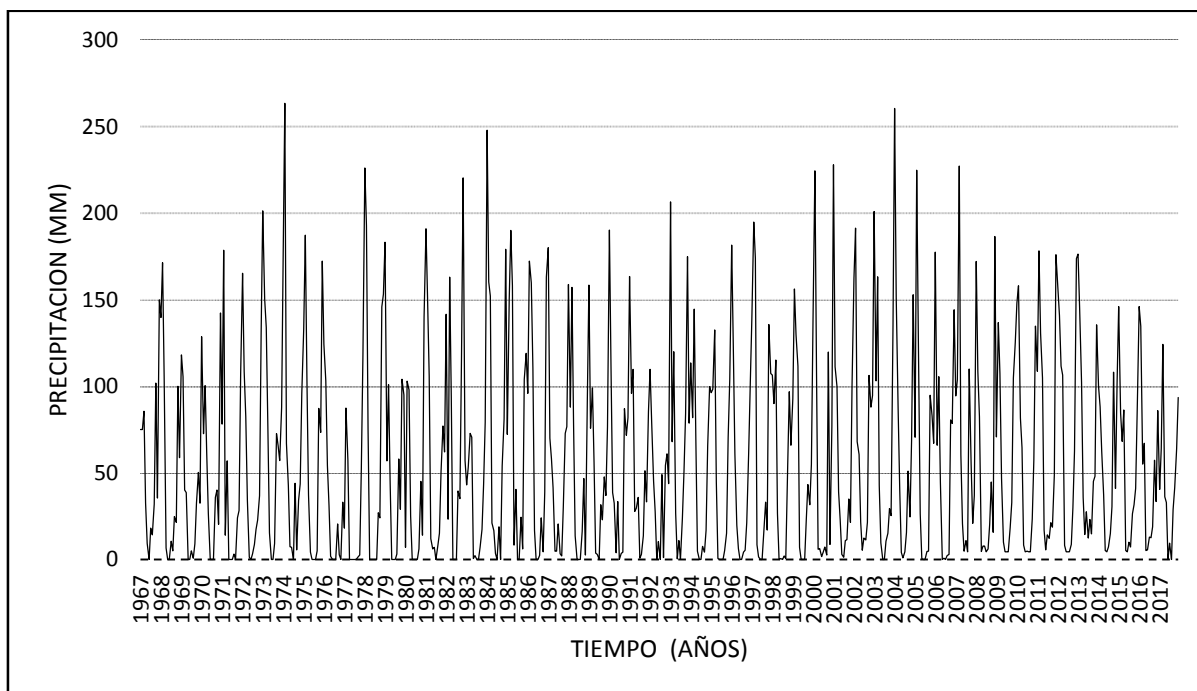


Figura 13. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Ayaviri –periodo (1967 – 2017).

Fuente: SENAMHI.

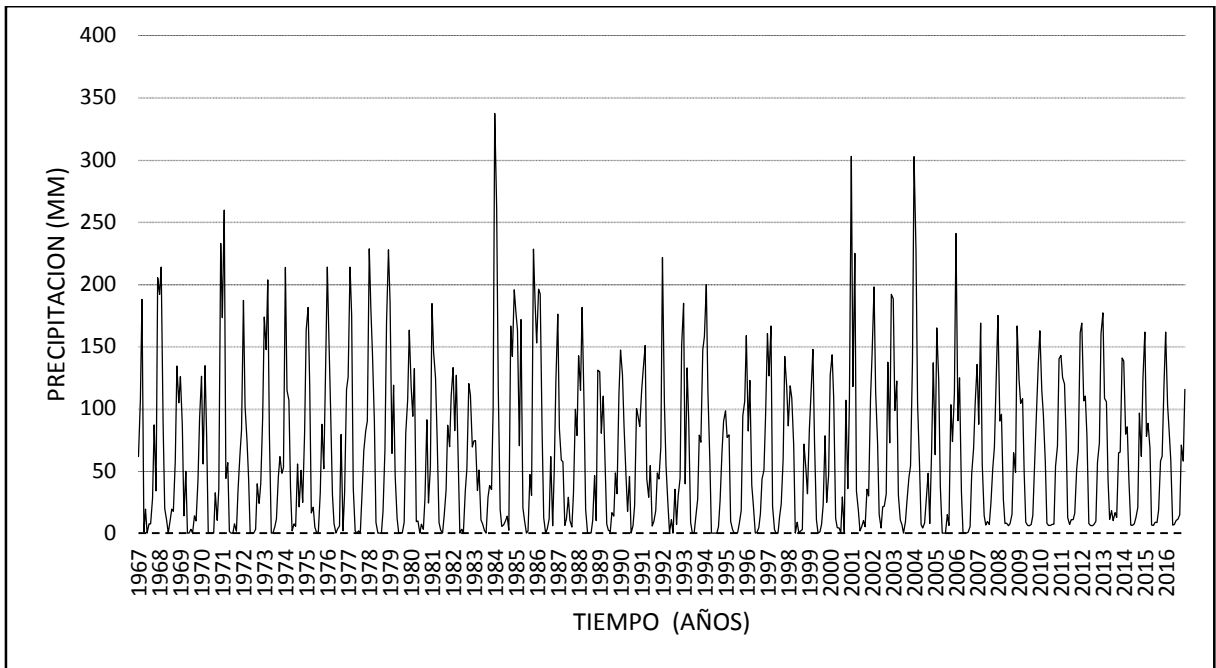


Figura 14. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Pucara – periodo (1967 – 2016).

Fuente: SENAMHI.

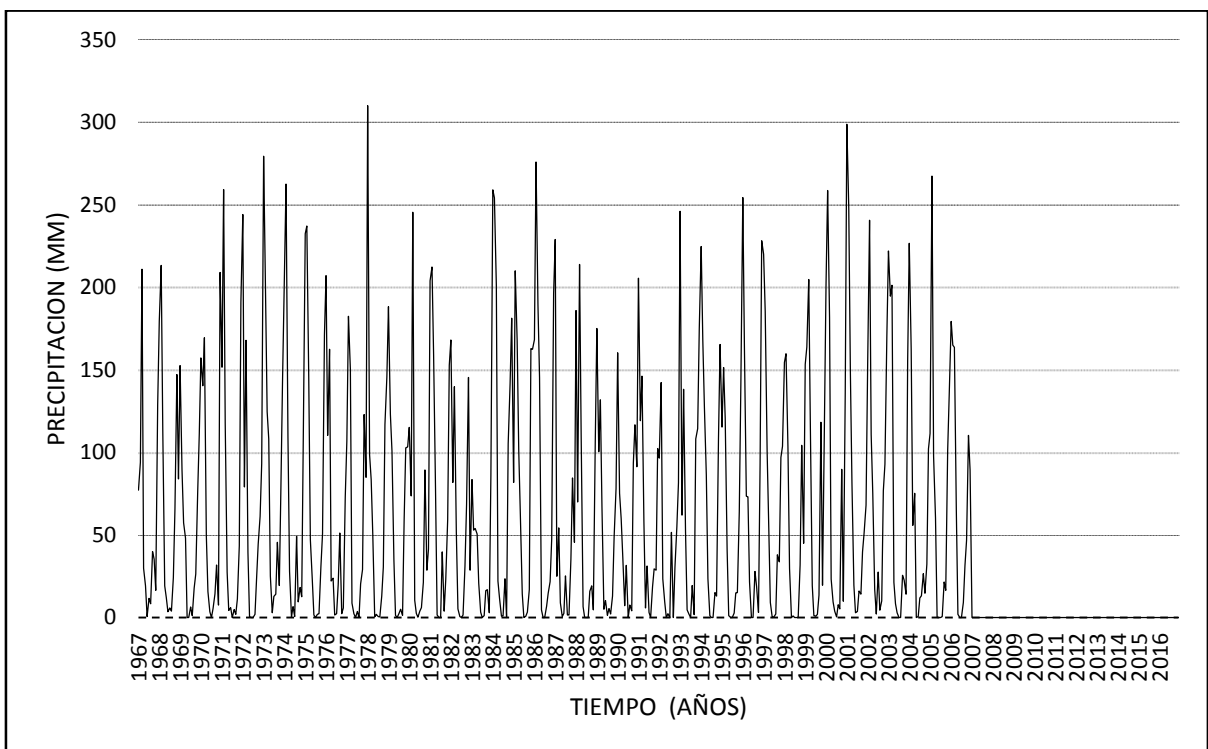


Figura 15. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Pampahuata – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

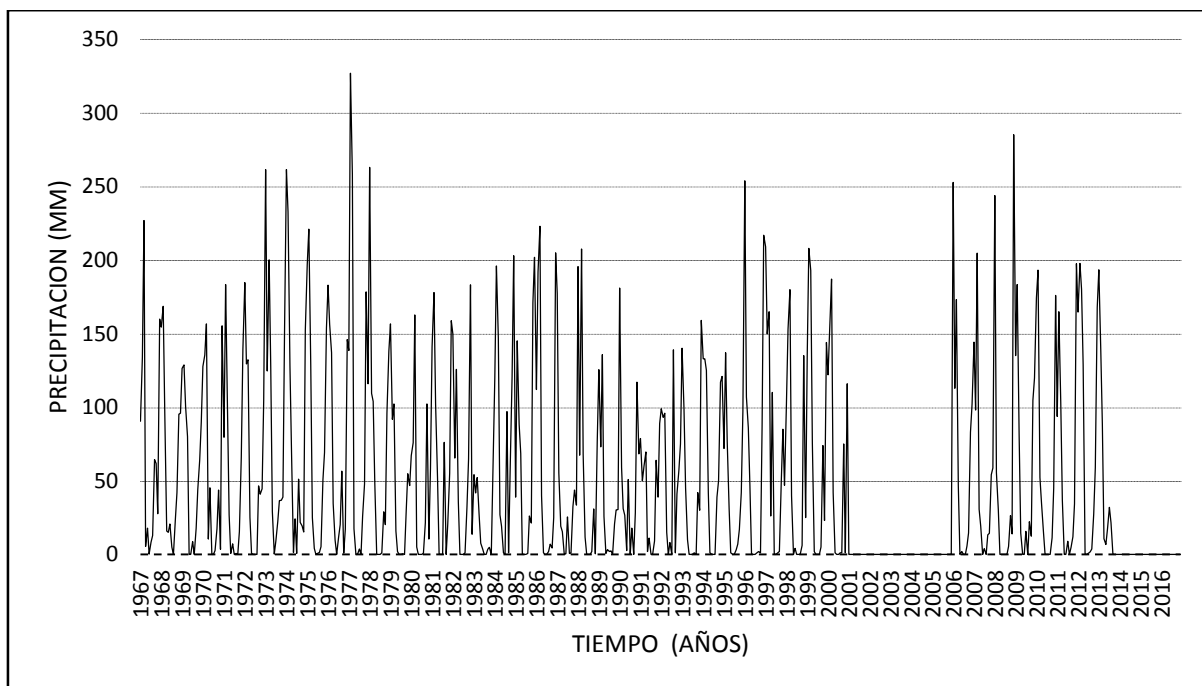


Figura 16. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Santa Lucia – periodo (1967 – 2000 y 2006 – 2013).

Fuente: SENAMHI.

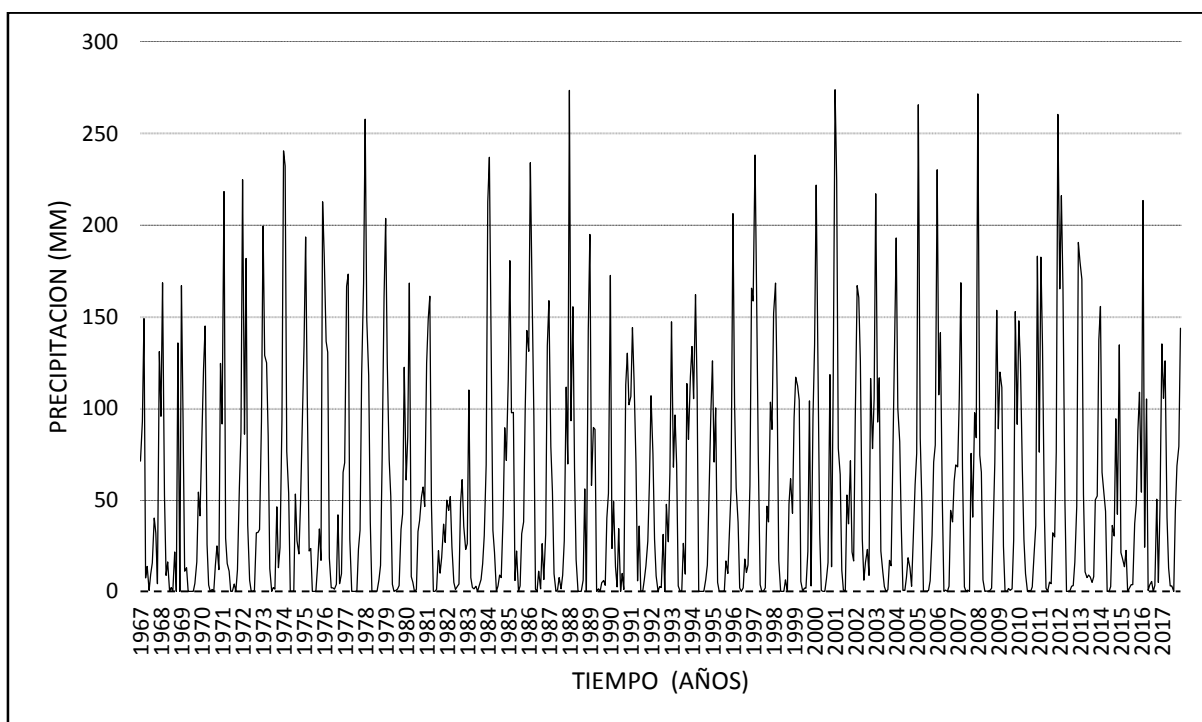


Figura 17. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Cabanillas – periodo (1967 – 2017).

Fuente: SENAMHI.

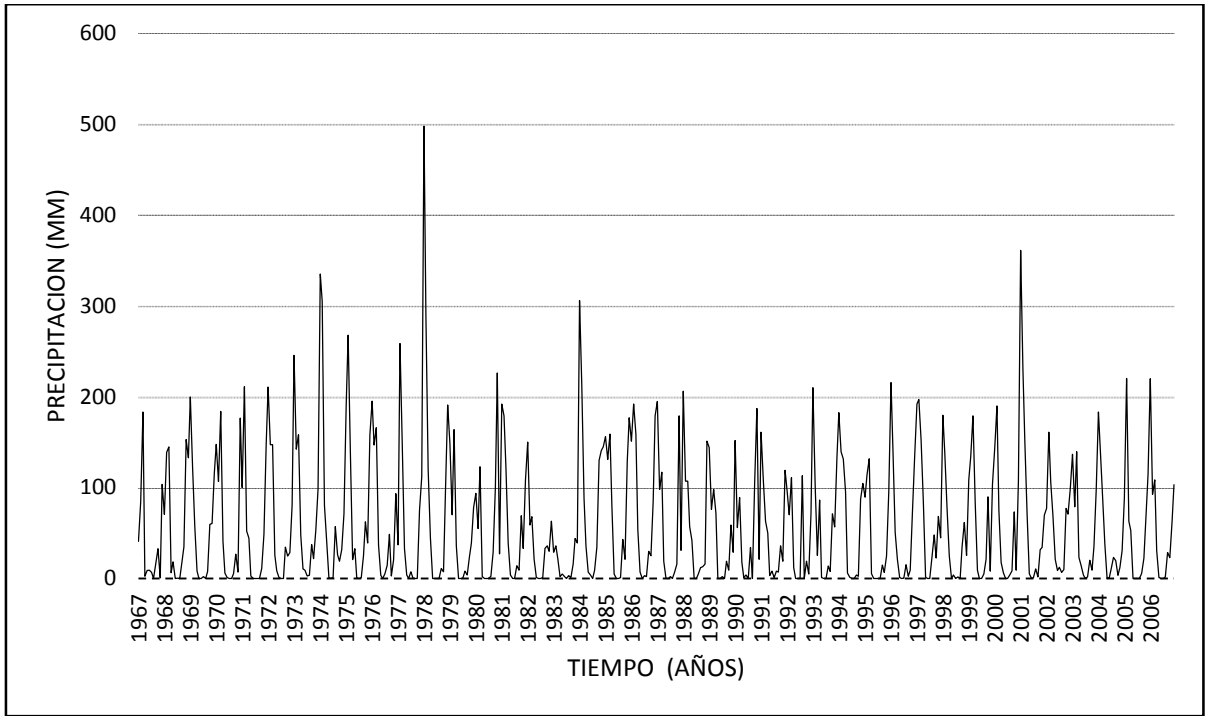


Figura 18. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Mañazo – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

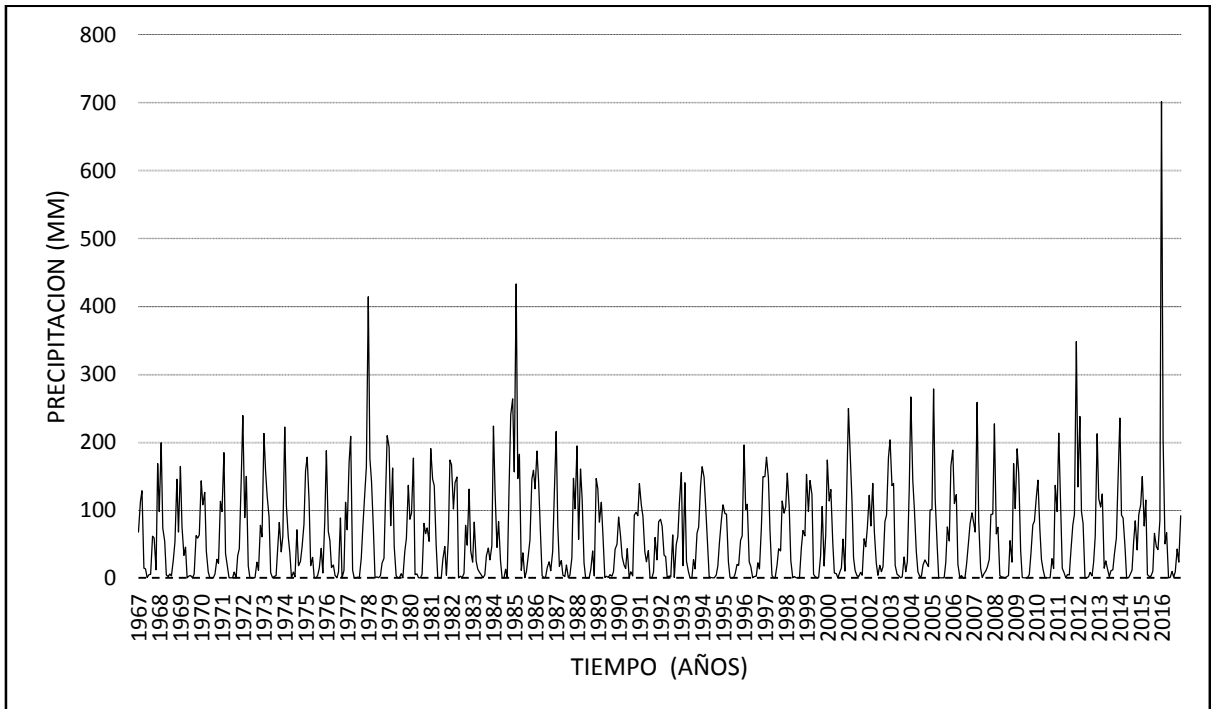


Figura 19. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Lampa – periodo (1967 – 2016).

Fuente: SENAMHI.

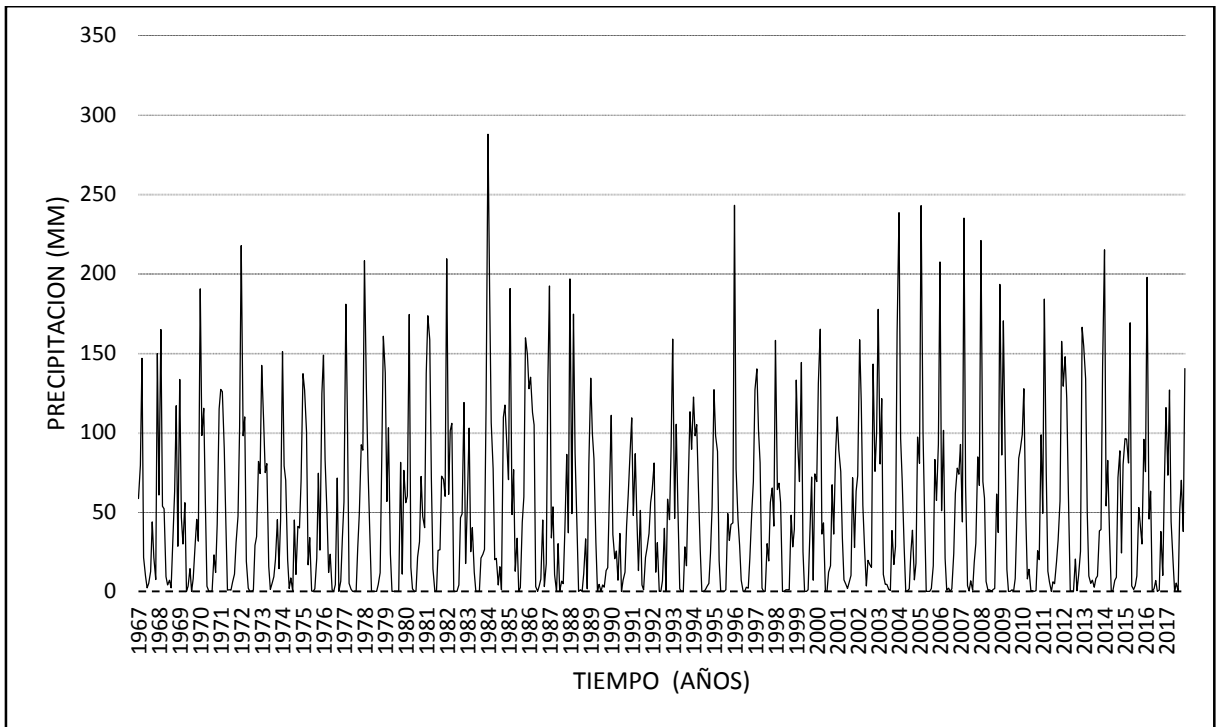


Figura 20. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Juliaca – periodo (1967 – 2017).

Fuente: SENAMHI.

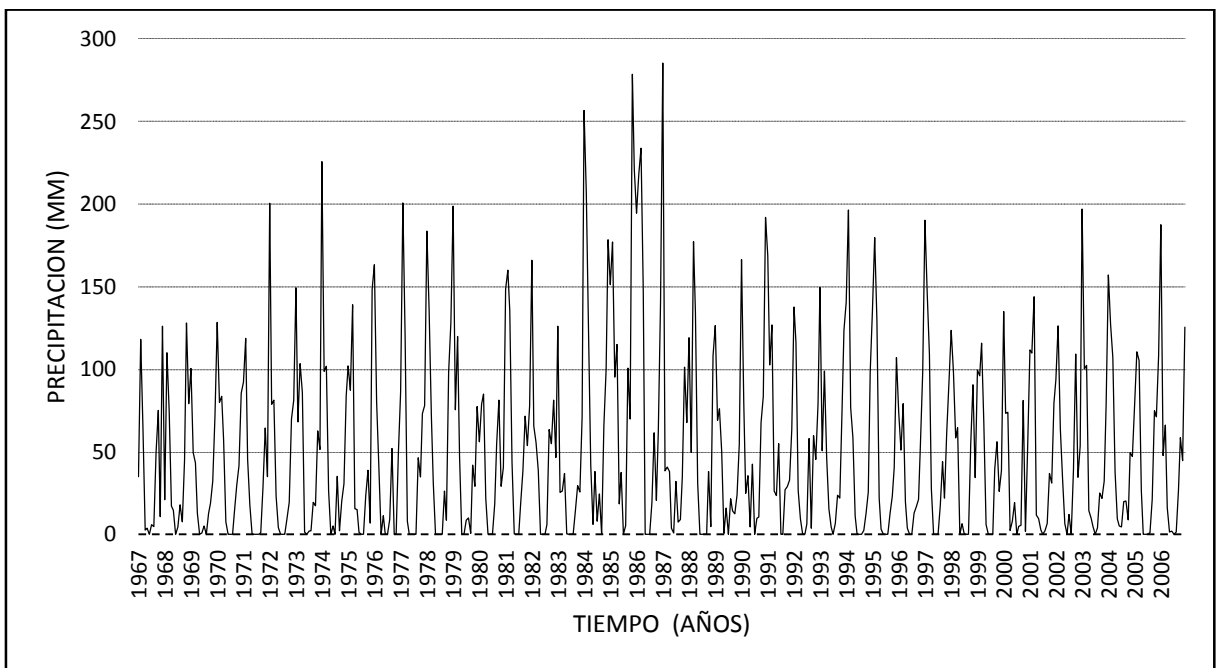


Figura 21. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Taraco – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

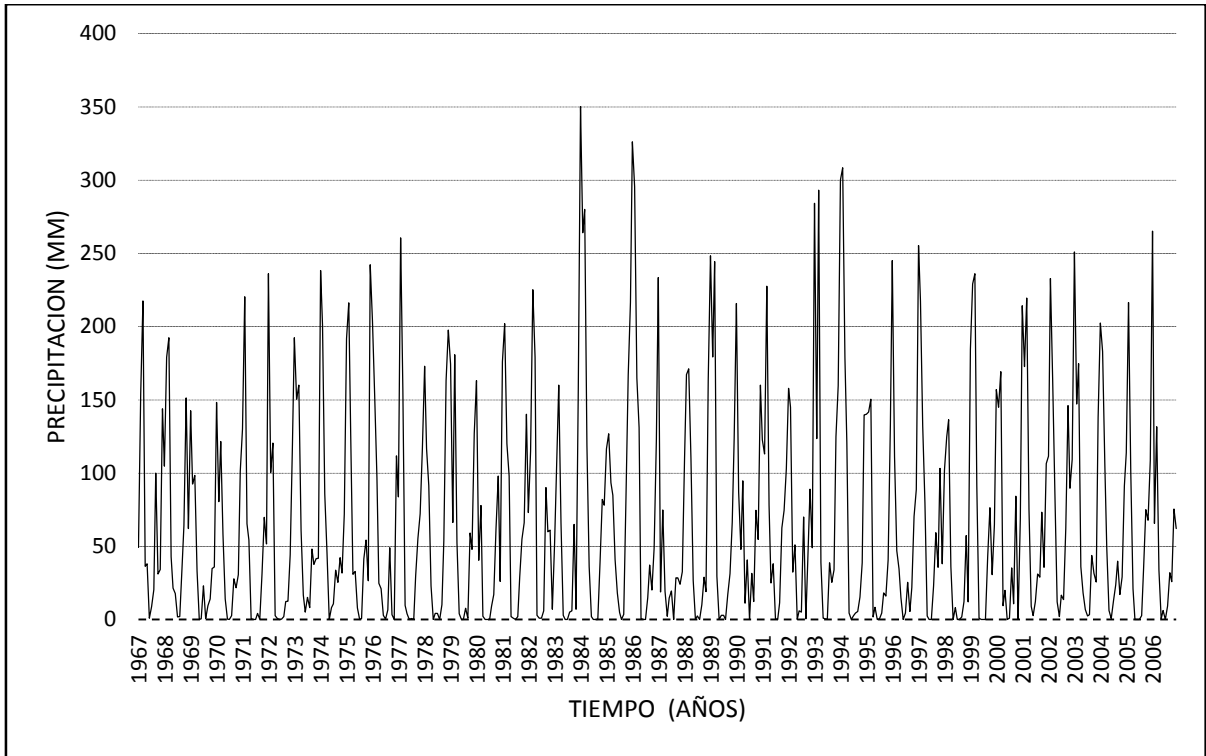


Figura 22. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Capachica – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

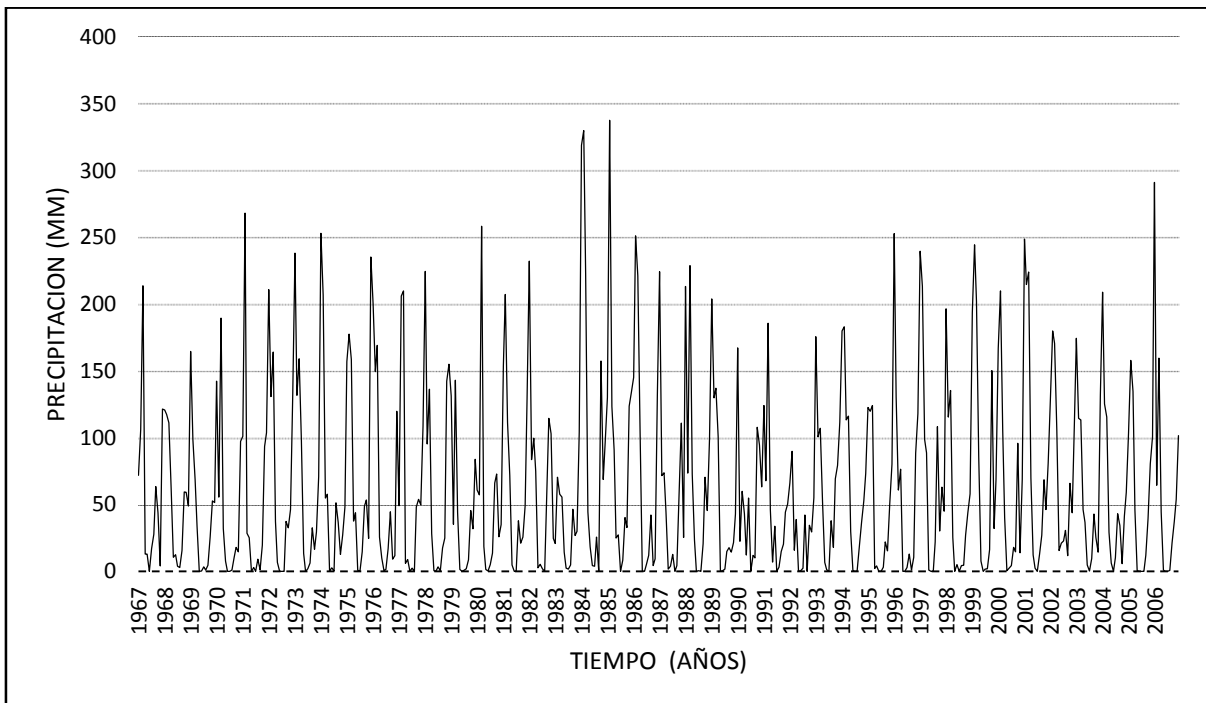


Figura 23. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Puno – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

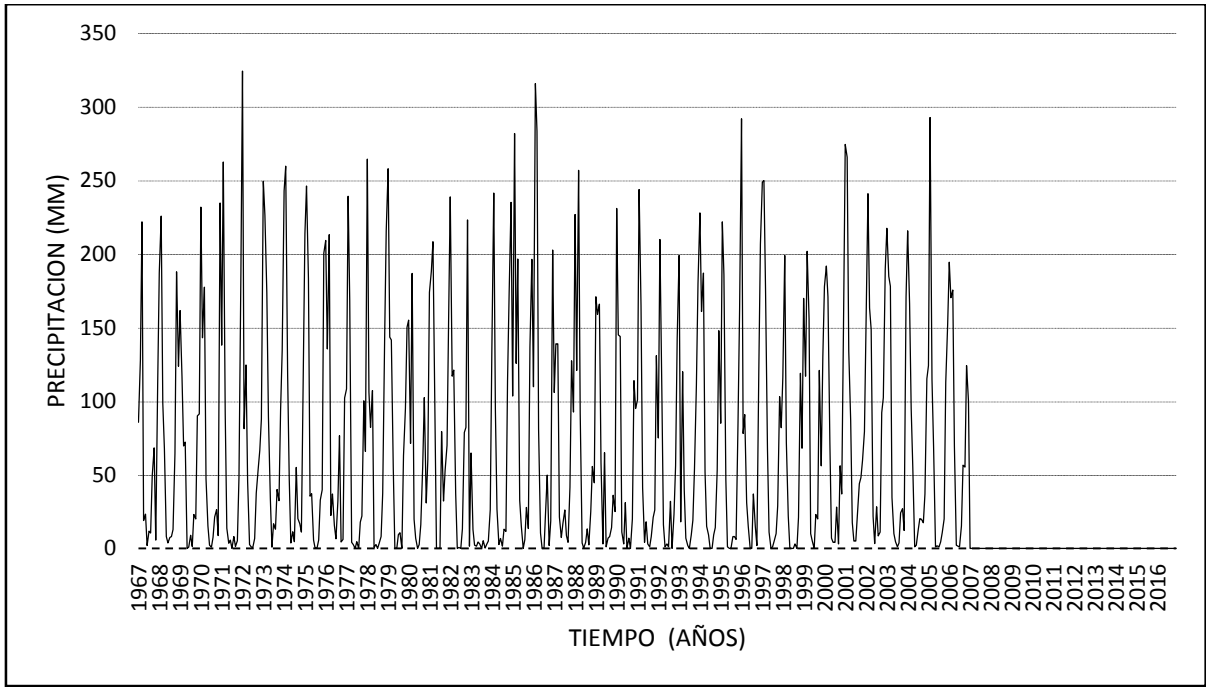


Figura 24. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Quillisani – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

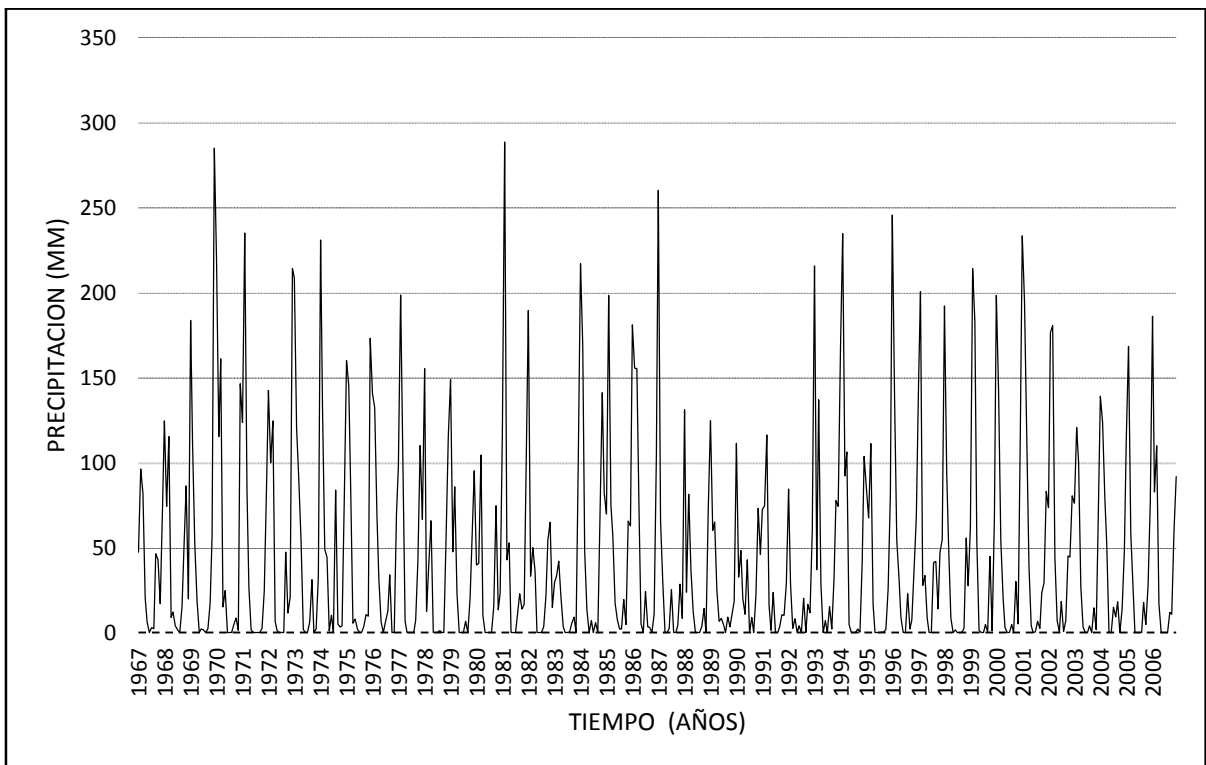


Figura 25. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Ichuña – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

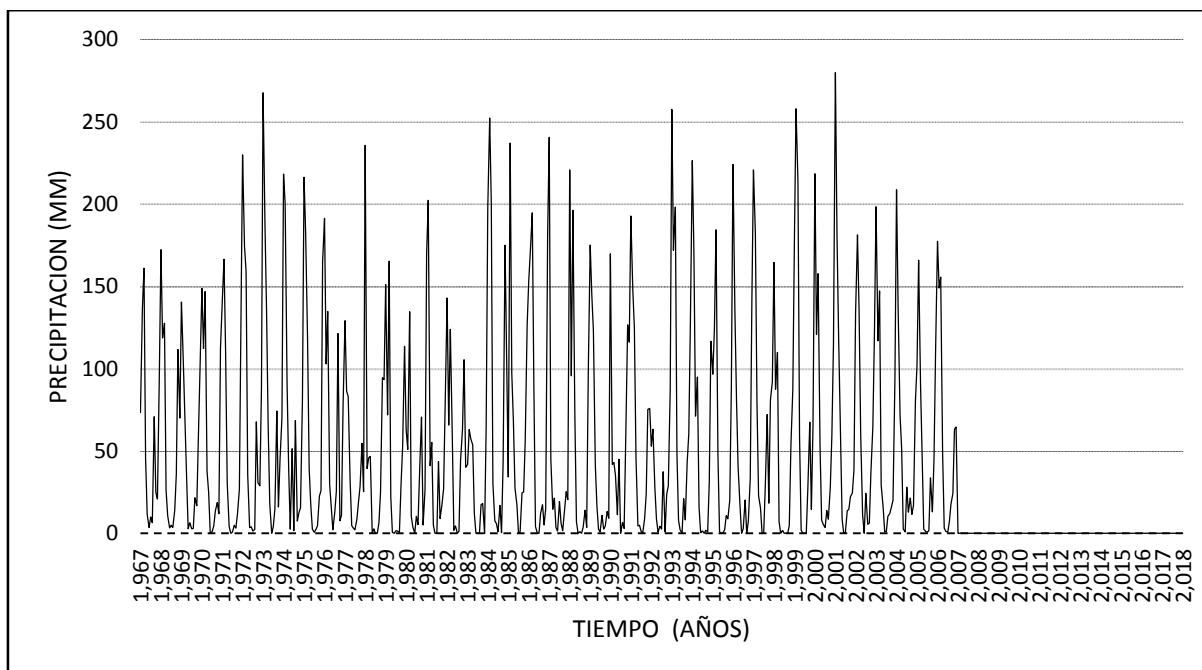


Figura 26. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Condoroma – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

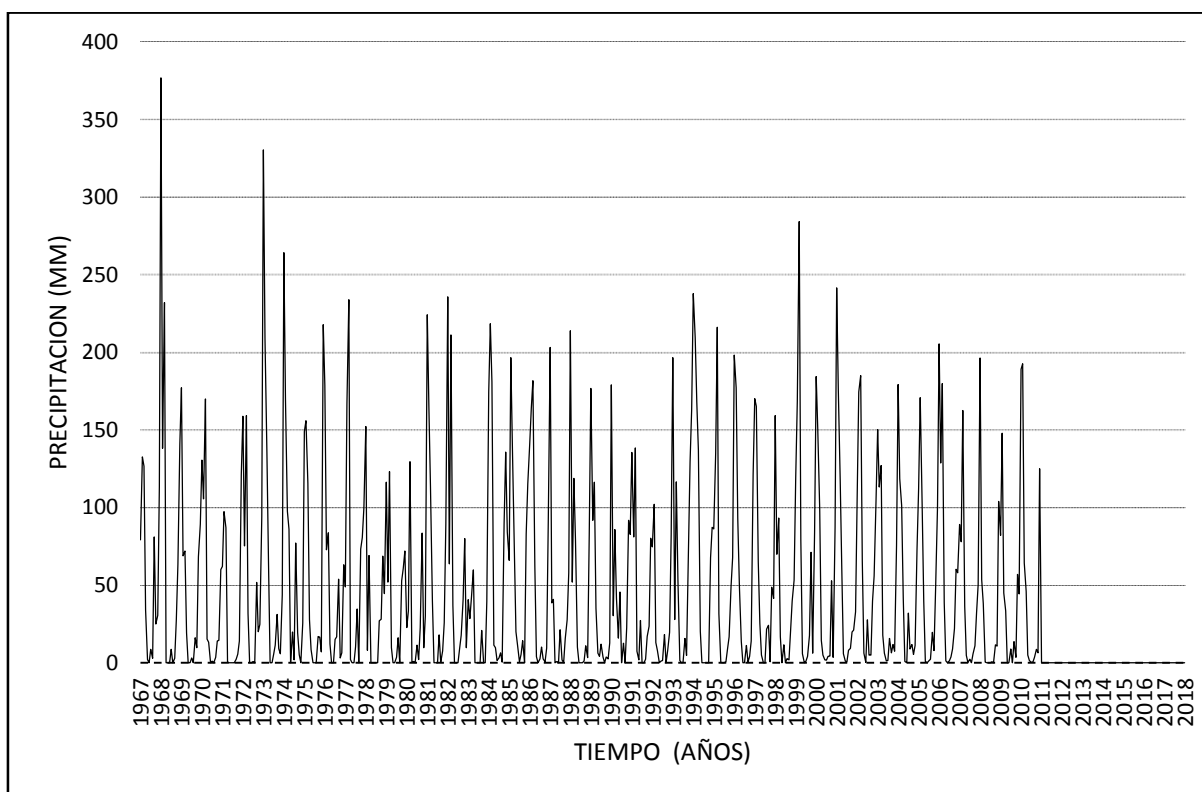


Figura 27. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Crucero alto – periodo (1967 – 2010).

Fuente: SENAMHI.

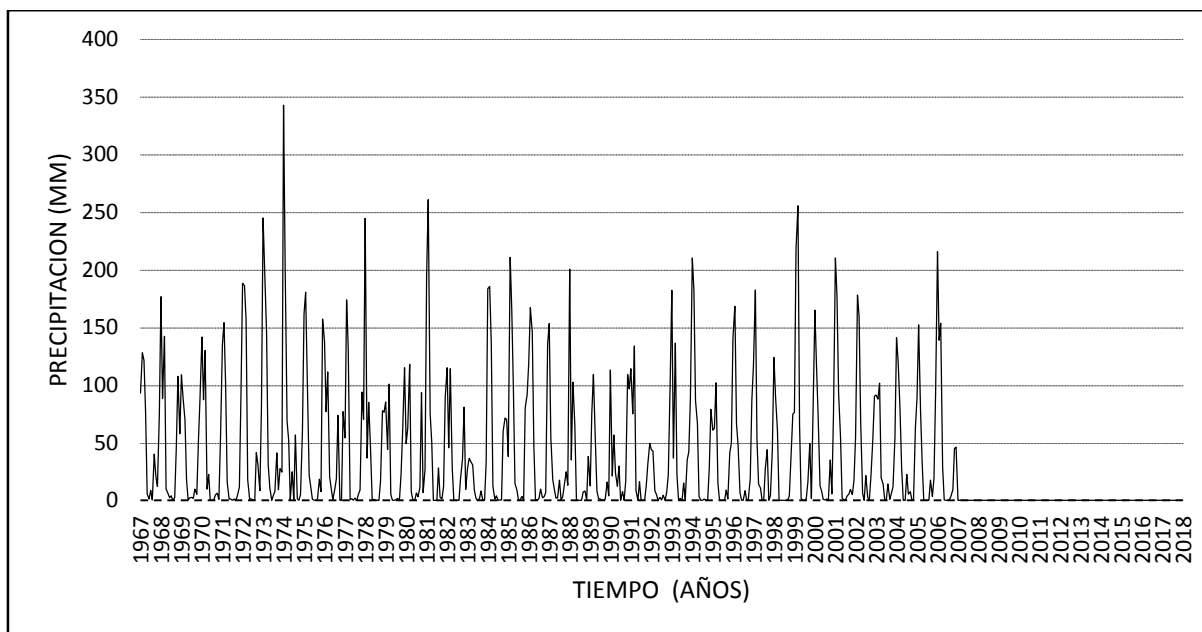


Figura 28. Histograma de precipitación total mensual (mm) – estación Imata – periodo (1967 – 2006).

Fuente: SENAMHI.

a) Del análisis de doble masa.

La Tabla 26, muestra la precipitación anual acumulada del grupo 1; la que está conformada por las estaciones de Llallí, Ayaviri y Pucara.

En la Figura 29, se muestra la interpretación gráfica de la precipitación anual acumulada “diagramas de doble masa” del grupo 1, del análisis visual inicial del gráfico podemos decir que no presentan quiebres significativos, por ende los datos históricos son confiables, tanto como de la estación Llallí, Ayaviri y Pucara, por otro lado para realizar un análisis estadístico se halla en la estación de Pucara un periodo consistente que está comprendida entre 1967 – 1984, y un periodo dudoso entre 1985 – 1993 a su vez esta se verifica el periodo de 1967 – 1993 con el periodo de 1994 – 2016. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 13.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Pucara.

Parámetro	1967 -1984	1985-1993
Media (X1; X2)	770.2056	776.2222
Desviación Estándar. (S1; S2)	202.8862	149.1
Varianza (S21; S22)	41162.82	22230.81
N.º datos	18	9
Grados de libertad	17	8
T calculado.	0.93793	OK
T tabular	2.059539	
F calculado	1.851611	OK
F tabular	3.186701	

Tabla 14.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Pucara.

Parámetro	1967 -1993	1994-2016
Media (X1; X2)	772.2111	734.1372
Desviación Estándar. (S1; S2)	183.7464	121.9988
Varianza (S21; S22)	33762.75	14883.7
N.º datos	27	23
Grados de libertad	26	22
T calculado.	0.401325	OK
T tabular	2.010635	
F calculado	2.268439	OK
F tabular	3.186701	

La Tabla 27, muestra la precipitación anual acumulada del grupo 2; la que está conformada por las estaciones de Santa Lucia, Cabanillas, Quillisani, Pampahuata, Mañazo e Ichuña.

En el grafico 30 se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de precipitación; los cuales no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los datos históricos de precipitación totales mensuales de las estaciones de Santa Lucia, Cabanillas, Quillisani, Pampahuata y Mañazo, la estación de Ichuña presenta un quiebre considerable para lo cual se realizara el análisis de doble masa y el análisis

estadístico en periodos donde presenta quiebres que representa saltos y/o tendencia, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 15.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Ichuña.

Parámetro	1967 -1971	1972-1980
Media (X1 ;X2)	591.56	538.5889
Desviación Estándar. (S1; S2)	123.258	112.0805
Varianza (S21; S22)	15192.52	12562.04
Nº datos	5	9
Grados de libertad	4	8
T calculado.	0.428632	OK
T tabular	2.178813	
F calculado	1.209399	OK
F tabular	3.837853	

Tabla 16.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Ichuña.

Parámetro	1967 -1980	1981-1984
Media (X1 ;X2)	557.5071	536.925
Desviación Estándar. (S1; S2)	114.4504	228.5736
Varianza (S21; S22)	13098.89	52245.89
Nº datos	14	4
Grados de libertad	13	3
T calculado.	0.802782	OK
T tabular	2.119905	
F calculado	3.988575	OK
F tabular	8.728681	

Tabla 17.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Ichuña.

Parámetro	1967 -1984	1985-2006
Media (X1 ;X2)	552.9333	521.7818
Desviación Estándar. (S1; S2)	138.9755	143.5613
Varianza (S21; S22)	19314.18	20609.85
Nº datos	18	22
Grados de libertad	17	21
T calculado.	0.4928	OK
T tabular	2.024394	
F calculado	1.067083	OK
F tabular	2.138872	

Tabla 18.
Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Quillisani.

Parámetro	1967 -1983	1984-2006
Media (X1 ;X2)	835.1353	885.9257
Desviación Estándar. (S1; S2)	222.539	151.5582
Varianza (S21; S22)	49523.6	22969.89
Nº datos	17	23
Grados de libertad	16	22
T calculado.	0.395567	OK
T tabular	2.024394	
F calculado	2.124022	OK
F tabular	2.131264	

Tabla 19.
Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Pampahuata.

Parámetro	1967 -1983	1984-2006
Media (X1 ;X2)	763.5353	831.3783
Desviación Estándar. (S1; S2)	155.7146	177.6596
Varianza (S21; S22)	24247.05	31562.93
Nº datos	17	23
Grados de libertad	16	22
T calculado.	0.216489	OK
T tabular	2.024394	
F calculado	0.297793	OK
F tabular	0.44369	

En la Tabla 28, muestra la precipitación anual acumulada del grupo 3; la que está conformada por las estaciones de Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.

En el grafico 31 se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de precipitación totales mensuales de las estaciones estudiadas; los cuales no presentan quiebres significativos; en consecuencia, se puede afirmar que los datos históricos de precipitación totales mensuales de las estaciones de Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno son consistentes, para validar la observación se realiza el análisis estadístico en periodos donde se pueda encontrar saltos y/o tendencia.

Tabla 20.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación de Lampa.

Parámetro	1967 -1993	1994-2006
Media (X1 ;X2)	700.2063	711.6182
Desviación Estándar. (S1; S2)	193.9046	183.1457
Varianza (S21; S22)	37598.98	33542.35
Nº datos	16	22
Grados de libertad	15	21
T calculado.	0.854236	OK
T tabular	2.028094	
F calculado	1.120941	OK
F tabular	2.17567	

Tabla 21.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Taraco.

Parámetro	1967 -1984	1985-2006
Media (X1 ;X2)	569.6647	611.8429
Desviación Estándar. (S1; S2)	168.019	135.5171
Varianza (S21; S22)	28230.37	18364.88
Nº datos	17	21
Grados de libertad	16	20
T calculado.	0.397047	OK
T tabular	2.028094	
F calculado	1.537193	OK
F tabular	2.183983	

Tabla 22.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Capachica.

Parámetro	1967 -1984	1985-2006
Media (X1 ;X2)	784.3727	829.8125
Desviación Estándar. (S1; S2)	200.803	186.3342
Varianza (S21; S22)	40321.83	34720.45
Nº datos	22	16
Grados de libertad	21	15
T calculado.	0.482544	OK
T tabular	2.028094	
F calculado	1.161328	OK
F tabular	2.316317	

Tabla 23.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Puno.

Parámetro	1967 -1994	1995-2006
Media (X1 ;X2)	732.9926	798.1455
Desviación Estándar. (S1; S2)	193.188	136.5355
Varianza (S21; S22)	37321.58	18641.95
Nº datos	27	11
Grados de libertad	26	10
T calculado.	0.316352	OK
T tabular	2.028094	
F calculado	2.002021	OK
F tabular	2.722863	

En la Tabla 29, muestra la precipitación anual acumulada del grupo 4; la que está conformada por las estaciones de Condorama, Crucero alto y Imata.

En el grafico 32 se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de precipitación totales mensuales de las estaciones estudiadas; los cuales no presentan quiebres significativos; en consecuencia, se puede afirmar que los datos históricos de precipitación totales mensuales de las estaciones de Condorama, Crucero alto y Imata son consistentes, para validar la observación se realiza el análisis estadístico en periodos donde se pueda encontrar saltos y/o tendencia.

Tabla 24.

Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Crucero alto.

Parámetro	1967 -1992	1993-2006
Media (X1 ;X2)	589.5038	669.4271
Desviación Estándar. (S1; S2)	185.9958	126.4834
Varianza (S21; S22)	34594.43	15998.06
Nº datos	26	14
Grados de libertad	25	13
T calculado.	0.159498	OK
T tabular	2.024394	
F calculado	2.162415	OK
F tabular	2.412321	

Tabla 25.
Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de precipitación de la estación Imata.

Parámetro	1967 -1990	1991-2006
Media (X1 ;X2)	542.2042	509.6875
Desviación Estándar. (S1; S2)	160.3403	133.1533
Variación (S21; S22)	25709	17729.79
Nº datos	24	16
Grados de libertad	23	15
T calculado.	0.506419	OK
T tabular	2.024394	
F calculado	1.450046	OK
F tabular	2.296567	

Tabla 26.

Análisis de doble masa estaciones del grupo 1: Llallí, Ayaviri, Pucara.

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION I							
	Estación Llallí		Estación Ayaviri		Estación Pucara		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	682.50	682.50	628.70	628.70	745.00	745.00	685.40	685.40
1968	724.80	1407.30	643.60	1272.30	865.00	1610.00	744.47	1429.87
1969	528.60	1935.90	432.60	1704.90	438.00	2048.00	466.40	1896.27
1970	799.60	2735.50	628.10	2333.00	704.60	2752.60	710.77	2607.03
1971	728.50	3464.00	490.20	2823.20	722.90	3475.50	647.20	3254.23
1972	866.00	4330.00	610.80	3434.00	606.40	4081.90	694.40	3948.63
1973	854.60	5184.60	869.90	4303.90	827.60	4909.50	850.70	4799.33
1974	1013.60	6198.20	788.90	5092.80	717.10	5626.60	839.87	5639.20
1975	726.10	6924.30	804.40	5897.20	800.90	6427.50	777.13	6416.33
1976	783.00	7707.30	371.00	6268.20	747.70	7175.20	633.90	7050.23
1977	761.80	8469.10	337.30	6605.50	827.00	8002.20	642.03	7692.27
1978	1104.60	9573.70	844.00	7449.50	1133.00	9135.20	1027.20	8719.47
1979	855.50	10429.20	674.50	8124.00	785.20	9920.40	771.73	9491.20
1980	603.20	11032.40	438.00	8562.00	567.80	10488.20	536.33	10027.53
1981	972.00	12004.40	684.40	9246.40	856.90	11345.10	837.77	10865.30
1982	874.00	12878.40	891.60	10138.00	788.30	12133.40	851.30	11716.60
1983	566.00	13444.40	389.10	10527.10	454.70	12588.10	469.93	12186.53
1984	1367.00	14811.40	934.50	11461.60	1275.60	13863.70	1192.37	13378.90
1985	824.30	15635.70	872.60	12334.20	1106.70	14970.40	934.53	14313.43
1986	744.00	16379.70	787.90	13122.10	889.50	15859.90	807.13	15120.57
1987	596.00	16975.70	564.90	13687.00	646.80	16506.70	602.57	15723.13
1988	740.00	17715.70	653.40	14340.40	757.30	17264.00	716.90	16440.03
1989	780.00	18495.70	611.70	14952.10	614.10	17878.10	668.60	17108.63
1990	959.00	19454.70	657.80	15609.90	776.10	18654.20	797.63	17906.27
1991	664.00	20118.70	649.00	16258.90	717.90	19372.10	676.97	18583.23
1992	653.00	20771.70	481.50	16740.40	683.10	20055.20	605.87	19189.10
1993	1012.90	21784.60	845.00	17585.40	794.50	20849.70	884.13	20073.23
1994	832.40	22617.00	608.20	18193.60	715.90	21565.60	718.83	20792.07
1995	701.10	23318.10	567.40	18761.00	492.10	22057.70	586.87	21378.93
1996	773.40	24091.50	584.80	19345.80	631.60	22689.30	663.27	22042.20
1997	976.40	25067.90	825.60	20171.40	832.90	23522.20	878.30	22920.50
1998	780.80	25848.70	558.50	20729.90	551.30	24073.50	630.20	23550.70
1999	936.50	26785.20	649.60	21379.50	606.20	24679.70	730.77	24281.47
2000	838.00	27623.20	702.70	22082.20	675.40	25355.10	738.70	25020.17
2001	742.00	28365.20	684.20	22766.40	892.20	26247.30	772.80	25792.97
2002	887.60	29252.80	843.10	23609.50	1022.60	27269.90	917.77	26710.73
2003	677.70	29930.50	735.40	24344.90	728.30	27998.20	713.80	27424.53
2004	787.00	30717.50	860.30	25205.20	995.30	28993.50	880.87	28305.40
2005	817.00	31534.50	706.40	25911.60	698.30	29691.80	740.57	29045.97
2006	950.10	32484.60	702.30	26613.90	713.80	30405.60	788.73	29834.70
2007	914.90	33399.50	749.60	27363.50	755.77	31161.37	806.76	30641.46
2008	798.20	34197.70	660.64	28024.14	710.76	31872.12	723.20	31364.66
2009	805.90	35003.60	666.51	28690.66	713.73	32585.85	728.71	32093.37
2010	842.20	35845.80	694.18	29384.84	727.73	33313.58	754.70	32848.07
2011	1028.20	36874.00	835.97	30220.81	799.46	34113.04	887.88	33735.95
2012	1001.00	37875.00	815.24	31036.04	788.97	34902.01	868.40	34604.35
2013	954.80	38829.80	780.02	31816.06	771.15	35673.17	835.32	35439.68
2014	720.10	39549.90	601.11	32417.17	680.64	36353.80	667.28	36106.96
2015	727.80	40277.70	606.98	33024.14	683.60	37037.41	672.79	36779.75
2016	631.10	40908.80	634.34	33658.49	697.45	37734.86	654.30	37434.05
2017	0.00	F	534.80	34193.29	0.00	F	178.27	37612.31

Tabla 27.

Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Pampahuata, Cabanillas, Mañazo, Quillisani y Ichuña

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION II													
	Estación Santa Lucia		Estación Pampahuata		Estación Cabanillas		Estación Mañazo		Estación Quillisani		Estación Ichuña		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	809.4	809.4	672.1	672.1	566.6	566.6	489.0	489.0	736.2	736.2	436.9	436.9	618.4	618.4
1968	731.6	1541.0	871.1	1543.2	500.9	1067.5	715.8	1204.8	995.3	1731.5	511.4	948.3	721.0	1339.4
1969	660.3	2201.3	586.2	2129.4	401.3	1468.8	633.6	1838.4	655.4	2386.9	731.2	1679.5	611.3	1950.7
1970	698.0	2899.3	804.2	2933.6	556.8	2025.6	701.7	2540.1	916.7	3303.6	695.7	2375.2	728.9	2679.6
1971	630.3	3529.6	818.5	3752.1	524.7	2550.3	617.8	3157.9	765.0	4068.6	582.6	2957.8	656.5	3336.1
1972	708.8	4238.4	755.6	4507.7	726.6	3276.9	709.0	3866.9	832.1	4900.7	669.1	3626.9	733.5	4069.6
1973	1036.6	5275.0	1064.1	5571.8	730.1	4007.0	830.1	4697.0	1104.2	6004.9	546.9	4173.8	885.3	4954.9
1974	976.4	6251.4	815.5	6387.3	839.7	4846.7	968.4	5665.4	894.4	6899.3	643.0	4816.8	856.2	5811.2
1975	856.0	7107.4	942.8	7330.1	757.8	5604.5	937.2	6602.6	1001.3	7900.6	603.0	5419.8	849.7	6660.8
1976	772.8	7880.2	681.6	8011.7	599.6	6204.1	733.3	7335.9	860.8	8761.4	502.9	5922.7	691.8	7352.7
1977	1113.2	8993.4	711.6	8723.3	781.8	6985.9	676.0	8011.9	733.0	9494.4	631.2	6553.9	774.5	8127.1
1978	810.0	9803.4	852.3	9575.6	815.6	7801.5	1256.0	9267.9	969.9	10464.3	446.8	7000.7	858.4	8985.6
1979	498.6	10302.0	722.4	10298.0	660.0	8461.5	571.5	9839.4	926.2	11390.5	482.4	7483.1	643.5	9629.1
1980	504.0	10806.0	637.8	10935.8	554.0	9015.5	658.2	10497.7	708.0	12098.5	322.0	7805.1	564.0	10193.1
1981	784.3	11590.3	934.2	11870.0	597.8	9613.3	769.0	11266.6	1057.2	13155.7	679.6	8484.7	803.7	10996.8
1982	671.6	12261.9	722.1	12592.1	350.5	9963.8	462.0	11728.8	913.8	14069.5	468.3	8953.0	598.1	11594.8
1983	249.1	12511.0	388.0	12980.1	273.9	10237.7	199.0	11927.7	127.8	14197.3	246.0	9199.0	247.3	11842.1
1984	990.0	13501.0	1202.0	14182.1	852.7	11090.4	1112.0	13039.9	1055.0	15252.3	753.8	9952.8	994.3	12836.4
1985	761.7	14262.7	984.1	15166.2	834.3	11924.7	902.0	13941.1	1135.8	16388.1	581.7	10534.5	866.6	13703.0
1986	811.3	15074.0	1071.1	16237.3	841.5	12766.2	887.0	14828.8	1099.3	17487.4	713.5	11248.0	904.0	14606.9
1987	403.4	15477.4	513.7	16751.0	530.1	13296.3	664.0	15492.2	729.7	18217.1	424.8	11672.8	544.3	15151.2
1988	660.6	16138.0	731.7	17482.7	811.8	14108.1	716.0	16208.8	845.6	19062.7	375.7	12048.5	690.2	15841.4
1989	449.6	16587.6	638.1	18120.8	539.8	14647.9	508.0	16716.6	713.0	19775.7	337.3	12385.8	531.0	16372.4
1990	582.8	17170.4	684.2	18805.0	650.8	15298.7	667.0	17383.3	801.0	20576.7	416.3	12802.1	633.7	17006.1
1991	472.3	17642.7	748.4	19553.4	584.2	15882.9	584.0	17967.7	763.0	21339.7	357.7	13159.8	584.9	17591.0
1992	624.0	18266.7	492.2	20045.6	394.5	16277.4	499.0	18466.6	668.0	22007.7	236.9	13396.7	485.8	18076.8
1993	526.0	18792.7	924.0	20969.6	733.4	17010.8	707.2	19173.3	759.0	22766.7	627.0	14023.7	712.8	18789.6
1994	761.0	19553.7	933.0	21902.6	681.3	17692.1	754.7	19928.8	876.0	23642.7	751.6	14775.3	792.9	19582.5
1995	484.0	20037.7	669.2	22571.8	416.4	18108.5	481.9	20410.1	811.0	24453.7	390.1	15165.4	542.1	20124.6
1996	801.0	20838.7	957.9	23529.7	672.7	18781.2	666.6	21077.7	889.0	25342.7	617.9	15783.3	767.5	20892.1
1997	845.0	21683.7	844.8	24374.5	913.8	19695.0	834.2	21911.1	984.0	26326.7	616.1	16399.4	839.7	21731.8
1998	645.0	22328.7	629.5	25004.0	605.9	20300.9	548.2	22459.9	620.0	26946.7	432.6	16832.0	580.2	22312.0
1999	860.0	23188.7	930.8	25934.8	661.8	20962.7	743.0	23202.2	1010.0	27956.7	634.3	17466.3	806.7	23118.6
2000	698.0	23886.7	928.0	26862.8	787.0	21749.7	634.8	23837.7	913.0	28869.7	577.9	18044.2	756.5	23875.1
2001	0.0	F	993.1	27855.9	852.4	22602.1	971.2	24808.8	1042.4	29912.1	733.5	18777.7	765.4	24640.5
2002	0.0	F	980.5	28836.4	929.0	23531.1	718.2	25526.6	1163.0	31075.2	678.9	19456.6	744.9	25385.4
2003	0.0	F	868.7	29705.1	698.0	24229.1	559.0	26085.6	868.9	31944.0	411.1	19867.7	567.6	25953.0
2004	0.0	F	721.9	30427.0	537.3	24766.4	545.2	26630.0	758.2	32702.3	498.8	20366.5	510.2	26463.3
2005	0.0	F	812.7	31239.7	662.1	25428.5	638.5	27269.9	904.8	33607.1	495.2	20861.7	585.6	27048.8
2006	792.5	792.5	862.1	32101.8	743.6	26172.1	671.6	27940.0	966.5	34573.6	570.3	21432.0	767.8	27816.6
2007	641.2	1433.7	0.0	F	710.3	26882.4	0.0	F	0.0	F	0.0	F	225.3	28041.8
2008	660.4	2094.1	0.0	F	678.6	27561.0	0.0	F	0.0	F	0.0	F	223.2	28265.0
2009	688.6	2782.7	0.0	F	620.4	28181.4	0.0	F	0.0	F	0.0	F	218.2	28483.2
2010	701.8	3484.5	0.0	F	620.7	28802.1	0.0	F	0.0	F	0.0	F	220.4	28703.6
2011	656.2	4140.7	0.0	F	843.5	29645.6	0.0	F	0.0	F	0.0	F	250.0	28953.5
2012	931.9	5072.6	0.0	F	855.2	30500.8	0.0	F	0.0	F	0.0	F	297.9	29251.4
2013	509.2	5581.8	0.0	F	691.6	31192.4	0.0	F	0.0	F	0.0	F	200.1	29451.5
2014	0.0	F	0.0	F	657.4	31849.8	0.0	F	0.0	F	0.0	F	109.6	29561.1
2015	0.0	F	0.0	F	365.7	32215.5	0.0	F	0.0	F	0.0	F	61.0	29622.0
2016	0.0	F	0.0	F	510.6	32726.1	0.0	F	0.0	F	0.0	F	85.1	29707.1
2017	0.0	F	0.0	F	761.0	33487.1	0.0	F	0.0	F	0.0	F	126.8	29834.0

Tabla 28.

Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION III											
	Estación Lampa		Estación Juliaca		Estación Taraco		Estación Capachica		Estación Puno		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	646.80	646.80	556.90	556.90	496.40	496.40	834.30	834.30	694.80	694.80	645.84	645.84
1968	733.30	1380.10	591.20	1148.10	520.00	1016.40	874.10	1708.40	624.20	1319.00	668.56	1314.40
1969	514.60	1894.70	396.80	1544.90	347.40	1363.80	484.70	2193.10	503.80	1822.80	449.46	1763.86
1970	592.30	2487.00	654.30	2199.20	527.80	1891.60	606.60	2799.70	568.00	2390.80	589.80	2353.66
1971	566.40	3053.40	586.70	2785.90	402.90	2294.50	627.80	3427.50	652.60	3043.40	567.28	2920.94
1972	668.30	3721.70	666.50	3452.40	567.90	2862.40	650.90	4078.40	798.10	3841.50	670.34	3591.28
1973	820.10	4541.80	559.80	4012.20	563.70	3426.10	777.20	4855.60	797.00	4638.50	703.56	4294.84
1974	673.50	5215.30	535.60	4547.80	630.10	4056.20	794.40	5650.00	750.80	5389.30	676.88	4971.72
1975	651.30	5866.60	662.40	5210.20	577.70	4633.90	970.90	6620.90	951.60	6340.90	762.78	5734.50
1976	569.10	6435.70	431.70	5641.90	406.20	5040.10	672.70	7293.60	758.00	7098.90	567.54	6302.04
1977	853.90	7289.60	605.60	6247.50	647.50	5687.60	789.70	8083.30	742.40	7841.30	727.82	7029.86
1978	1192.00	8481.60	715.70	6963.20	684.70	6372.30	837.10	8920.40	828.00	8669.30	851.50	7881.36
1979	719.70	9201.30	489.10	7452.30	609.50	6981.80	720.60	9641.00	527.30	9196.60	613.24	8494.60
1980	647.50	9848.80	519.10	7971.40	466.30	7448.10	495.60	10136.60	614.40	9811.00	548.58	9043.18
1981	829.10	10677.90	809.20	8780.60	748.30	8196.40	891.00	11027.60	811.70	10622.70	817.86	9861.04
1982	861.70	11539.60	712.80	9493.40	578.60	8775.00	821.00	11848.60	794.80	11417.50	753.78	10614.82
1983	310.50	11850.10	420.70	9914.10	355.90	9130.90	623.00	12471.60	434.10	11851.60	428.84	11043.66
1984	1158.60	13008.70	1044.60	10958.70	1049.80	10180.70	1250.10	13721.70	1290.60	13142.20	1158.74	12202.40
1985	1369.10	14377.80	845.90	11804.60	1269.80	11450.50	955.40	14677.10	1072.50	14214.70	1102.54	13304.94
1986	739.50	15117.30	690.60	12495.20	1098.50	12549.00	1161.90	15839.00	927.40	15142.10	923.58	14228.52
1987	641.50	15758.80	491.40	12986.60	659.60	13208.60	496.00	16335.00	630.70	15772.80	583.84	14812.36
1988	751.30	16510.10	673.30	13659.90	662.70	13871.30	809.70	17144.70	847.70	16620.50	748.94	15561.30
1989	500.10	17010.20	445.10	14105.00	465.20	14336.50	945.80	18090.50	684.60	17305.10	608.16	16169.46
1990	551.70	17561.90	445.10	14550.10	717.40	15053.90	830.10	18920.60	646.80	17951.90	638.22	16807.68
1991	616.10	18178.00	499.40	15049.50	655.30	15709.20	856.40	19777.00	596.80	18548.70	644.80	17452.48
1992	516.90	18694.90	427.50	15477.00	542.30	16251.50	646.20	20423.20	374.10	18922.80	501.40	17953.88
1993	664.60	19359.50	683.30	16160.30	616.70	16868.20	1123.30	21546.50	759.20	19682.00	769.42	18723.30
1994	636.60	19996.10	497.40	16657.70	622.40	17490.60	1119.00	22665.50	803.60	20485.60	735.80	19459.10
1995	482.70	20478.80	499.20	17156.90	653.10	18143.70	655.20	23320.70	543.30	21028.90	566.70	20025.80
1996	708.40	21187.20	545.50	17702.40	432.10	18575.80	669.40	23990.10	753.50	21782.40	621.78	20647.58
1997	857.70	22044.90	662.50	18364.90	710.90	19286.70	945.70	24935.80	908.90	22691.30	817.14	21464.72
1998	568.30	22613.20	464.00	18828.90	531.10	19817.80	491.20	25427.00	615.10	23306.40	533.94	21998.66
1999	744.10	23357.30	649.00	19477.90	544.60	20362.40	956.50	26383.50	1003.90	24310.30	779.62	22778.28
2000	686.60	24043.90	663.00	20140.90	459.70	20822.10	700.40	27083.90	740.60	25050.90	650.06	23428.34
2001	787.20	24831.10	498.20	20639.10	546.20	21368.30	980.90	28064.80	1006.80	26057.70	763.86	24192.20
2002	828.50	25659.60	802.20	21441.30	571.70	21940.00	1045.70	29110.50	908.80	26966.50	831.38	25023.58
2003	702.60	26362.20	646.10	22087.40	590.00	22530.00	878.40	29988.90	714.10	27680.60	706.24	25729.82
2004	748.30	27110.50	618.80	22706.20	593.60	23123.60	760.50	30749.40	678.40	28359.00	679.92	26409.74
2005	861.60	27972.10	720.80	23427.00	597.60	23721.20	740.90	31490.30	674.50	29033.50	719.08	27128.82
2006	692.20	28664.30	621.30	24048.30	578.00	24299.20	707.30	32197.60	775.00	29808.50	674.76	27803.58
2007	753.10	29417.40	647.80	24696.10	0.00	F	0.00	F	0.00	F	280.18	28083.76
2008	623.60	30041.00	650.70	25346.80	0.00	F	0.00	F	0.00	F	254.86	28338.62
2009	688.30	30729.30	599.60	25946.40	0.00	F	0.00	F	0.00	F	257.58	28596.20
2010	552.60	31281.90	441.20	26387.60	0.00	F	0.00	F	0.00	F	198.76	28794.96
2011	1006.10	32288.00	600.90	26988.50	0.00	F	0.00	F	0.00	F	321.40	29116.36
2012	860.10	33148.10	683.50	27672.00	0.00	F	0.00	F	0.00	F	308.72	29425.08
2013	656.40	33804.50	597.80	28269.80	0.00	F	0.00	F	0.00	F	250.84	29675.92
2014	749.80	34554.30	664.50	28934.30	0.00	F	0.00	F	0.00	F	282.86	29958.78
2015	705.90	35260.20	678.90	29613.20	0.00	F	0.00	F	0.00	F	276.96	30235.74
2016	1200.10	36460.30	506.30	30119.50	0.00	F	0.00	F	0.00	F	341.28	30577.02
2017	0.00	F	682.80	30802.30	0.00	F	0.00	F	0.00	F	136.56	30713.58

Tabla 29.

*Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 4:
Condoroma, Crucero alto y Imata.*

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION IV							
	Estación Condoroma		Estación Crucero Alto		Estación Imata		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	660.66	660.66	634.90	634.90	582.00	582.00	625.85	625.85
1968	698.13	1358.79	990.00	1624.90	643.60	1225.60	777.24	1403.10
1969	565.43	1924.22	523.30	2148.20	446.60	1672.20	511.78	1914.87
1970	632.46	2556.68	526.70	2674.90	456.60	2128.80	538.59	2453.46
1971	631.73	3188.41	389.70	3064.60	516.20	2645.00	512.54	2966.00
1972	825.22	4013.63	616.30	3680.90	713.50	3358.50	718.34	3684.34
1973	895.23	4908.86	845.70	4526.60	737.30	4095.80	826.08	4510.42
1974	789.16	5698.02	765.90	5292.50	815.90	4911.70	790.32	5300.74
1975	796.98	6495.00	714.90	6007.40	653.70	5565.40	721.86	6022.60
1976	733.35	7228.35	504.90	6512.30	536.50	6101.90	591.58	6614.18
1977	475.50	7703.85	749.50	7261.80	542.90	6644.80	589.30	7203.48
1978	589.80	8293.65	396.90	7658.70	589.00	7233.80	525.23	7728.72
1979	609.90	8903.55	505.80	8164.50	434.30	7668.10	516.67	8245.38
1980	423.10	9326.65	345.90	8510.40	385.30	8053.40	384.77	8630.15
1981	649.40	9976.05	683.50	9193.90	715.70	8769.10	682.87	9313.02
1982	653.40	10629.45	704.50	9898.40	447.80	9216.90	601.90	9914.92
1983	328.60	10958.05	230.80	10129.20	183.20	9400.10	247.53	10162.45
1984	1037.20	11995.25	914.90	11044.10	723.80	10123.90	891.97	11054.42
1985	714.60	12709.85	723.00	11767.10	710.90	10834.80	716.17	11770.58
1986	843.10	13552.95	668.50	12435.60	639.10	11473.90	716.90	12487.48
1987	413.10	13966.05	407.10	12842.70	313.70	11787.60	377.97	12865.45
1988	712.00	14678.05	571.40	13414.10	457.00	12244.60	580.13	13445.58
1989	544.10	15222.15	464.10	13878.20	281.90	12526.50	430.03	13875.62
1990	655.80	15877.95	607.70	14485.90	486.40	13012.90	583.30	14458.92
1991	706.70	16584.65	513.80	14999.70	440.60	13453.50	553.70	15012.62
1992	338.00	16922.65	327.40	15327.10	241.90	13695.40	302.43	15315.05
1993	947.60	17870.25	770.80	16097.90	560.10	14255.50	759.50	16074.55
1994	731.00	18601.25	927.00	17024.90	657.10	14912.60	771.70	16846.25
1995	585.20	19186.45	611.80	17636.70	341.10	15253.70	512.70	17358.95
1996	702.00	19888.45	682.60	18319.30	545.50	15799.20	643.37	18002.32
1997	812.50	20700.95	566.60	18885.90	496.20	16295.40	625.10	18627.42
1998	516.30	21217.25	468.00	19353.90	388.50	16683.90	457.60	19085.02
1999	886.20	22103.45	840.35	20194.25	761.50	17445.40	829.35	19914.37
2000	791.40	22894.85	607.42	20801.67	493.90	17939.30	630.91	20545.27
2001	763.19	23658.04	693.83	21495.50	579.00	18518.30	678.67	21223.95
2002	781.30	24439.34	775.78	22271.28	654.20	19172.50	737.09	21961.04
2003	661.92	25101.26	533.10	22804.38	403.00	19575.50	532.67	22493.71
2004	642.17	25743.43	583.57	23387.95	466.20	20041.70	563.98	23057.69
2005	613.57	26357.00	603.57	23991.52	484.70	20526.40	567.28	23624.97
2006	711.13	27068.13	707.56	24699.08	641.50	21167.90	686.73	24311.70
2007	0.00	F	471.50	25170.58	0.00	F	157.17	24468.87
2008	0.00	F	414.70	25585.28	0.00	F	138.23	24607.10
2009	0.00	F	435.10	26020.38	0.00	F	145.03	24752.14
2010	0.00	F	641.90	26662.28	0.00	F	213.97	24966.10
2011	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10
2012	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10
2013	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10
2014	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10
2015	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10
2016	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10
2017	0.00	F	0.00	F	0.00	F	0.00	24966.10

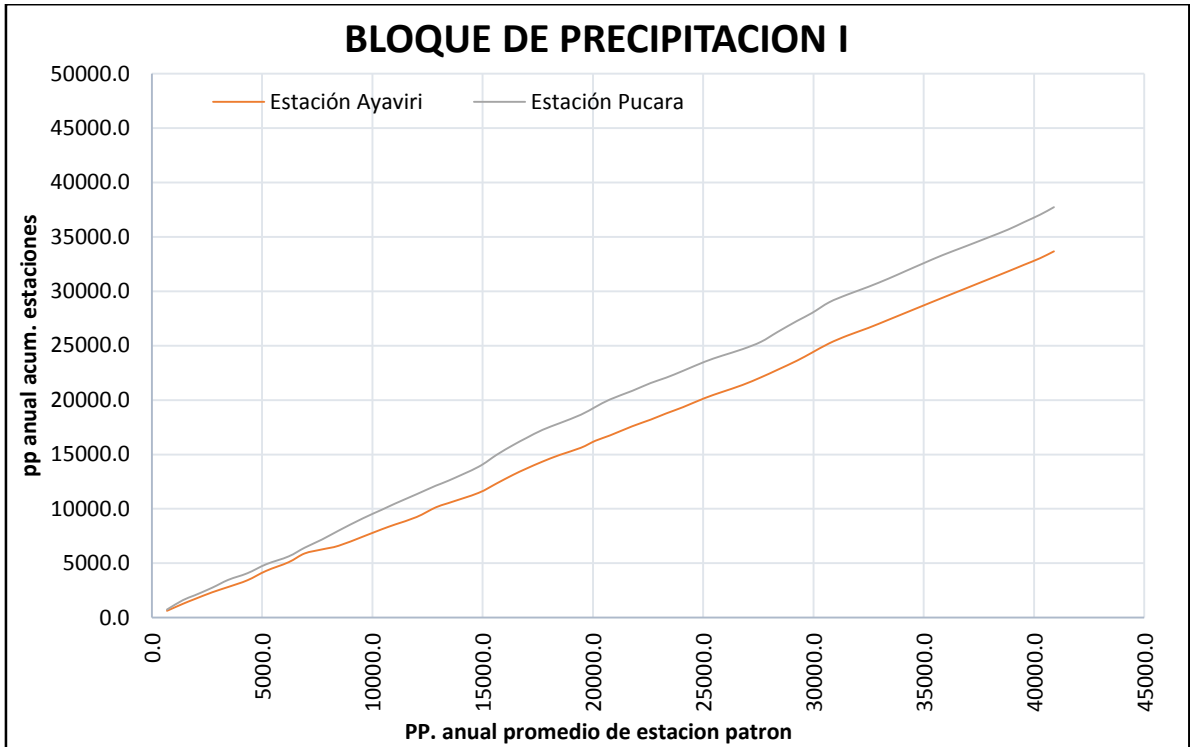


Figura 29. Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 1: Llallí, Ayaviri y Pucara.

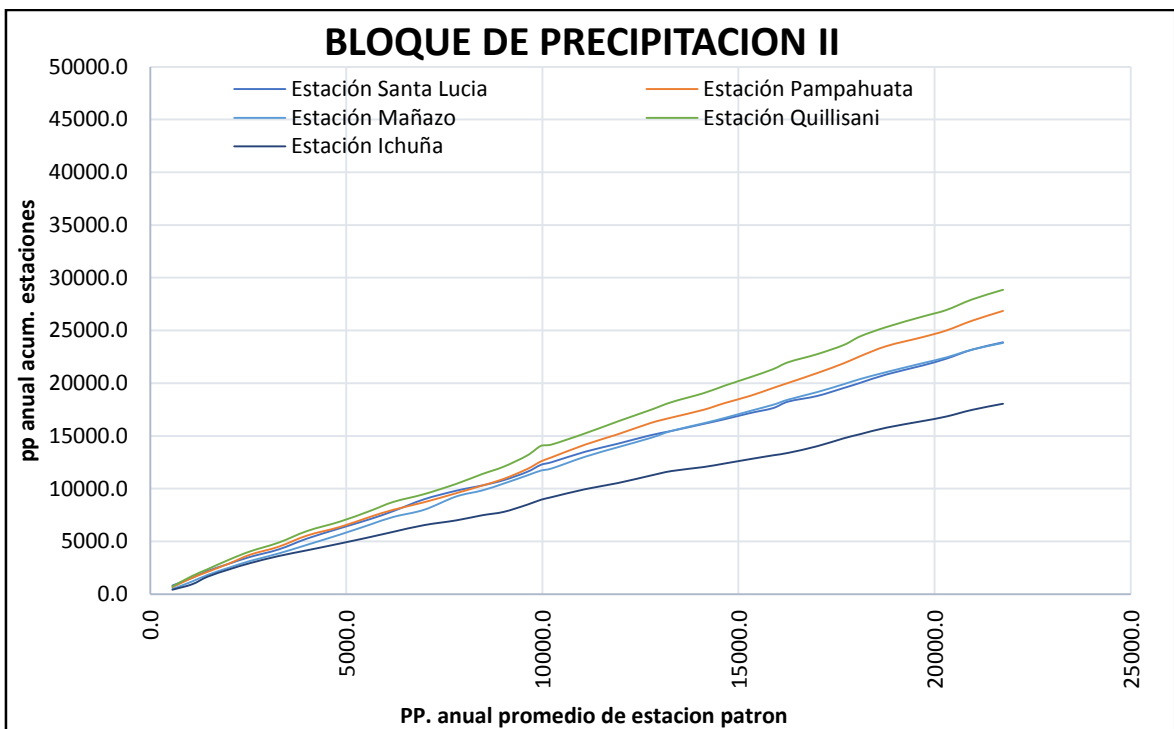


Figura 30. Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Cabanillas, Quillasini, Pampahuata, Mañazo y Ichuña.

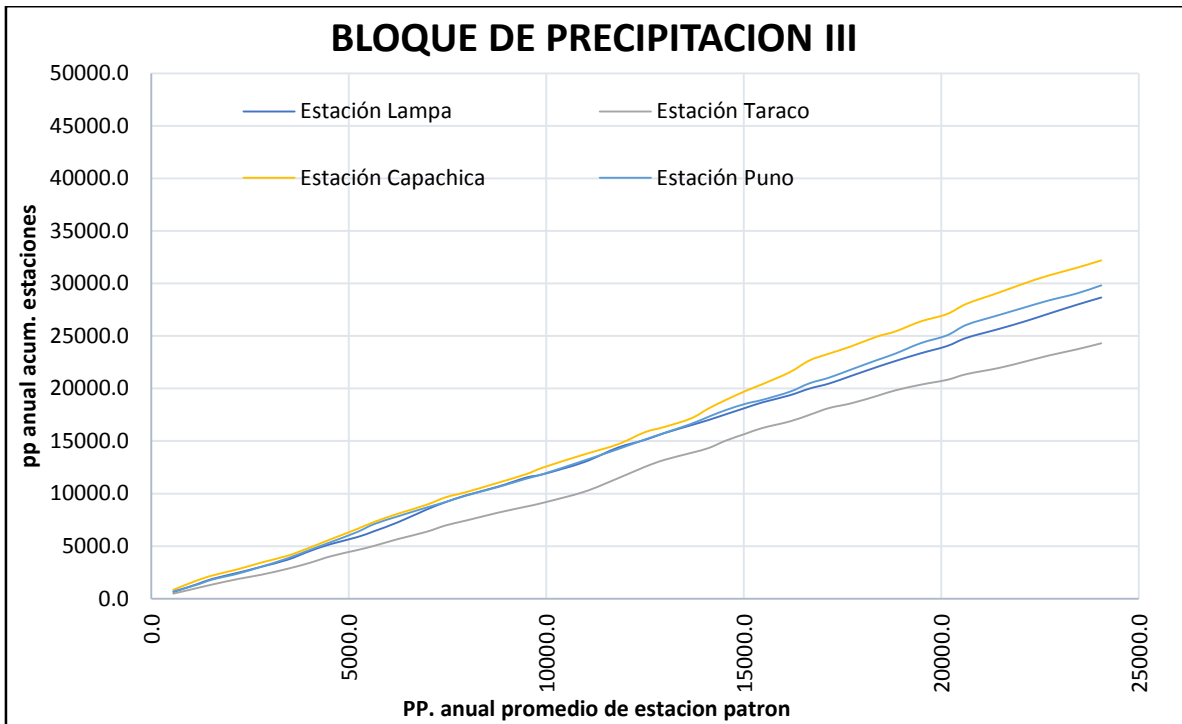


Figura 31. Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.

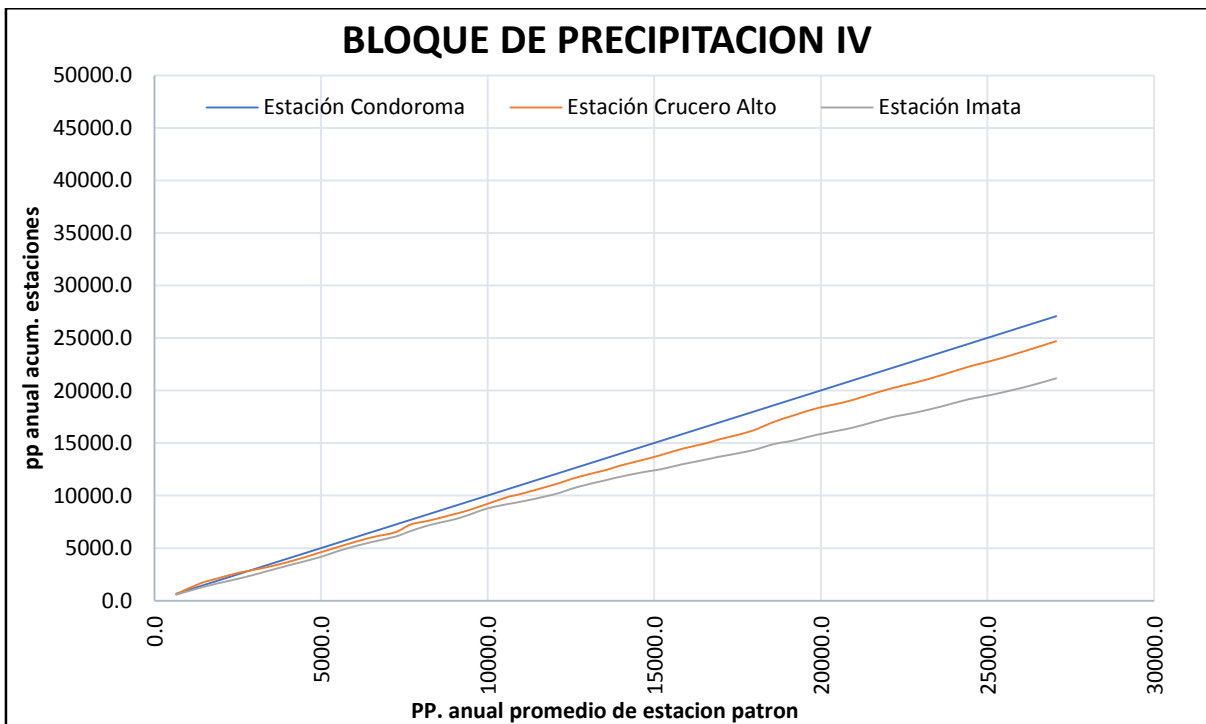


Figura 32. Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del Grupo 4: Condoroma, Crucero alto y Imata.

4.5. COMPLETADO Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

4.5.1. Resultados y Discusión

Para realizar el relleno y completado, así como también la extensión de valores ausentes, se apoyó en el método estadístico de la ecuación de regresión lineal y el método de los promedios, para lo cual recurrimos al Software “Excel 2010”.

En todos los bloques “grupos” de precipitación la extensión y completación de los valores ausentes de las series incompletas se ha realizado en base a la serie completa de la estación índice.

Se realiza el análisis de doble masa de los valores extendidos con el fin de descartar inconsistencia en la información con la que se trabaja.

Tabla 30.

Análisis de doble masa de precipitación total anual de datos extendidos de las estaciones del Grupo 1: Llallí, Ayaviri y Pucara.

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION I							
	Estación Llalli		Estación Ayaviri		Estación Pucara		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	628.70	628.70	628.70	628.70	745.00	745.00	667.47	667.47
1968	643.60	1272.30	643.60	1272.30	865.00	1610.00	717.40	1384.87
1969	432.60	1704.90	432.60	1704.90	438.00	2048.00	434.40	1819.27
1970	628.10	2333.00	628.10	2333.00	704.60	2752.60	653.60	2472.87
1971	490.20	2823.20	490.20	2823.20	722.90	3475.50	567.77	3040.63
1972	610.80	3434.00	610.80	3434.00	606.40	4081.90	609.33	3649.97
1973	869.90	4303.90	869.90	4303.90	827.60	4909.50	855.80	4505.77
1974	788.90	5092.80	788.90	5092.80	717.10	5626.60	764.97	5270.73
1975	804.40	5897.20	804.40	5897.20	800.90	6427.50	803.23	6073.97
1976	371.00	6268.20	371.00	6268.20	747.70	7175.20	496.57	6570.53
1977	337.30	6605.50	337.30	6605.50	827.00	8002.20	500.53	7071.07
1978	844.00	7449.50	844.00	7449.50	1133.00	9135.20	940.33	8011.40
1979	674.50	8124.00	674.50	8124.00	785.20	9920.40	711.40	8722.80
1980	438.00	8562.00	438.00	8562.00	567.80	10488.20	481.27	9204.07
1981	684.40	9246.40	684.40	9246.40	856.90	11345.10	741.90	9945.97
1982	891.60	10138.00	891.60	10138.00	788.30	12133.40	857.17	10803.13
1983	389.10	10527.10	389.10	10527.10	454.70	12588.10	410.97	11214.10
1984	934.50	11461.60	934.50	11461.60	1275.60	13863.70	1048.20	12262.30
1985	872.60	12334.20	872.60	12334.20	1106.70	14970.40	950.63	13212.93
1986	787.90	13122.10	787.90	13122.10	889.50	15859.90	821.77	14034.70
1987	564.90	13687.00	564.90	13687.00	646.80	16506.70	592.20	14626.90
1988	653.40	14340.40	653.40	14340.40	757.30	17264.00	688.03	15314.93
1989	611.70	14952.10	611.70	14952.10	614.10	17878.10	612.50	15927.43
1990	657.80	15609.90	657.80	15609.90	776.10	18654.20	697.23	16624.67
1991	649.00	16258.90	649.00	16258.90	717.90	19372.10	671.97	17296.63
1992	481.50	16740.40	481.50	16740.40	683.10	20055.20	548.70	17845.33
1993	845.00	17585.40	845.00	17585.40	794.50	20849.70	828.17	18673.50
1994	608.20	18193.60	608.20	18193.60	715.90	21565.60	644.10	19317.60
1995	567.40	18761.00	567.40	18761.00	492.10	22057.70	542.30	19859.90
1996	584.80	19345.80	584.80	19345.80	631.60	22689.30	600.40	20460.30
1997	825.60	20171.40	825.60	20171.40	832.90	23522.20	828.03	21288.33
1998	558.50	20729.90	558.50	20729.90	551.30	24073.50	556.10	21844.43
1999	649.60	21379.50	649.60	21379.50	606.20	24679.70	635.13	22479.57
2000	702.70	22082.20	702.70	22082.20	675.40	25355.10	693.60	23173.17
2001	684.20	22766.40	684.20	22766.40	892.20	26247.30	753.53	23926.70
2002	843.10	23609.50	843.10	23609.50	1022.60	27269.90	902.93	24829.63
2003	735.40	24344.90	735.40	24344.90	728.30	27998.20	733.03	25562.67
2004	860.30	25205.20	860.30	25205.20	995.30	28993.50	905.30	26467.97
2005	706.40	25911.60	706.40	25911.60	698.30	29691.80	703.70	27171.67
2006	702.30	26613.90	702.30	26613.90	713.80	30405.60	706.13	27877.80
2007	749.60	27363.50	749.60	27363.50	755.77	31161.37	751.66	28629.46
2008	660.64	28024.14	660.64	28024.14	710.76	31872.12	677.35	29306.80
2009	666.51	28690.66	666.51	28690.66	713.73	32585.85	682.25	29989.05
2010	694.18	29384.84	694.18	29384.84	727.73	33313.58	705.36	30694.42
2011	835.97	30220.81	835.97	30220.81	799.46	34113.04	823.80	31518.22
2012	815.24	31036.04	815.24	31036.04	788.97	34902.01	806.48	32324.70
2013	780.02	31816.06	780.02	31816.06	771.15	35673.17	777.06	33101.76
2014	601.11	32417.17	601.11	32417.17	680.64	36353.80	627.62	33729.38
2015	606.98	33024.14	606.98	33024.14	683.60	37037.41	632.52	34361.90
2016	634.34	33658.49	634.34	33658.49	697.45	37734.86	655.38	35017.28
2017	658.56	34317.04	658.56	34317.04	612.01	38346.87	601.79	35619.07

Tabla 31.

Análisis de doble más de datos extendidos de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Cabanillas, Quillisani, Pampahuata, Mañazo y Ichuña.

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION II													
	Estación Santa Lucia		Estación Pampahuata		Estación Cabanillas		Estación Mañazo		Estación Quillisani		Estación Ichuña		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	809.4	809.4	672.1	672.1	566.6	566.6	489.0	489.0	736.2	736.2	436.9	436.9	618.4	618.4
1968	731.6	1541.0	871.1	1543.2	500.9	1067.5	715.8	1204.8	995.3	1731.5	511.4	948.3	721.0	1339.4
1969	660.3	2201.3	586.2	2129.4	401.3	1468.8	633.6	1838.4	655.4	2386.9	731.2	1679.5	611.3	1950.7
1970	698.0	2899.3	804.2	2933.6	556.8	2025.6	701.7	2540.1	916.7	3303.6	695.7	2375.2	728.9	2679.6
1971	630.3	3529.6	818.5	3752.1	524.7	2550.3	617.8	3157.9	765.0	4068.6	582.6	2957.8	656.5	3336.1
1972	708.8	4238.4	755.6	4507.7	726.6	3276.9	709.0	3866.9	832.1	4900.7	669.1	3626.9	733.5	4069.6
1973	1036.6	5275.0	1064.1	5571.8	730.1	4007.0	830.1	4697.0	1104.2	6004.9	546.9	0.0	885.3	4954.9
1974	976.4	6251.4	815.5	6387.3	839.7	4846.7	968.4	5665.4	894.4	6899.3	643.0	643.0	856.2	5811.2
1975	856.0	7107.4	942.8	7330.1	757.8	5604.5	937.2	6602.6	1001.3	7900.6	603.0	1246.0	849.7	6660.8
1976	772.8	7880.2	681.6	8011.7	599.6	6204.1	733.3	7335.9	860.8	8761.4	502.9	1748.9	691.8	7352.7
1977	1113.2	8993.4	711.6	8723.3	781.8	6985.9	676.0	8011.9	733.0	9494.4	631.2	2380.1	774.5	8127.1
1978	810.0	9803.4	852.3	9575.6	815.6	7801.5	1256.0	9267.9	969.9	10464.3	446.8	2826.9	858.4	8985.6
1979	498.6	10302.0	722.4	10298.0	660.0	8461.5	571.5	9839.4	926.2	11390.5	482.4	3309.3	643.5	9629.1
1980	504.0	10806.0	637.8	10935.8	554.0	9015.5	658.2	10497.6	708.0	12098.5	322.0	3631.3	564.0	10193.1
1981	784.3	11590.3	934.2	11870.0	597.8	9613.3	769.0	11266.6	1057.2	13155.7	490.9	4122.2	772.2	10965.3
1982	671.6	12261.9	722.1	12592.1	350.5	9963.8	462.0	11728.6	913.8	14069.5	294.6	4416.8	569.1	11534.4
1983	249.1	12511.0	388.0	12980.1	273.9	10237.7	199.0	11927.6	127.8	14197.3	233.8	4650.6	245.3	11779.7
1984	990.0	13501.0	1202.0	14182.1	852.7	11090.4	1112.0	13039.6	1055.0	15252.3	693.3	5343.9	984.2	12763.9
1985	761.7	14262.7	984.1	15166.2	834.3	11924.7	902.0	13941.6	1135.8	16388.1	581.7	5925.6	866.6	13630.5
1986	811.3	15074.0	1071.1	16237.3	841.5	12766.2	887.0	14828.6	1099.3	17487.4	713.5	6639.1	904.0	14534.4
1987	403.4	15477.4	513.7	16751.0	530.1	13296.3	664.0	15492.6	729.7	18217.1	424.8	7063.9	544.3	15078.7
1988	660.6	16138.0	731.7	17482.7	811.8	14108.1	716.0	16208.6	845.6	19062.7	375.7	7439.6	690.2	15768.9
1989	449.6	16587.6	638.1	18120.8	539.8	14647.9	508.0	16716.6	713.0	19775.7	337.3	7776.9	531.0	16299.9
1990	582.8	17170.4	684.2	18805.0	650.8	15298.7	667.0	17383.6	801.0	20576.7	416.3	8193.2	633.7	16933.6
1991	472.3	17642.7	748.4	19553.4	584.2	15882.9	584.0	17967.6	763.0	21339.7	357.7	8550.9	584.9	17518.5
1992	624.0	18266.7	492.2	20045.6	394.5	16277.4	499.0	18466.6	668.0	22007.7	236.9	8787.8	485.8	18004.3
1993	526.0	18792.7	924.0	20969.6	733.4	17010.8	707.2	19173.8	759.0	22766.7	627.0	9414.8	712.8	18717.0
1994	761.0	19553.7	933.0	21902.6	681.3	17692.1	754.7	19928.5	876.0	23642.7	751.6	10166.4	792.9	19510.0
1995	484.0	20037.7	669.2	22571.8	416.4	18108.5	481.9	20410.4	811.0	24453.7	390.1	10556.5	542.1	20052.1
1996	801.0	20838.7	957.9	23529.7	672.7	18781.2	666.6	21077.0	889.0	25342.7	617.9	11174.4	767.5	20819.6
1997	845.0	21683.7	844.8	24374.5	913.8	19695.0	834.2	21911.2	984.0	26326.7	616.1	11790.5	839.7	21659.2
1998	645.0	22328.7	629.5	25004.0	605.9	20300.9	548.2	22459.4	620.0	26946.7	432.6	12223.1	580.2	22239.4
1999	860.0	23188.7	930.8	25934.8	661.8	20962.7	743.0	23202.4	1010.0	27956.7	634.3	12857.4	806.7	23046.1
2000	851.2	24039.9	928.0	26862.8	787.0	21749.7	634.8	23837.2	913.0	28869.7	577.9	13435.3	782.0	23828.1
2001	917.2	24957.1	993.1	27855.9	852.4	22602.1	971.2	24808.4	1042.4	29912.1	733.5	14168.8	918.3	24746.4
2002	994.5	25951.6	980.5	28836.4	929.0	23531.1	718.2	25526.6	1163.0	31075.2	678.9	14847.7	910.7	25657.1
2003	761.4	26713.0	868.7	29705.1	698.0	24229.1	559.0	26085.6	868.9	31944.0	411.1	15258.8	694.5	26351.6
2004	599.2	27312.2	721.9	30427.0	537.3	24766.4	545.2	26630.8	758.2	32702.3	498.8	15757.6	610.1	26961.7
2005	725.2	28037.4	812.7	31239.7	662.1	25428.5	638.5	27269.3	904.8	33607.1	495.2	16252.8	706.4	27668.1
2006	792.5	28829.9	910.1	32149.8	743.6	26172.1	671.6	27940.9	966.5	34573.6	570.3	16823.1	775.8	28443.9
2007	641.2	29471.1	871.6	33021.4	710.3	26882.4	686.9	28627.8	838.2	35411.8	580.3	17403.4	721.4	29165.3
2008	660.4	30131.5	835.0	33856.5	678.6	27561.0	657.1	29284.8	804.0	36215.8	555.1	17958.5	698.4	29863.6
2009	688.6	30820.1	767.8	34624.3	620.4	28181.4	602.4	29887.3	741.2	36957.0	508.9	18467.4	654.9	30518.5
2010	701.8	31521.9	768.1	35392.4	620.7	28802.1	602.7	30490.0	741.5	37698.5	509.1	18976.5	657.3	31175.9
2011	656.2	32178.1	1025.5	36417.9	843.5	29645.6	811.9	31301.9	981.9	38680.4	686.0	19662.5	834.2	32010.0
2012	931.9	33110.0	1039.0	37456.9	855.2	30500.8	822.9	32124.8	994.5	39674.9	695.3	20357.8	889.8	32899.8
2013	778.2	33888.1	850.0	38306.9	691.6	31192.4	669.3	32794.1	818.0	40493.0	565.4	20923.2	728.8	33628.6
2014	720.4	34608.6	810.5	39117.5	657.4	31849.8	637.2	33431.3	781.1	41274.1	538.3	21461.5	690.8	34319.4
2015	426.0	35034.6	473.6	39591.1	365.7	32215.5	363.3	33794.6	466.5	41740.6	306.7	21768.1	400.3	34719.7
2016	572.3	32094.1	641.0	40232.0	510.6	32726.1	499.4	34294.0	622.8	42363.3	421.7	22189.8	544.6	35264.3
2017	825.0	32919.1	930.2	41162.2	761.0	33487.1	734.5	35028.4	892.9	43256.2	620.5	22810.4	794.0	36058.3

Tabla 32.

Análisis de doble masa de precipitación total anual de datos extendidos de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica y Puno.

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION III											
	Estación Lampa		Estación Juliaca		Estación Taraco		Estación Capachica		Estación Puno		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	646.80	646.80	556.90	556.90	496.40	496.40	834.30	834.30	694.80	694.80	645.84	645.84
1968	733.30	1380.10	591.20	1148.10	520.00	1016.40	874.10	1708.40	624.20	1319.00	668.56	1314.40
1969	514.60	1894.70	396.80	1544.90	347.40	1363.80	484.70	2193.10	503.80	1822.80	449.46	1763.86
1970	592.30	2487.00	654.30	2199.20	527.80	1891.60	606.60	2799.70	568.00	2390.80	589.80	2353.66
1971	566.40	3053.40	586.70	2785.90	402.90	2294.50	627.80	3427.50	652.60	3043.40	567.28	2920.94
1972	668.30	3721.70	666.50	3452.40	567.90	2862.40	650.90	4078.40	798.10	3841.50	670.34	3591.28
1973	820.10	4541.80	559.80	4012.20	563.70	3426.10	777.20	4855.60	797.00	4638.50	703.56	4294.84
1974	673.50	5215.30	535.60	4547.80	630.10	4056.20	794.40	5650.00	750.80	5389.30	676.88	4971.72
1975	651.30	5866.60	662.40	5210.20	577.70	4633.90	970.90	6620.90	951.60	6340.90	762.78	5734.50
1976	569.10	6435.70	431.70	5641.90	406.20	5040.10	672.70	7293.60	758.00	7098.90	567.54	6302.04
1977	853.90	7289.60	605.60	6247.50	647.50	5687.60	789.70	8083.30	742.40	7841.30	727.82	7029.86
1978	1192.00	8481.60	715.70	6963.20	684.70	6372.30	837.10	8920.40	828.00	8669.30	851.50	7881.36
1979	719.70	9201.30	489.10	7452.30	609.50	6981.80	720.60	9641.00	527.30	9196.60	613.24	8494.60
1980	647.50	9848.80	519.10	7971.40	466.30	7448.10	495.60	10136.60	614.40	9811.00	548.58	9043.18
1981	829.10	10677.90	809.20	8780.60	748.30	8196.40	891.00	11027.60	811.70	10622.70	817.86	9861.04
1982	861.70	11539.60	712.80	9493.40	578.60	8775.00	821.00	11848.60	794.80	11417.50	753.78	10614.82
1983	310.50	11850.10	420.70	9914.10	355.90	9130.90	623.00	12471.60	434.10	11851.60	428.84	11043.66
1984	1158.60	13008.70	1044.60	10958.70	1049.80	10180.70	1250.10	13721.70	1290.60	13142.20	1158.74	12202.40
1985	1369.10	14377.80	845.90	11804.60	1269.80	11450.50	955.40	14677.10	1072.50	14214.70	1102.54	13304.94
1986	739.50	15117.30	690.60	12495.20	1098.50	12549.00	1161.90	15839.00	927.40	15142.10	923.58	14228.52
1987	641.50	15758.80	491.40	12986.60	659.60	13208.60	496.00	16335.00	630.70	15772.80	583.84	14812.36
1988	751.30	16510.10	673.30	13659.90	662.70	13871.30	809.70	17144.70	847.70	16620.50	748.94	15561.30
1989	500.10	17010.20	445.10	14105.00	465.20	14336.50	945.80	18090.50	684.60	17305.10	608.16	16169.46
1990	551.70	17561.90	445.10	14550.10	717.40	15053.90	830.10	18920.60	646.80	17951.90	638.22	16807.68
1991	616.10	18178.00	499.40	15049.50	655.30	15709.20	856.40	19777.00	596.80	18548.70	644.80	17452.48
1992	516.90	18694.90	427.50	15477.00	542.30	16251.50	646.20	20423.20	374.10	18922.80	501.40	17953.88
1993	664.60	19359.50	683.30	16160.30	616.70	16868.20	1123.30	21546.50	759.20	19682.00	769.42	18723.30
1994	636.60	19996.10	497.40	16657.70	622.40	17490.60	1119.00	22665.50	803.60	20485.60	735.80	19459.10
1995	482.70	20478.80	499.20	17156.90	653.10	18143.70	655.20	23320.70	543.30	21028.90	566.70	20025.80
1996	708.40	21187.20	545.50	17702.40	432.10	18575.80	669.40	23990.10	753.50	21782.40	621.78	20647.58
1997	857.70	22044.90	662.50	18364.90	710.90	19286.70	945.70	24935.80	908.90	22691.30	817.14	21464.72
1998	568.30	22613.20	464.00	18828.90	531.10	19817.80	491.20	25427.00	615.10	23306.40	533.94	21998.66
1999	744.10	23357.30	649.00	19477.90	544.60	20362.40	956.50	26383.50	1003.90	24310.30	779.62	22778.28
2000	686.60	24043.90	663.00	20140.90	459.70	20822.10	700.40	27083.90	740.60	25050.90	650.06	23428.34
2001	787.20	24831.10	498.20	20639.10	546.20	21368.30	980.90	28064.80	1006.80	26057.70	763.86	24192.20
2002	828.50	25659.60	802.20	21441.30	571.70	21940.00	1045.70	29110.50	908.80	26966.50	831.38	25023.58
2003	702.60	26362.20	646.10	22087.40	590.00	22530.00	878.40	29988.90	714.10	27680.60	706.24	25729.82
2004	748.30	27110.50	618.80	22706.20	593.60	23123.60	760.50	30749.40	678.40	28359.00	679.92	26409.74
2005	861.60	27972.10	720.80	23427.00	597.60	23721.20	740.90	31490.30	674.50	29033.50	719.08	27128.82
2006	692.20	28664.30	621.30	24048.30	578.00	24299.20	707.30	32197.60	775.00	29808.50	674.76	27803.58
2007	753.10	29417.40	647.80	24696.10	653.60	24952.80	867.00	33064.60	804.74	30613.24	745.25	28548.83
2008	623.60	30041.00	650.70	25346.80	627.49	25580.29	831.87	33896.47	771.04	31384.28	700.94	29249.77
2009	688.30	30729.30	599.60	25946.40	579.56	26159.85	767.37	34663.84	709.17	32093.45	668.80	29918.57
2010	552.60	31281.90	441.20	26387.60	579.80	26739.65	767.70	35431.53	709.49	32802.95	610.16	30528.73
2011	1006.10	32288.00	600.90	26988.50	763.31	27502.97	1014.62	36446.16	946.34	33749.28	866.25	31394.98
2012	860.10	33148.10	683.50	27672.00	772.95	28275.91	1027.59	37473.75	958.77	34708.06	860.58	32255.56
2013	656.40	33804.50	597.80	28269.80	638.20	28914.11	846.28	38320.02	784.86	35492.92	704.71	32960.27
2014	749.80	34554.30	664.50	28934.30	610.03	29524.14	808.37	39128.39	748.51	36241.42	716.24	33676.51
2015	705.90	35260.20	678.90	29613.20	369.77	29893.92	485.09	39613.48	438.42	36679.84	535.62	34212.13
2016	1200.10	36460.30	506.30	30119.50	489.12	30383.04	645.68	40259.16	592.45	37272.29	686.73	34898.86
2017	953.00	37413.30	682.80	30802.30	695.36	31078.40	923.19	41182.35	858.64	38130.93	822.60	35721.46

Tabla 33.

Análisis de doble masa de precipitación total anual de datos extendidos de las estaciones del Grupo 4: Condorama, Crucero alto y Imata.

Año	BLOQUE DE PRECIPITACION IV							
	Estación Condorama		Estación Crucero Alto		Estación Imata		PROMEDIO	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
1967	660.66	660.66	634.90	634.90	582.00	582.00	625.85	625.85
1968	698.13	1358.79	990.00	1624.90	643.60	1225.60	777.24	1403.10
1969	565.43	1924.22	523.30	2148.20	446.60	1672.20	511.78	1914.87
1970	632.46	2556.68	526.70	2674.90	456.60	2128.80	538.59	2453.46
1971	631.73	3188.41	389.70	3064.60	516.20	2645.00	512.54	2966.00
1972	825.22	4013.63	616.30	3680.90	713.50	3358.50	718.34	3684.34
1973	895.23	4908.86	845.70	4526.60	737.30	4095.80	826.08	4510.42
1974	789.16	5698.02	765.90	5292.50	815.90	4911.70	790.32	5300.74
1975	796.98	6495.00	714.90	6007.40	653.70	5565.40	721.86	6022.60
1976	733.35	7228.35	504.90	6512.30	536.50	6101.90	591.58	6614.18
1977	475.50	7703.85	749.50	7261.80	542.90	6644.80	589.30	7203.48
1978	589.80	8293.65	396.90	7658.70	589.00	7233.80	525.23	7728.72
1979	609.90	8903.55	505.80	8164.50	434.30	7668.10	516.67	8245.38
1980	423.10	9326.65	345.90	8510.40	385.30	8053.40	384.77	8630.15
1981	649.40	9976.05	683.50	9193.90	715.70	8769.10	682.87	9313.02
1982	653.40	10629.45	704.50	9898.40	447.80	9216.90	601.90	9914.92
1983	328.60	10958.05	230.80	10129.20	183.20	9400.10	247.53	10162.45
1984	1037.20	11995.25	914.90	11044.10	723.80	10123.90	891.97	11054.42
1985	714.60	12709.85	723.00	11767.10	710.90	10834.80	716.17	11770.58
1986	843.10	13552.95	668.50	12435.60	639.10	11473.90	716.90	12487.48
1987	413.10	13966.05	407.10	12842.70	313.70	11787.60	377.97	12865.45
1988	712.00	14678.05	571.40	13414.10	457.00	12244.60	580.13	13445.58
1989	544.10	15222.15	464.10	13878.20	281.90	12526.50	430.03	13875.62
1990	655.80	15877.95	607.70	14485.90	486.40	13012.90	583.30	14458.92
1991	706.70	16584.65	513.80	14999.70	440.60	13453.50	553.70	15012.62
1992	338.00	16922.65	327.40	15327.10	241.90	13695.40	302.43	15315.05
1993	947.60	17870.25	770.80	16097.90	560.10	14255.50	759.50	16074.55
1994	731.00	18601.25	927.00	17024.90	657.10	14912.60	771.70	16846.25
1995	585.20	19186.45	611.80	17636.70	341.10	15253.70	512.70	17358.95
1996	702.00	19888.45	682.60	18319.30	545.50	15799.20	643.37	18002.32
1997	812.50	20700.95	566.60	18885.90	496.20	16295.40	625.10	18627.42
1998	516.30	21217.25	468.00	19353.90	388.50	16683.90	457.60	19085.02
1999	886.20	22103.45	840.35	20194.25	761.50	17445.40	829.35	19914.37
2000	791.40	22894.85	607.42	20801.67	493.90	17939.30	630.91	20545.27
2001	763.19	23658.04	693.83	21495.50	579.00	18518.30	678.67	21223.95
2002	781.30	24439.34	775.78	22271.28	654.20	19172.50	737.09	21961.04
2003	661.92	25101.26	533.10	22804.38	403.00	19575.50	532.67	22493.71
2004	642.17	25743.43	583.57	23387.95	466.20	20041.70	563.98	23057.69
2005	613.57	26357.00	603.57	23991.52	484.70	20526.40	567.28	23624.97
2006	711.13	27068.13	707.56	24699.08	641.50	21167.90	686.73	24311.70
2007	717.71	27785.84	471.50	25170.58	551.90	21719.80	580.37	24892.07
2008	691.70	28477.54	414.70	25585.28	536.83	22256.64	547.74	25439.82
2009	643.45	29120.99	435.10	26020.38	500.62	22757.25	526.39	25966.21
2010	644.65	29765.64	641.90	26662.28	505.53	23262.78	597.36	26563.57
2011	833.82	30599.46	744.71	27406.99	633.92	23896.71	737.48	27301.05
2012	863.62	31463.08	797.54	28204.53	694.73	24591.43	785.29	28086.35
2013	711.34	32174.41	651.45	28855.98	539.45	25130.88	634.08	28720.43
2014	677.68	32852.09	616.81	29472.79	530.81	25661.69	608.43	29328.86
2015	404.72	33256.81	353.10	29825.89	286.23	25947.92	348.02	29676.87
2016	540.31	33797.11	484.10	30309.99	403.79	26351.71	476.06	30152.94
2017	774.62	34571.73	710.47	31020.46	612.95	26964.65	699.35	30852.28

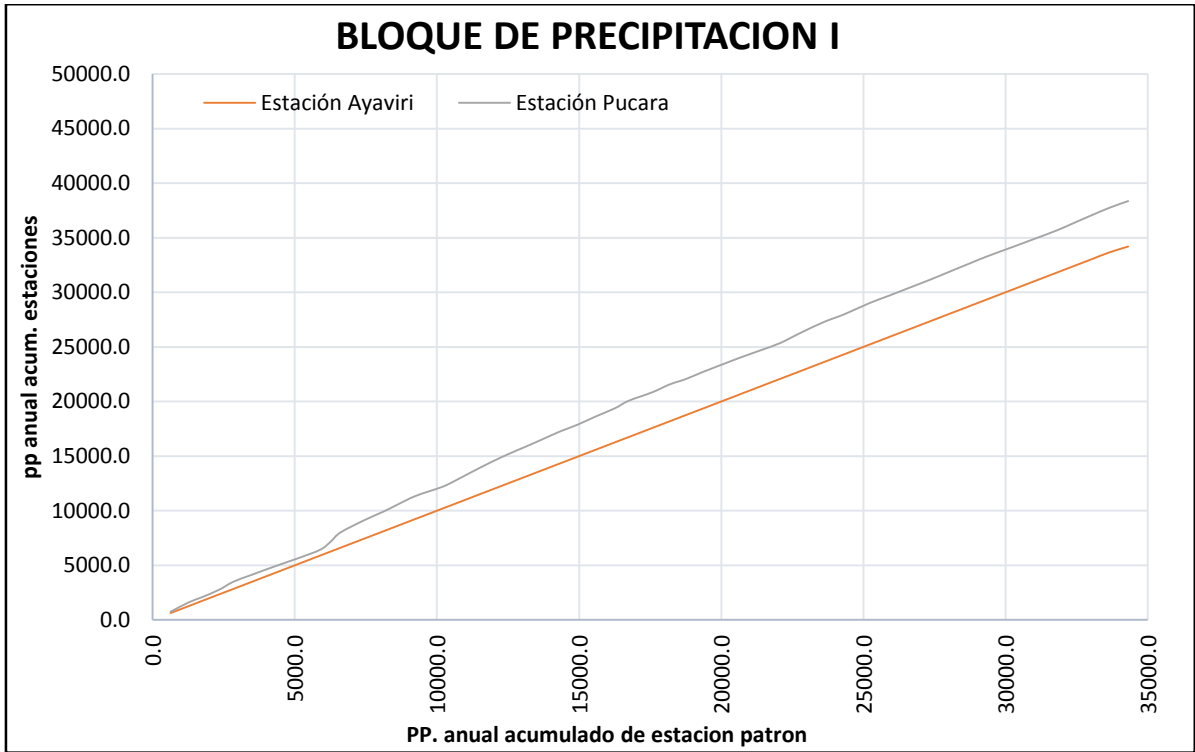


Figura 33. Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 1: Ayaviri y Pucara.

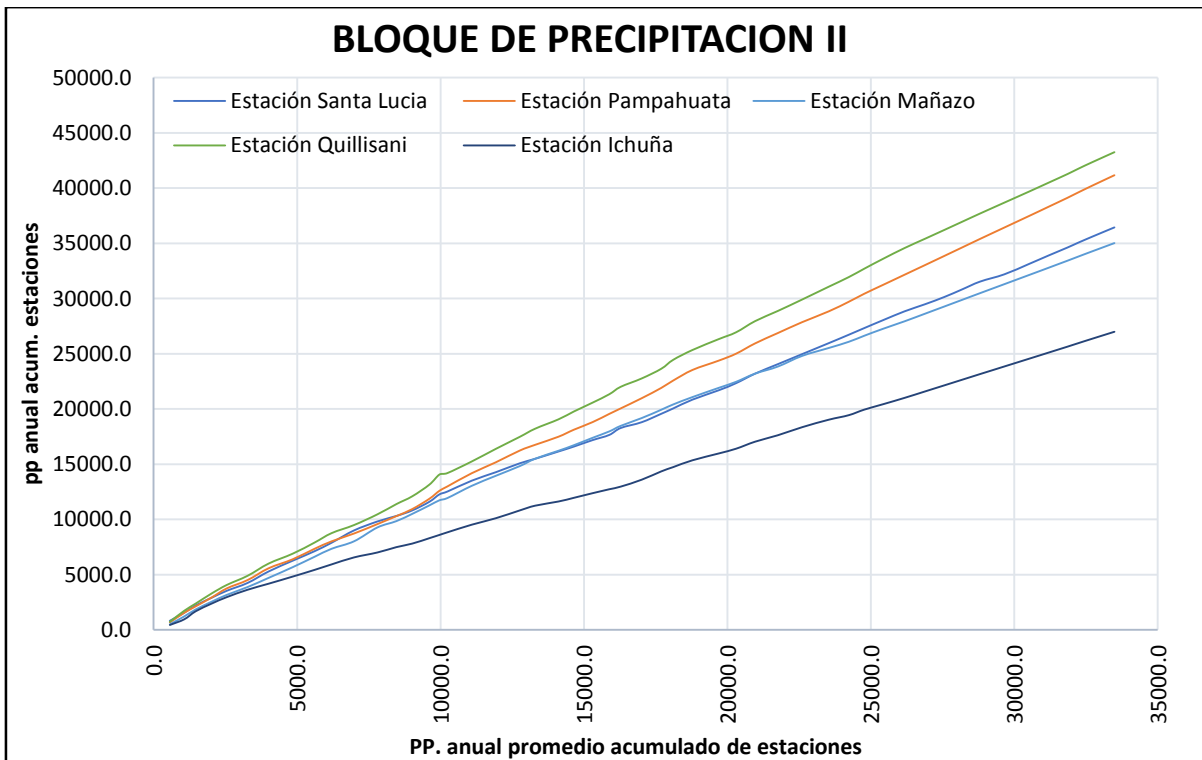


Figura 34. Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 2: Santa Lucia, Quillisani, Pampahuata, Mañazo y Ichuña.

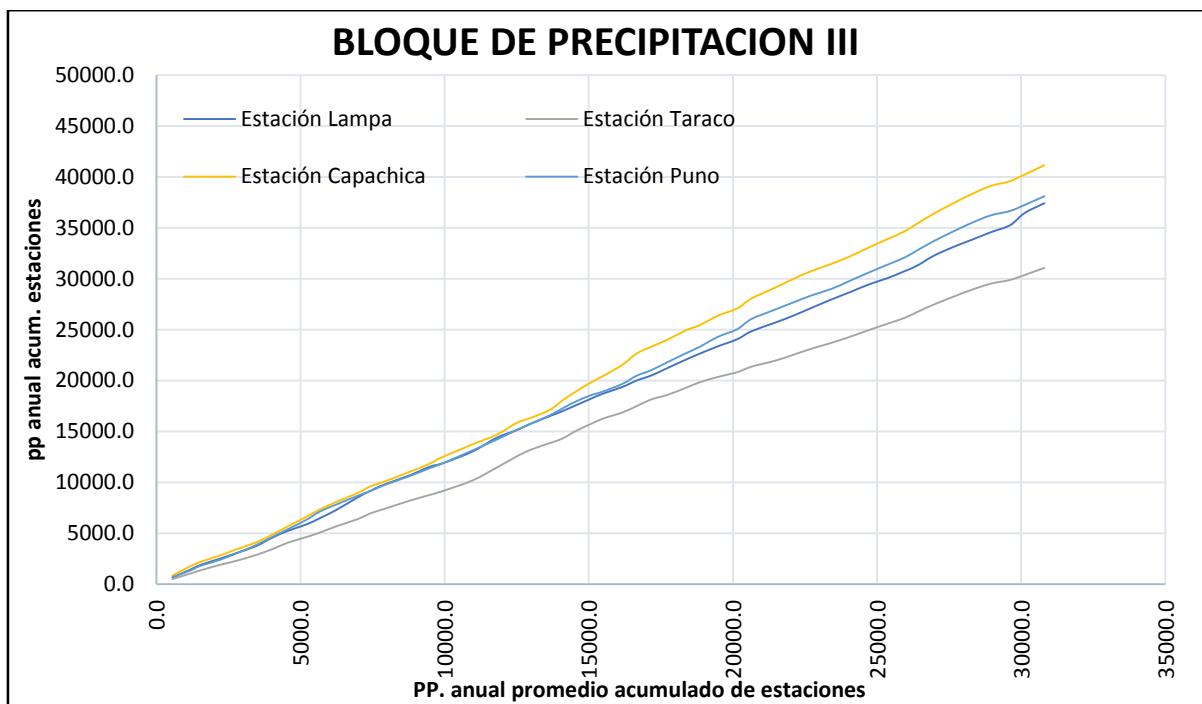


Figura 35. Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 3: Lampa, Taraco, Capachica y Puno.

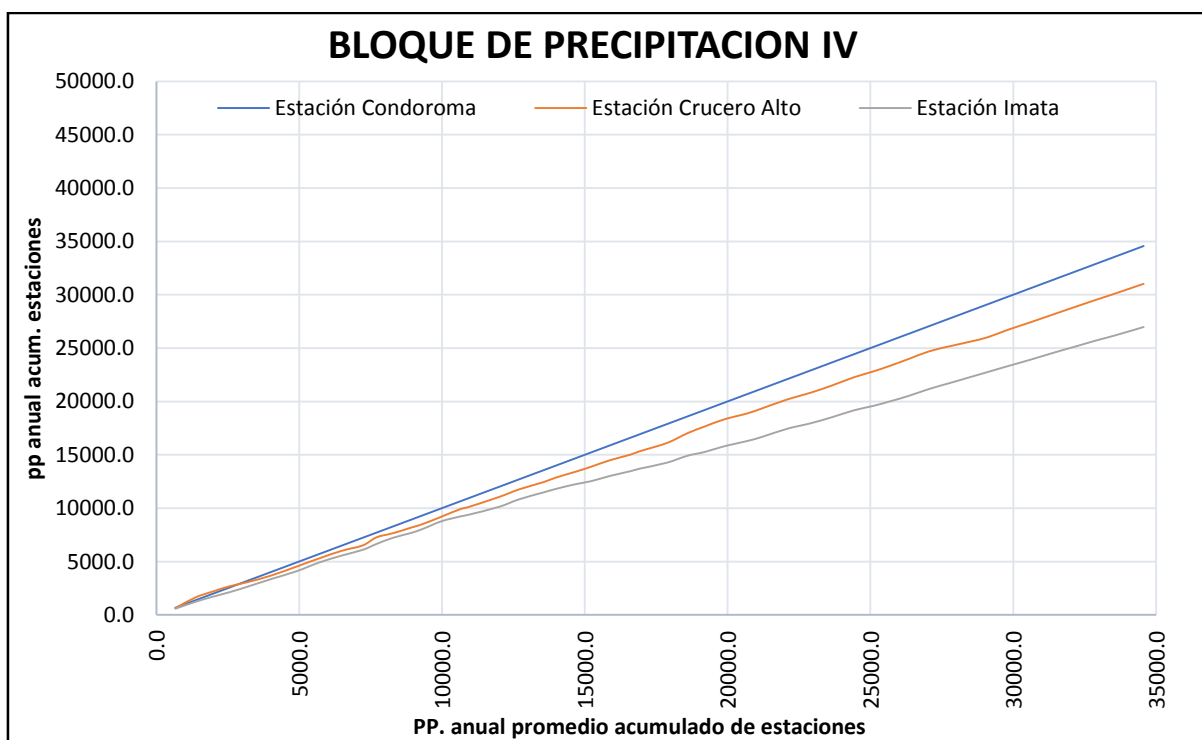


Figura 36. Diagrama de doble masa de precipitación extendida total anual de las estaciones del Grupo 4: Condoroma, Crucero alto y Imata.

4.6. DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIA MENSUAL SOBRE LA CUENCA

4.6.1. Resultados y Discusión

La tabla 34, contiene la precipitación media anual de las estaciones involucradas en el área estudio del periodo 1967 al 2017, las estaciones son; Llallí, Ayaviri, Pucara, Santa Lucia, Cabanillas, Quillisani, Pampahuata, Mañazo, Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica, Crucero alto e Imata. Por otro lado, la figura 37, contiene la variación de la precipitación en las estaciones anteriormente nombradas, con la peculiaridad de que la estación de Quillisani contiene la mayor precipitación en relación a las demás estaciones, e Imata contiene las precipitaciones más bajas; además se aprecia el comportamiento de la precipitación pluvial en los doce meses del año en cada una de las estaciones, mostrando el carácter estacional de la precipitación en todo el departamento de Puno.

El grupo de estaciones meteorológicas estacionadas en la zona en estudio, nos proporciona información pluviométrica mensual y anual, en donde nos muestra una conducta análoga durante un año hidrológico, se puede apreciar dos estaciones características de la zona de estudio: una para un periodo seco (junio a setiembre), en donde el rango de precipitación varía de 1.61 a 18.08 mm.; y otra para el periodo húmedo (octubre a mayo), cuyo rango de precipitación varía de 51.12 a 183.14 mm. Y dentro de este último periodo, los meses de diciembre, enero, febrero y marzo son los más lluviosos. Este comportamiento se generaliza para todo el altiplano peruano.

En la Tabla 35, se muestra la estimación de la precipitación media anual para la cuenca del Rio Coata que es la zona en estudio, mediante el método de polígonos de Thiessen.

En la Tabla 36, se muestra la estimación de la precipitación media anual para la subcuenca del Rio Lampa, zona de interés del estudio, mediante el método de polígonos de Thiessen.

Tabla 34.

Precipitación Total Mensual Promedio de Las Estaciones Ubicadas En El Ámbito de Estudio –Periodo 1967-2017.

ESTACION	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	TOTAL
Estación Llallí	8.95	21.46	46.38	61.55	104.07	138.76	124.09	103.65	47.90	7.76	4.82	3.51	672.88
Estación Ayaviri	8.88	19.83	45.68	61.80	105.19	138.57	123.83	103.21	47.72	7.59	4.75	3.42	670.46
Estación Pucara	10.05	21.79	59.02	68.36	120.55	160.19	125.57	116.28	51.41	8.92	5.44	4.34	751.90
Estación Pampahuata	9.25	19.20	43.16	71.62	130.40	178.52	157.05	127.71	52.35	9.52	4.19	4.14	807.10
Estación Santa Lucia	13.12	16.30	39.72	61.57	117.14	149.52	139.25	118.48	41.99	8.59	4.30	4.37	714.35
Estación Cabanillas	8.13	18.85	38.79	55.35	101.24	144.30	134.69	102.31	43.26	5.08	2.58	2.03	656.61
Estación Mañazo	8.85	17.44	36.66	62.71	106.65	159.63	138.74	107.70	38.93	5.64	1.81	2.06	686.83
Estación Lampa	8.56	23.11	45.95	62.58	116.75	171.83	133.67	108.52	49.44	7.19	3.92	2.07	733.59
Estación Juliaca	7.76	21.14	45.74	49.23	88.32	134.78	105.72	90.83	45.65	8.17	4.38	2.24	603.97
Estación Taraco	8.73	23.65	40.73	56.61	96.10	134.32	106.21	88.57	38.40	6.32	6.26	3.47	609.38
Estación Capachica	11.25	27.46	47.12	64.56	115.57	173.01	154.59	137.88	55.14	10.08	5.72	5.11	807.50
Estación Quillisani	13.61	22.84	41.37	77.86	135.02	172.58	170.43	138.36	55.22	9.18	6.54	5.14	848.16
Estación Crucero Alto	7.99	13.34	25.27	38.83	86.96	151.80	118.64	117.64	36.28	4.00	3.04	4.46	608.24
Estación Imata	4.97	10.84	19.33	35.30	77.86	127.25	116.84	97.13	31.25	3.78	2.09	2.09	528.72
PROMEDIO	9.29	19.80	41.07	59.14	107.27	152.50	132.09	111.30	45.35	7.27	4.27	3.46	692.84

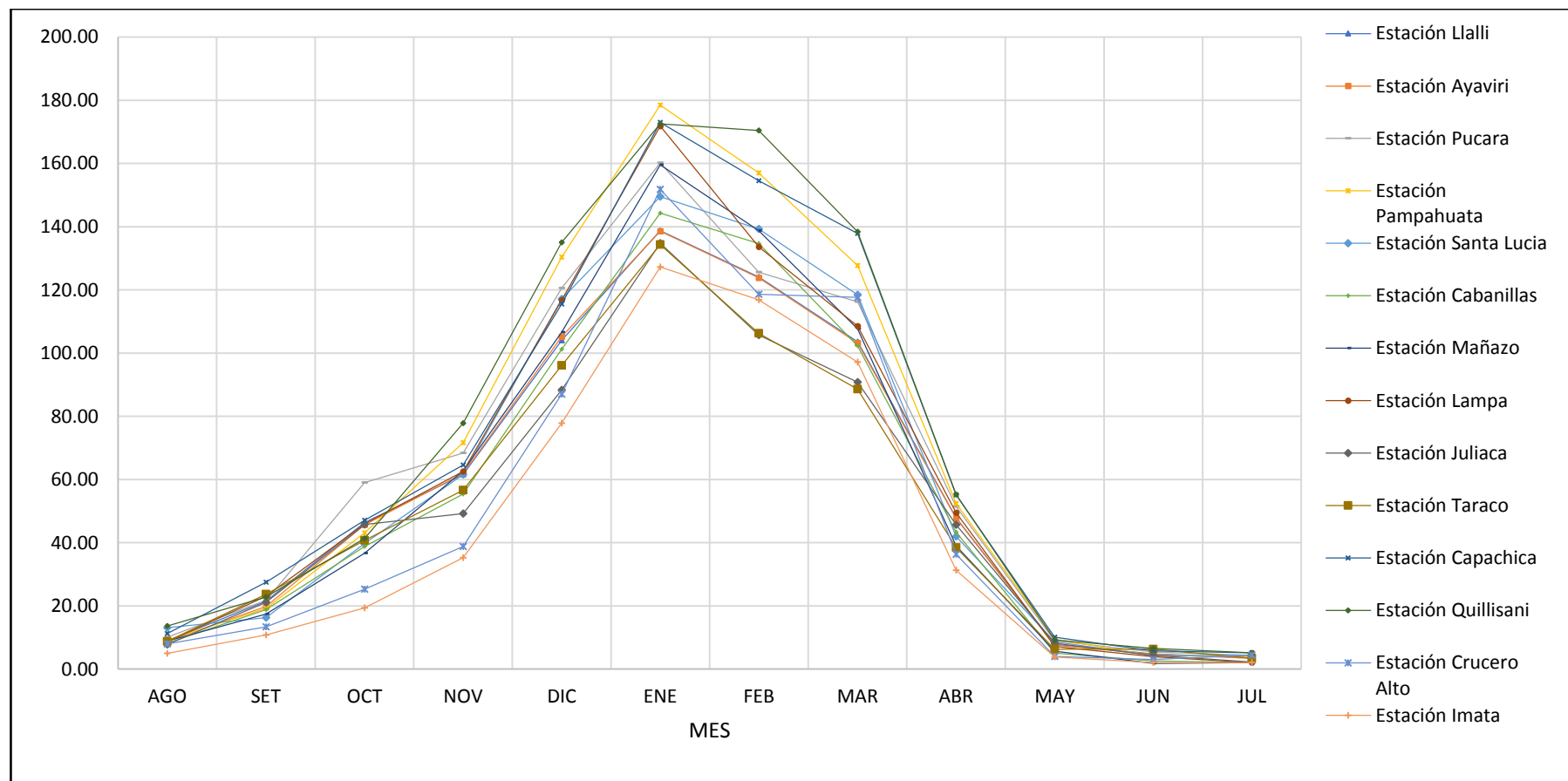


Figura 37. Precipitación total promedio mensual - Periodo 1967-2017.

Tabla 35.
Precipitación Media Anual de la Cuenca del Rio Coata – Método De Thiessen.

N°	ESTACION/ZONA	AREA (km2)	PRECITACION TOTAL (mm)	Pi * Ai
1	Estación Llalli	0.54	672.883	364.69
2	Estación Ayaviri	6.88	670.457	4610.56
3	Estación Pucara	28.59	751.899	21498.33
4	Estación Pampahuata	820.21	807.102	661990.19
5	Estación Santa Lucia	837.46	714.350	598239.30
6	Estación Cabanillas	468.48	656.610	307605.81
7	Estación Mañazo	155.90	686.832	107074.41
8	Estación Lampa	704.41	733.594	516750.78
9	Estación Juliaca	195.53	603.967	118096.01
10	Estación Quillisani	1024.65	848.161	869069.65
11	Estación Crucero Alto	162.50	608.244	98836.82
12	Estación Imata	43.34	528.719	22916.70
SUMATORIA		4448.48		3327053.26
PRECITACION MEDIA ANUAL (mm/año)			747.907	

Tabla 36.
Precipitación media anual sub cuenca Lampa – Método De Thiessen.

N°	ESTACION/ZONA	AREA (km2)	PRECITACION N TOTAL (mm)	Pi * Ai
1	Estación Llallí	0.38	672.883	256.08
2	Estación Ayaviri	4.68	670.457	3139.64
3	Estación Pucara	24.22	751.899	18212.40
4	Estación Pampahuata	52.78	807.102	42595.76
5	Estación Lampa	574.43	733.594	421399.05
6	Estación Quillisani	392.53	848.161	332930.48
SUMATORIA		1049.02		818533.42
PRECITACION MEDIA ANUAL (mm/año)			780.281	

De la Tabla 35 se puede indicar que los polígonos de las estaciones Quillisani, Santa Lucia, Lampa y cabanillas son las que tienen mayor área de influencia (1024.65, 837.46, 704.41 y 468.48 Km², respectivamente); “sin embargo las estaciones Crucero alto, Mañazo, Imata, Pampahuata, Pucara, Ayaviri y Llalli, tienen menor área de influencia (162.5, 155.90,

43.34, 43.34, 28.59, 6.88 y 0.54 Km², respectivamente.),” la precipitación total de las estaciones consideradas en el estudio varía desde 528.719 mm registrada en la estación Imata hasta 848.161 mm registrada en la estación Quillisani. La precipitación media anual para la cuenca del río Coata, desde el punto de aforo aguas arriba, estimado mediante el método de “Thiessen es de 747.907 mm. El mismo que se utilizara para la generación de los caudales medios anuales en el presente trabajo de investigación. Cabe mencionar también que se excluyeron estaciones como son la de Capachica y Taraco ya que la calibración se realiza en el Puente Unucolla a aguas arriba.”

En la tabla 36, se presenta los resultados de la precipitación media areal mensual mediante el método de polígono de Thiessen en el punto de interés, la precipitación total de las estaciones consideradas en el estudio varía desde 670.457 a 848.161 mm, para las estaciones de Ayaviri y Quillisani; respectivamente, obteniéndose una precipitación anual promedio de 780.281 mm, consideramos las estaciones Llallí, Ayaviri, Pucara, Pampahuata, Lampa y Quillisani.

Tabla 37.

Precipitación Media Mensual Cuenca Coata - Método De Thiessen.

PRESIPITACION MEDIA MENSUAL - CUENCA COATA - THIESEN (mm/mes)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	77.51	112.84	188.84	16.96	16.83	1.19	9.04	9.48	50.87	50.42	13.69	136.61	684.27
2	1968	152.99	192.05	96.62	34.36	10.45	5.90	5.57	3.24	20.53	49.19	140.59	85.12	796.60
3	1969	154.18	100.01	58.65	53.14	0.00	0.81	6.23	0.48	14.68	33.18	69.22	83.15	573.75
4	1970	158.80	127.47	156.92	36.04	17.71	1.15	0.35	3.22	14.84	29.27	11.59	168.52	725.87
5	1971	113.78	215.00	82.74	21.96	3.00	3.81	0.03	4.92	1.25	14.80	49.24	152.35	662.89
6	1972	242.20	95.68	145.39	32.51	1.94	0.28	0.13	2.00	33.85	37.00	56.74	87.56	735.28
7	1973	243.79	173.43	149.74	96.26	21.54	1.11	9.03	11.52	40.43	35.92	55.40	112.80	950.98
8	1974	237.14	217.06	100.10	46.64	1.22	11.13	1.65	56.01	18.51	19.85	22.99	102.31	834.60
9	1975	189.35	214.57	137.84	29.61	24.06	1.71	0.09	1.37	9.04	40.22	37.71	163.91	849.49
10	1976	192.70	119.62	140.21	22.72	19.25	4.78	5.11	18.28	64.15	2.27	9.86	97.52	696.46
11	1977	96.27	221.14	187.29	12.30	1.24	0.00	3.23	1.26	21.22	40.21	122.61	109.23	816.01
12	1978	296.78	124.66	100.94	62.92	0.27	1.17	0.11	1.62	15.57	26.50	110.98	170.56	912.08
13	1979	193.43	106.14	120.34	37.80	1.62	0.00	2.76	5.44	0.84	47.61	70.29	108.01	694.27
14	1980	97.52	75.53	183.49	9.98	3.66	0.04	1.92	10.41	41.08	86.36	42.57	50.53	603.08
15	1981	171.92	178.46	152.33	65.69	1.08	0.03	0.11	49.38	18.27	29.48	56.21	135.81	858.76
16	1982	171.14	83.16	121.70	58.43	1.52	0.75	0.26	5.76	51.70	64.05	148.25	20.86	727.59
17	1983	52.55	52.87	28.95	21.75	8.58	3.15	0.01	2.51	11.51	15.02	12.07	56.17	265.14
18	1984	193.33	212.01	123.64	37.29	14.12	3.09	1.15	29.95	4.87	97.05	153.12	189.75	1059.38
19	1985	95.73	242.11	125.18	127.15	23.13	16.39	0.02	3.77	24.83	26.62	144.32	172.58	1001.81
20	1986	130.39	235.85	202.70	83.16	4.78	0.00	1.76	10.95	25.46	8.66	31.82	172.74	908.27
21	1987	176.52	74.94	62.66	16.18	2.52	6.19	20.49	2.91	3.50	32.98	100.17	64.97	564.04
22	1988	209.80	81.25	197.70	90.13	13.22	0.05	0.98	3.22	7.50	30.04	14.98	95.59	744.47
23	1989	155.27	99.75	128.45	56.03	2.14	18.41	1.48	4.79	4.16	12.69	37.07	44.36	564.59
24	1990	168.37	76.49	68.52	22.59	6.10	37.00	0.00	10.89	2.00	61.01	113.16	86.09	652.23
25	1991	126.69	130.37	116.21	51.18	7.67	26.11	1.64	0.62	10.37	36.76	29.47	95.82	632.91
26	1992	89.65	123.05	60.97	16.40	0.23	3.47	1.02	63.06	0.31	35.25	49.76	98.10	541.27
27	1993	182.51	51.60	106.07	40.21	4.50	0.86	0.00	15.40	9.20	71.55	85.73	154.01	721.64
28	1994	182.78	147.71	141.00	68.72	10.33	2.44	0.00	0.07	13.91	19.81	75.19	121.87	783.81
29	1995	97.98	141.83	123.21	30.92	0.77	0.00	0.00	3.89	13.89	13.77	57.17	106.78	590.20
30	1996	242.94	112.35	82.49	41.54	11.30	0.00	0.52	17.27	12.17	6.56	85.16	185.53	797.82
31	1997	198.57	195.28	144.28	57.33	26.36	0.00	0.29	8.23	25.39	36.29	94.61	77.55	864.16
32	1998	128.06	158.28	108.20	28.39	0.00	1.84	0.04	1.57	0.16	28.63	95.29	48.59	599.06
33	1999	142.51	142.07	178.52	115.59	9.36	1.64	0.38	6.39	18.68	101.25	24.97	109.99	851.34
34	2000	163.86	196.65	148.86	42.41	7.94	3.62	1.96	12.99	10.65	82.97	19.13	126.11	817.15
35	2001	270.37	225.16	115.98	66.39	14.50	3.49	3.36	26.94	26.08	54.79	41.26	55.79	904.10
36	2002	122.62	184.51	146.57	105.28	23.15	4.98	22.78	13.17	11.93	95.54	88.28	149.24	968.04
37	2003	208.84	140.38	152.48	24.61	9.86	4.16	1.25	3.09	23.86	18.72	33.39	145.06	765.70
38	2004	218.84	137.75	84.65	48.59	2.85	2.06	10.46	18.89	21.61	12.58	28.28	89.08	675.63
39	2005	100.36	267.77	100.69	56.37	1.14	1.26	1.19	2.42	14.36	35.03	82.56	124.28	787.43
40	2006	224.54	124.98	155.54	48.64	1.51	2.31	1.08	5.51	34.53	41.44	85.63	90.54	816.25
41	2007	92.12	100.95	201.90	66.85	9.96	2.37	4.94	3.90	54.31	36.03	91.76	84.71	749.80
42	2008	267.30	73.93	63.91	7.03	2.58	2.64	2.27	2.94	5.04	40.60	53.38	189.74	711.37
43	2009	105.53	153.50	116.12	28.47	2.41	2.27	6.53	2.59	8.96	30.13	133.54	100.15	690.19
44	2010	156.23	151.34	69.09	32.73	13.71	2.34	2.59	2.27	3.86	23.50	36.34	178.15	672.15
45	2011	87.52	193.06	128.31	39.07	4.83	2.32	8.28	5.95	30.67	37.57	74.97	269.15	881.70
46	2012	167.35	222.88	163.67	75.17	2.31	2.32	2.74	6.66	5.53	22.31	54.66	197.94	923.55
47	2013	180.86	160.83	75.75	14.12	12.64	13.90	13.97	11.76	12.21	52.59	57.91	146.92	753.46
48	2014	180.23	74.82	65.82	48.53	3.25	3.24	6.44	35.37	40.06	99.44	46.17	134.18	737.57
49	2015	43.32	46.43	30.64	48.00	4.16	5.14	6.89	8.34	46.80	52.56	84.50	112.16	488.92
50	2016	164.04	222.40	33.81	104.27	3.75	6.26	9.50	3.45	7.52	53.95	11.81	59.32	680.08
51	2017	185.03	122.47	124.41	53.28	15.36	5.86	6.97	4.12	48.10	70.56	76.34	143.56	856.05
N° Datos	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Media	162.786	145.773	119.609	48.073	7.969	4.412	3.698	10.592	19.820	41.187	65.135	118.851	118.851	747.907
Desv. Estándar	57.646	57.363	45.076	28.201	7.417	6.884	4.987	13.818	16.172	25.070	39.357	48.445	143.879	143.879
Prec. Max.	296.78	267.77	202.70	127.15	26.36	37.00	22.78	63.06	64.15	101.25	153.12	269.15	1,059.38	1,059.38
Prec. Min.	43.32	46.43	28.95	7.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.16	2.27	9.86	20.86	265.14	265.14

Tabla 38.
Precipitación media mensual sub cuenca Lampa.

PRESIPITACION MEDIA MENSUAL – BOCATOMA CCATACHA - THIESEN (mm/mes)														
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	74.75	116.62	168.86	16.58	17.53	1.11	7.86	7.36	54.99	61.87	10.34	145.85	683.71
2	1968	137.83	210.18	85.26	56.43	6.24	2.72	6.45	5.26	21.31	57.97	160.97	90.26	840.88
3	1969	161.68	92.10	47.42	55.72	0.00	1.87	5.50	0.50	13.03	43.25	70.87	76.78	568.72
4	1970	176.51	121.20	147.70	43.75	11.31	0.96	0.34	3.12	12.80	27.00	16.27	166.16	727.11
5	1971	117.24	219.18	61.10	18.67	1.51	2.43	0.00	8.05	0.85	21.22	45.30	161.09	656.64
6	1972	269.87	86.01	139.11	29.81	1.39	0.37	0.16	2.67	28.87	29.14	71.53	73.33	732.28
7	1973	229.14	186.04	142.97	90.40	18.07	0.45	8.07	7.65	42.64	59.52	61.34	92.82	939.10
8	1974	228.96	173.09	85.75	40.11	1.44	9.49	2.58	63.52	18.51	21.67	30.01	89.74	764.87
9	1975	182.51	206.75	141.49	26.11	32.25	2.68	0.00	2.35	11.08	40.19	22.92	132.79	801.12
10	1976	196.79	97.86	120.80	18.57	25.64	8.14	2.75	18.28	81.43	1.81	9.30	105.71	687.08
11	1977	87.75	197.21	189.08	9.10	1.13	0.00	2.45	0.00	24.34	52.42	113.73	121.19	798.39
12	1978	347.75	146.18	116.69	83.60	0.47	1.85	0.03	3.25	16.26	32.90	130.88	208.89	1088.76
13	1979	216.64	103.75	149.95	48.51	2.14	0.00	3.57	7.66	0.53	49.79	75.43	140.41	798.40
14	1980	113.93	85.38	182.46	11.00	6.16	0.01	1.30	9.37	66.48	80.76	53.87	56.09	666.80
15	1981	184.90	164.98	163.93	67.75	0.29	0.09	0.00	47.40	38.57	25.46	62.13	164.17	919.68
16	1982	192.82	105.49	132.72	99.58	0.26	1.69	0.00	9.54	74.85	63.97	166.19	25.51	872.62
17	1983	43.00	54.29	18.05	11.74	7.55	3.97	0.04	4.42	19.38	26.92	17.51	42.88	249.74
18	1984	194.94	179.57	73.55	57.05	15.69	2.76	0.78	13.60	4.32	127.16	207.28	246.95	1123.64
19	1985	132.78	357.82	138.25	183.15	21.84	27.06	0.00	7.49	30.18	37.29	144.85	173.27	1253.98
20	1986	125.48	239.72	198.82	75.19	6.49	0.00	0.84	18.38	33.74	7.61	32.08	156.17	894.51
21	1987	174.13	97.32	65.78	24.03	5.12	7.72	22.27	3.53	4.03	34.41	134.85	94.64	667.83
22	1988	204.86	82.80	199.76	106.96	14.06	0.07	1.55	4.94	8.52	33.35	22.86	105.52	785.27
23	1989	148.51	111.67	132.82	61.40	1.83	26.33	0.90	6.11	4.89	12.21	39.78	43.43	589.88
24	1990	147.95	95.30	76.20	17.55	9.51	38.00	0.00	8.07	2.32	65.68	103.99	92.78	657.34
25	1991	127.53	159.41	122.66	40.33	15.46	31.63	1.85	0.60	9.07	43.22	26.90	101.58	680.23
26	1992	85.88	130.27	61.42	24.33	0.39	3.07	1.14	50.33	0.44	38.02	58.43	122.15	575.86
27	1993	177.15	21.06	132.21	33.28	8.30	1.01	0.00	19.47	15.40	64.01	90.68	154.25	716.84
28	1994	190.62	154.86	137.20	57.30	7.63	3.81	0.00	0.04	6.73	16.20	55.47	112.92	742.79
29	1995	99.37	144.91	129.73	33.05	0.93	0.00	0.00	6.31	14.73	13.73	67.84	104.97	615.55
30	1996	233.93	95.03	100.23	29.18	16.27	0.00	1.00	16.74	19.05	9.40	92.00	173.33	786.16
31	1997	190.43	204.10	156.14	66.49	6.78	0.00	0.39	12.76	29.84	35.83	109.34	91.49	903.58
32	1998	111.18	170.22	92.16	25.61	0.00	1.34	0.00	1.17	0.17	35.96	89.72	62.76	590.28
33	1999	157.33	108.91	168.45	133.81	7.89	2.91	0.06	9.30	26.69	111.01	32.29	90.68	849.35
34	2000	175.48	151.41	147.49	57.27	7.11	5.19	1.54	15.62	9.34	59.77	20.63	132.44	783.28
35	2001	262.60	218.34	126.09	53.64	13.89	3.61	3.38	14.06	19.49	52.44	50.97	76.48	894.99
36	2002	135.53	149.70	145.96	98.47	21.31	3.64	22.70	8.91	14.47	87.67	95.81	181.72	965.88
37	2003	209.27	156.37	156.61	24.95	7.29	3.76	0.41	2.41	27.93	17.34	19.58	147.99	773.92
38	2004	246.40	155.33	96.53	47.30	5.68	2.06	6.75	19.39	24.62	19.32	26.59	106.95	756.92
39	2005	108.98	280.35	115.12	56.97	0.35	0.59	0.41	2.02	17.47	52.37	79.16	156.99	870.79
40	2006	195.84	132.54	144.80	41.08	1.39	2.64	0.63	6.23	35.07	53.12	95.81	97.22	806.36
41	2007	82.12	90.78	226.80	80.92	11.66	2.90	6.76	8.11	47.22	37.68	100.30	95.69	790.95
42	2008	256.99	74.94	75.97	7.88	3.60	3.43	2.61	3.71	5.55	50.17	48.84	170.24	703.93
43	2009	102.62	165.00	140.91	37.18	3.15	2.62	3.35	2.87	6.04	36.35	118.29	94.19	712.58
44	2010	140.28	142.70	75.05	31.89	13.90	2.62	2.85	2.64	3.75	29.15	28.55	165.48	638.87
45	2011	94.97	207.39	125.45	31.55	7.55	2.64	7.76	7.11	39.43	60.15	90.49	317.94	992.42
46	2012	156.79	235.76	135.18	71.81	2.68	2.62	3.55	8.52	5.78	24.12	59.58	211.16	917.54
47	2013	154.35	141.50	97.60	16.39	20.03	14.77	7.60	11.12	12.92	46.79	60.23	146.57	729.87
48	2014	206.94	85.33	77.85	48.90	2.63	2.62	6.43	25.62	46.32	94.76	45.97	118.89	762.26
49	2015	75.55	94.52	52.85	77.72	5.31	4.48	5.89	9.98	56.07	51.24	67.51	102.50	603.63
50	2016	416.38	215.78	43.16	89.08	2.96	4.48	10.40	3.37	9.39	51.03	18.97	76.60	941.60
51	2017	287.80	149.76	98.89	71.89	10.80	4.56	7.54	5.67	44.18	59.69	58.79	119.93	919.51
Nº Datos		51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Media		172.020	148.369	120.804	51.785	8.095	4.956	3.382	10.521	22.766	44.395	68.883	124.305	780.281
Desv. Estándar		71.134	61.349	44.665	34.246	7.549	8.169	4.849	12.453	19.796	25.394	44.649	53.285	162.581
Prec. Max.		416.38	357.82	226.80	183.15	32.25	38.00	22.70	63.52	81.43	127.16	207.28	317.94	1,253.98
Prec. Min.		43.00	21.06	18.05	7.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	1.81	9.30	25.51	249.74

4.7. VARIABLES METEOROLÓGICAS COMPLEMENTARIAS DE LA CUENCA

4.7.1. Resultados y Discusión

Temperatura Media Mensual en la cuenca.

En la Tabla 39, se presenta los valores de las temperaturas media promedio mensual de las estaciones “Llalli, Ayaviri, Cabanillas, Pampahuata, Juliaca, Lampa, Lagunillas Capachica, Arapa, Mañazo, Puno, Crucero alto y Pucara, los mismos se ubican en la cuenca del río Coata, la variación de la temperatura es de 4.08 °C para el mes de julio y de 9.03 °C para diciembre.”

Tabla 39.

Temperatura Media Mensual (°C) en la Cuenca del Río Coata.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (C°)														
ESTACION	ALTITUD msnm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PRO
Estación Llalli	3980.00	8.80	8.75	8.46	7.75	5.77	4.15	3.82	5.19	7.13	8.18	8.74	9.10	7.15
Estación Ayaviri	3928.00	9.53	9.48	9.39	8.49	6.26	4.31	4.02	5.53	7.89	9.30	9.79	9.89	7.82
Estación Cabanillas	3892.00	10.33	10.22	10.10	9.68	8.28	7.03	6.78	7.88	9.22	10.05	10.67	10.64	9.24
Estación Pampahuata	4400.00	6.41	6.41	6.21	5.17	2.90	1.01	0.66	1.56	3.28	4.71	5.49	6.21	4.17
Estación Juliaca	3826.00	10.22	10.27	10.02	9.02	6.59	4.87	4.45	5.95	7.75	9.36	10.15	10.40	8.25
Estación Lampa	3892.00	10.00	9.83	9.70	8.68	6.53	5.00	4.78	5.99	7.63	8.75	9.65	10.00	8.04
Estación Lagunillas	3980.00	7.58	7.64	7.61	7.22	5.73	4.18	4.06	4.71	6.06	7.21	7.81	7.88	6.47
Estación Capachica	3828.00	9.38	9.40	9.29	8.73	7.04	5.86	5.61	6.52	7.85	8.85	9.23	9.42	8.10
Estación Arapa	3820.00	10.44	10.23	10.09	9.54	8.15	6.81	6.55	7.61	9.00	10.15	10.78	10.79	9.18
Estación Mañazo	3920.00	6.41	6.41	6.21	5.17	2.90	1.01	0.66	1.56	3.28	4.71	5.49	6.21	4.17
PROMEDIO		8.91	8.86	8.71	7.94	6.01	4.42	4.14	5.25	6.91	8.13	8.78	9.05	7.26

Evapotranspiración Potencial.

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método de Hargreaves se presentan en la Tabla 40; para ello se ha considerado la ubicación geográfica de la estación meteorológica Unucolla. La temperatura a considerar es el promedio de las temperaturas mensuales de las estaciones que están consideradas en la Tabla 39. La evapotranspiración potencial anual es de 1147.31 mm/año.

Tabla 40.

Resultados De La Evapotranspiración Potencial Cuenca del Rio Coata.

PARAMETRO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C	TMC	8.909	8.863	8.707	7.944	6.015	4.422	4.137	5.249	6.910	8.127	8.778	9.053	7.26
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °F	TMF	48.035	47.954	47.673	46.298	42.826	39.959	39.447	41.448	44.437	46.628	47.800	48.295	45.07
DIAS DEL MES	DM	31.000	28.000	31.000	30.000	31.000	30.000	31.000	31.000	30.000	31.000	30.000	31.000	30.42
RADIACION EXTRATERRESTRE POR DIA	Ra	16.843	16.400	15.228	13.557	11.813	10.913	11.313	12.685	14.357	15.800	16.643	16.743	14.36
RADIACION EXTRATERRESTRE POR MES	RMM	522.142	459.200	472.079	406.702	366.217	327.403	350.717	393.238	430.702	489.800	499.298	519.042	436.38
HORAS DE SOL PROMEDIO	n	5.743	6.517	6.287	7.327	9.325	9.260	9.245	8.965	8.638	8.098	8.337	7.567	7.94
HORAS DE SOL POSIBLE SEGÚN LATITUD	N	12.926	12.617	12.209	11.791	11.383	11.174	11.274	11.591	12.000	12.509	12.826	13.026	12.11
PORCENTAJE DE HORAS DE SOL (%)	n/N	44.433	51.649	51.494	62.136	81.923	82.871	82.003	77.342	71.986	64.742	64.998	58.089	66.14
RADIACION SOLAR EQUIVALENTE EN mm/mes	RSM	261.036	247.510	254.069	240.441	248.600	223.535	238.194	259.373	274.070	295.578	301.907	296.695	261.75
FACTOR DE CORRECCION POR ALTITUD	FA	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.08
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/mes)	ETP	101.240	95.831	97.795	89.880	85.961	72.119	75.864	86.799	98.334	111.278	116.518	115.691	95.61
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/dia)	ETP	3.266	3.423	3.155	2.996	2.773	2.404	2.447	2.800	3.278	3.590	3.884	3.732	3.15
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/año)	ETP													1147.31

$$TMF = (TMC * 1.80) + 32$$

$$RMM = Ra * DM$$

$$n/N = (n/N) * 100$$

$$RSM = 0.075 * RMM * RAIZ(n/N)$$

$$FA = 1 + 0.02 * AL$$

$$ETo = 0.0075 * RSM * TMF * FA$$

Tabla 41.

Resultados De La Evapotranspiración Potencial Subcuenca del Rio Lampa.

PARAMETRO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C	TMC	9.995	9.828	9.695	8.675	6.530	4.998	4.780	5.990	7.633	8.753	9.645	9.998	8.04
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °F	TMF	49.991	49.690	49.451	47.615	43.754	40.996	40.604	42.782	45.739	47.755	49.361	49.996	46.48
DIAS DEL MES	DM	31.000	28.000	31.000	30.000	31.000	30.000	31.000	31.000	30.000	31.000	30.000	31.000	30.42
RADIACION EXTRATERRESTRE POR DIA	Ra	16.800	16.400	15.250	13.600	11.900	11.000	11.400	12.750	14.400	15.800	16.600	16.700	14.38
RADIACION EXTRATERRESTRE POR MES	RMM	520.800	459.200	472.750	408.000	368.900	330.000	353.400	395.250	432.000	489.800	498.000	517.700	437.15
HORAS DE SOL PROMEDIO	n	5.743	6.517	6.287	7.327	9.325	9.260	9.245	8.965	8.638	8.098	8.337	7.567	7.94
HORAS DE SOL POSIBLE SEGÚN LATITUD	N	12.926	12.617	12.209	11.791	11.383	11.174	11.274	11.591	12.000	12.509	12.826	13.026	12.11
PORCENTAJE DE HORAS DE SOL (%)	n/N	44.433	51.649	51.494	62.136	81.923	82.871	82.003	77.342	71.986	64.742	64.998	58.089	66.14
RADIACION SOLAR EQUIVALENTE EN mm/mes	RSM	260.365	247.510	254.430	241.209	250.422	225.308	240.017	260.700	274.897	295.578	301.122	295.928	262.29
FACTOR DE CORRECCION POR ALTITUD	FA	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.09
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/mes)	ETP	105.936	100.099	102.404	93.478	89.179	75.177	79.320	90.777	102.335	114.884	120.975	120.417	99.58
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/dia)	ETP	3.417	3.575	3.303	3.116	2.877	2.506	2.559	2.928	3.411	3.706	4.033	3.884	3.28
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/año)	ETP													1194.98

$$TMF = (TMC * 1.80) + 32$$

$$RMM = Ra * DM$$

$$n/N = (n/N) * 100$$

$$RSM = 0.075 * RMM * RAIZ(n/N)$$

$$FA = 1 + 0.02 * AL$$

$$ET_o = 0.0075 * RSM * TMF * FA$$

Coefficiente de Escurrimiento.

Los resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento y déficit de escurrimiento, según la fórmula de L. Turc, se presentan en la Tabla 42, cuyos valores son: coef. De escurrimiento de 0.43 y un déficit de escurrimiento de y 422.61 mm/año.

Tabla 42.

Resultados Del Coeficiente De Escurrimiento – Metodo Turc.

PARAMETRO		VALOR
PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL PROMEDIO (mm/año)	P	747.91
TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	T	7.26
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	L	500.61
DEFICIT DE ESCURRIMIENTO (mm/año)	D	422.61
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	C	0.4349

Considerando las ecuaciones para determinar los coeficientes de escurrimiento y déficit de escurrimiento validado para la región de la sierra del sur de Perú, “los resultados se presentan en la Tabla 43, cuyos valores son: coef.; de escurrimiento de 0.38 y un déficit de escurrimiento de 456.20 mm/año, respectivamente.”

Tabla 43.

La Estimación Del Coeficiente De Escurrimiento – Metodo Empirico.

PARAMETROS		VALOR
PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL PROMEDIO (mm/año)	P	747.91
ETP (mm/año) HARGREAVES	ETP	1147.31
DEFICIT DE ESCURRIMIENTO (D) (mm/año)	D	456.20
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C)	C	0.3808

Los valores de coeficiente de escurrimiento(C) calculados mediante el método de Turc y el método empírico para la sierra del Perú, varía de 0.43 a 0.38, respectivamente, mientras

que los valores de déficit de escurrimiento (D), varía de 422.61 a 456.20 mm/año, respectivamente. Estos valores nos servirán de referencia, para iniciar la calibración del modelo; sin embargo, el verdadero valor se encontrará luego de la calibración del modelo.

Precipitación Efectiva.

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

Para estimar la precipitación efectiva el método (United States Bureau of Reclamation) considera que existe tres curvas tipo de precipitación efectiva en función de la precipitación total. Los valores para las respectivas curvas se muestran en la Tabla 44.

Tabla 44.
Precipitación Efectiva Según El Bureau Of Reclamation (Usbr).

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

Fuente: USBR (United States Bureau of Reclamation).

Para determinar la precipitación efectiva desde la lluvia real para cuenca del río Coata se ha interpolado estos valores con una regresión polinomial, Los coeficientes de regresión son útiles para interpolar adecuadamente los valores de precipitación efectiva.

En las Figuras 38, 39 y 40, se muestran las curvas que relacionan la precipitación efectiva y la precipitación total, mediante ecuaciones polinomiales de quinto orden. Los coeficientes de regresión son importantes para interpolar adecuadamente los valores de precipitación efectiva. Los valores de estos coeficientes se obtienen de la correlación entre la precipitación y la precipitación efectiva correspondiente a cada curva., los mismos se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 45.
Coefficientes De Regresión Para Las Curvas De Precipitación Efectiva.

COEFICIENTE	CURVA I	CURVA II	CURVA III
Ao	-0.047	-0.106	-0.417
a1	0.009	0.147	0.379
a2	0	-0.002	-0.01
a3	0.00002	0.00005	0
a4	-0.00000005	-0.0000002	-9.00E-07
a5	2E-10	2E-10	1.00E-09

Fuente: USBR (United States Bureau of Reclamation).

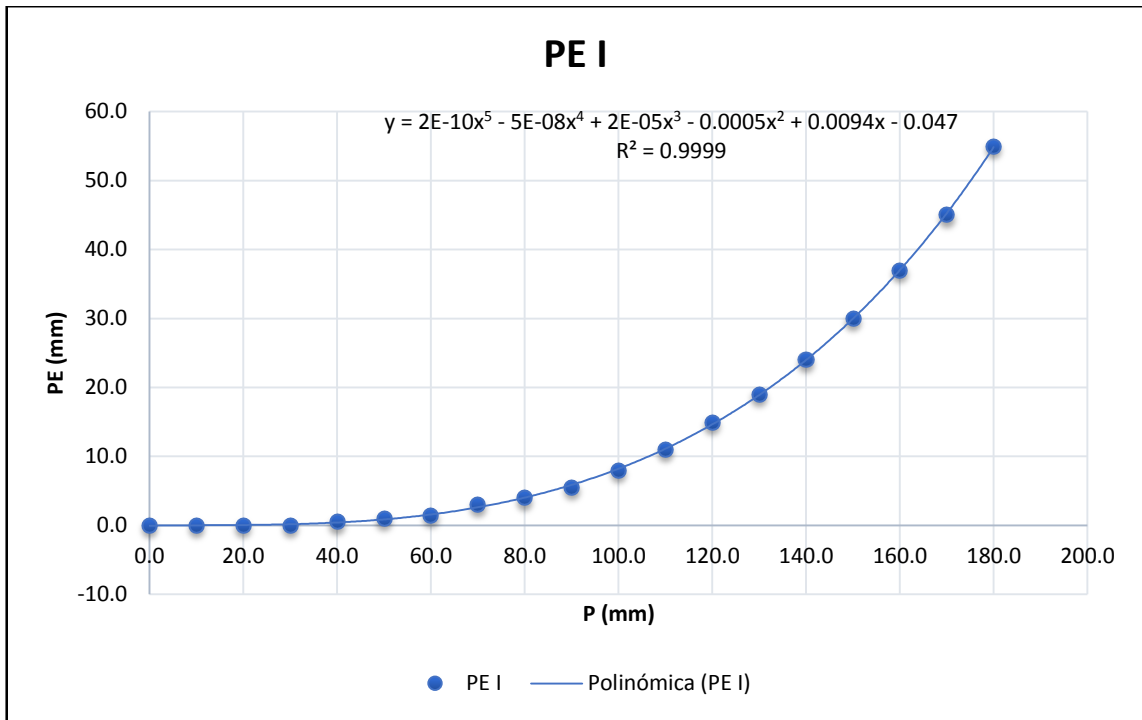


Figura 37. Ecuación Polinómica De La Precipitación Efectiva De La Curva I.

Fuente: USBR (United States Bureau of Reclamation).

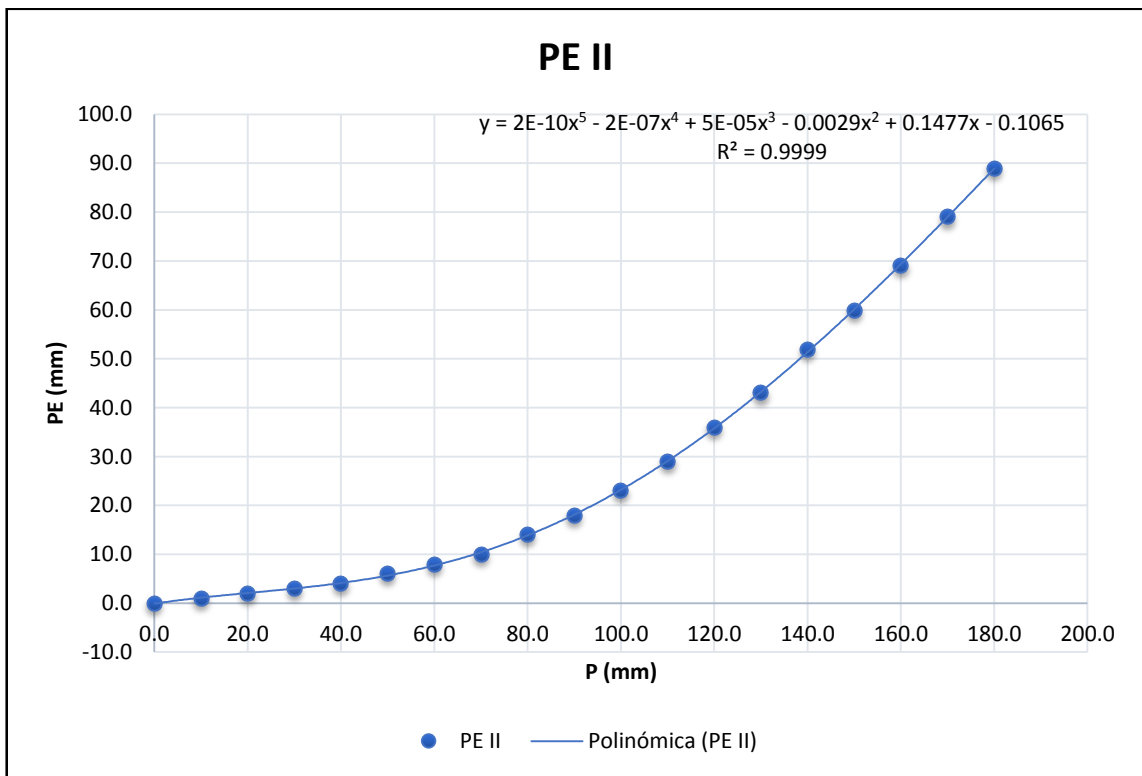


Figura 38. Ecuación Polinómica De La Precipitación Efectiva De La Curva II.

Fuente: USBR (United States Bureau of Reclamation).

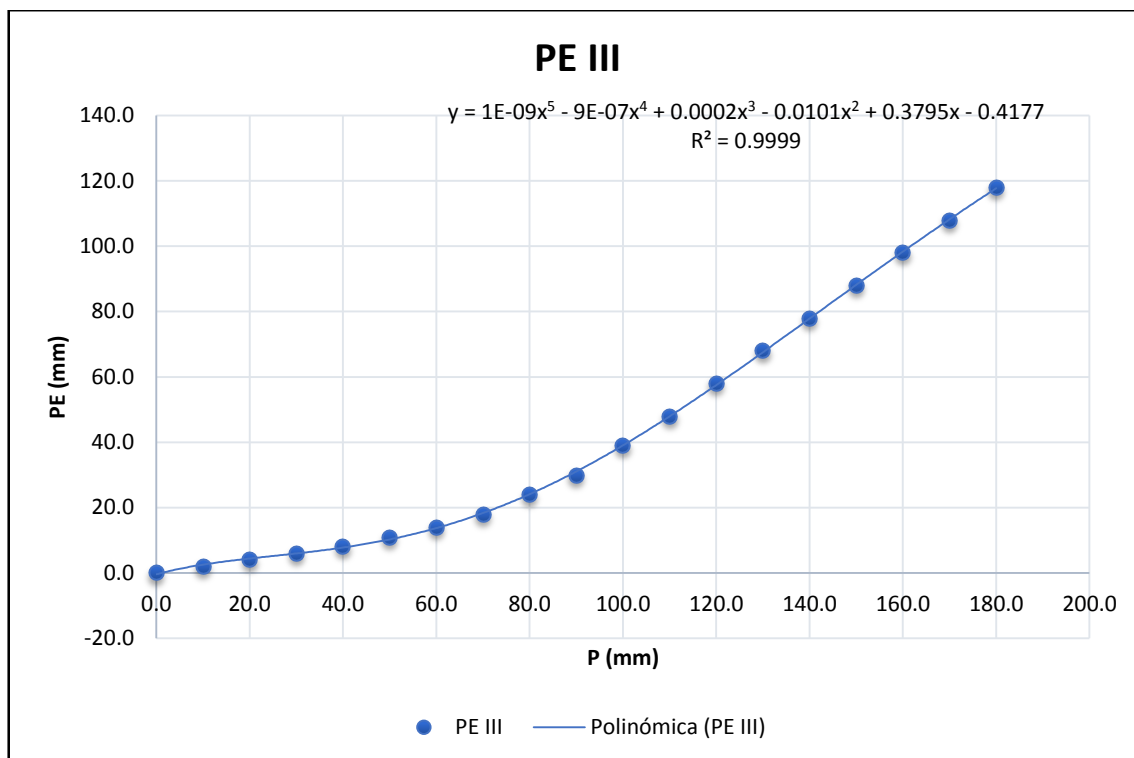


Figura 39. Ecuación Polinómica De La Precipitación Efectiva De La Curva III.

Fuente: USBR (United States Bureau of Reclamation).

Los Resultados de la estimación de la precipitación efectiva se presentan en la siguiente

Tabla.

Tabla 46.
Precipitación Efectiva Mensual (mm).

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL				
		TOTAL	E F E C T I V A			
		P	PE I	PE II	PE III	PE
		mm	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes
JUL	31	3.70	0.00	0.45	0.94	0.87
AGO	31	10.59	0.00	1.16	2.50	2.31
SET	30	19.82	0.00	1.75	4.27	3.92
OCT	31	41.19	0.64	1.41	8.42	7.46
NOV	30	65.14	2.41	0.00	16.36	14.12
DIC	31	118.85	15.22	0.00	58.68	50.64
ENE	31	162.79	43.03	0.00	99.41	85.79
FEB	28	145.77	29.86	0.00	86.78	74.89
MAR	31	119.61	15.54	0.00	59.48	51.33
ABR	30	48.07	1.01	0.71	10.18	8.88
MAY	31	7.97	0.00	0.92	1.94	1.80
JUN	30	4.41	0.00	0.53	1.11	1.03
TOTAL		747.91	107.70	6.93	350.06	303.06

Retención de la Cuenca.

Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual; “considerando que en la cuenca se encuentra lagunas que contribuyen a la retención de aproximadamente de 113 Km², nevados con una extensión aproximada de 38 Km² y acuíferos con una extensión de 457.50 Km², aproximadamente, según estudios realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales. El gasto de la retención (R), es de 42.68 mm/año,” así como también tomando las referencias de que la retención de la cuenca varía entre 50 y 80 mm/año para la puna; sin embargo, el verdadero valor se encontrara luego de la calibración del modelo.

Tabla 47.
Retención de la Cuenca del Rio Coata.

ANALISIS DE LA RETENCION DE UNA CUENCA			
DESCRIPCION	Lamina (mm/año)	En Km²	m³/año
Acuíferos potenciales < 2%	300		0
Acuíferos potenciales < 8%	250	457.50	114375
Acuíferos potenciales < 15%	200		0
Lagunas y Pantanos	500	113	56500
Nevados	500	38.00	19000
Total, de áreas de retención		608.50	
Área de la cuenca		4448.48	189875
Retención de la cuenca	R	42.68	mm/año

Fuente: INRENA - Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa.

Coefficiente de Agotamiento.

Considerando que la zona en estudio se encuentra en una zona con vegetación escasa, poco desarrollada (Puna), cuencas con agotamiento rápido y mediana retención, a partir de las fórmulas empíricas propuesto en la metodología, se obtiene que el coeficiente de agotamiento “a” tiene un valor de 0.01983.

Gasto de la Retención.

Los resultados de la contribución mensual de la estación seca, estimados con las fórmulas empíricas correspondientes, se presenta en la siguiente Tabla 50. No se considera los meses húmedos como son: noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo.

Tabla 48.
Resultados Del Gasto De La Retención Mensual (mm/mes).

MES	DIAS	RETENCION	
		GASTO	
		bi	Gi
		mm/mes	mm/mes
JUL	31	0.089	3.18
AGO	31	0.048	1.72
SET	30	0.027	0.95
OCT	31	0.014	0.51
NOV	30	0.00	0.00
DIC	31	0.00	0.00
ENE	31	0.00	0.00
FEB	28	0.00	0.00
MAR	31	0.00	0.00
ABR	30	0.552	19.74
MAY	31	0.298	10.68
JUN	30	0.165	5.89
TOTAL		1.19	42.68

Abastecimiento de la Retención.

Los resultados del cálculo de la lámina de abastecimiento durante la estación lluviosa y no lluviosa para la zona en estudio, se presenta en la siguiente Tabla. Para la calibración se ha modificado los coeficientes de abastecimiento en (%) de cada mes.

Tabla 49.
Resultados Del Abastecimiento De La Retención Mensual (mm/mes).

MES	DIAS	RETENCION	
		ABASTO	
		ai	Ai
		mm/mes	mm/mes
JUL	31	0.000	0.00
AGO	31	0.000	0.00
SET	30	0.000	0.00
OCT	31	0.060	2.56
NOV	30	0.198	8.45
DIC	31	0.840	35.85
ENE	31	0.711	30.35
FEB	28	-0.070	-2.99
MAR	31	-0.579	-24.71
ABR	30	-0.160	-6.83
MAY	31	0.000	0.000
JUN	30	0.000	0.000
TOTAL		1.0000	42.68

4.8. GENERACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA UN AÑO PROMEDIO

4.8.1. Resultados y Discusión

Los resultados de la generación de caudales mensuales para un año promedio se presentan en la Tabla 50: en ella se observa una variación de los caudales mensuales durante el año, los valores son de 3.35 a 73.53 mm/mes, para los meses de agosto y marzo, respectivamente. Los caudales Aforados en el río Coata, para un periodo de registro de 1967 al 2017, la variación durante el año es de “4.75 a 137.44 m³/s para los meses de Setiembre y febrero respectivamente. Luego de calibrar el modelo a partir de los coeficientes de Retención, abastecimiento y escurrimiento, se muestra en la Figura 41, la comparación de los caudales generados y los caudales aforados en el río Coata. Al realizar la correlación entre los datos generados y los datos registrados, se obtiene un coeficiente de correlación de 0.999, esto nos indica que la calibración del modelo de generación de descargas medias para el río Coata mediante del modelo Lutz Scholz es apropiado.

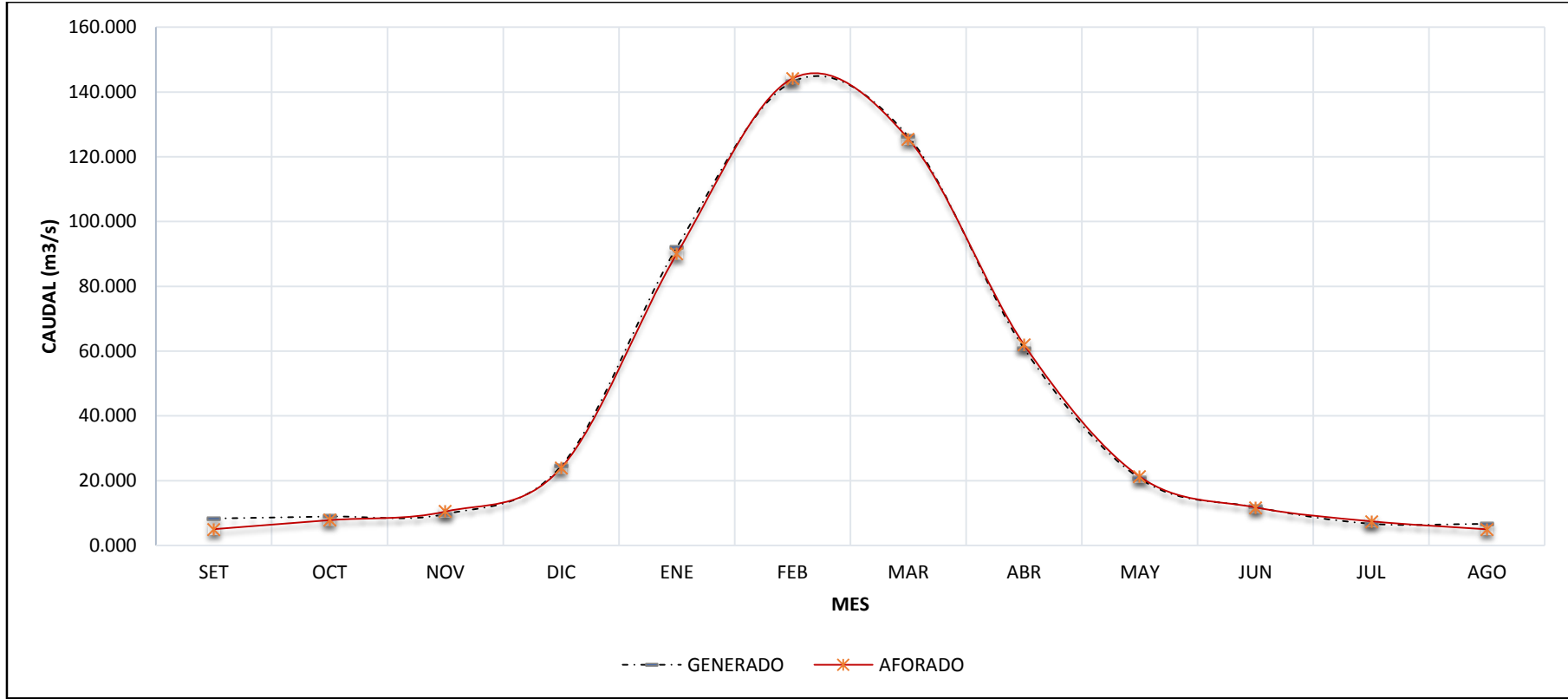


Figura 40. Comparación de caudales calculados y aforados, luego de la calibración para el Río Coata.

Tabla 50.

Resultados Generados y aforados de Caudales Mensuales para el Año Promedio (m³/s).

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL					RETENCION				CAUDALES		
		TOTAL	E F E C T I V A				GASTO		ABASTO		MENSUALES		
		P	PE I	PE II	PE III	PE	bi	Gi	ai	Ai	GENERADOS		AFORADOS
		mm	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	m ³ /s
JUL	31	3.70	0.00	0.45	0.94	0.87	0.089	3.18	0.000	0.00	4.06	6.736	7.44
AGO	31	10.59	0.00	1.16	2.50	2.31	0.048	1.72	0.000	0.00	4.04	6.704	4.95
SET	30	19.82	0.00	1.75	4.27	3.92	0.027	0.95	0.000	0.00	4.87	8.364	5.00
OCT	31	41.19	0.64	1.41	8.42	7.46	0.014	0.51	0.060	2.56	5.41	8.984	7.78
NOV	30	65.14	2.41	0.00	16.36	14.12	0.00	0.00	0.198	8.45	5.67	9.735	10.44
DIC	31	118.85	15.22	0.00	58.68	50.64	0.00	0.00	0.840	35.85	14.79	24.559	23.91
ENE	31	162.79	43.03	0.00	99.41	85.79	0.00	0.00	0.711	30.35	55.45	92.090	90.05
FEB	28	145.77	29.86	0.00	86.78	74.89	0.00	0.00	-0.070	-2.99	77.88	143.207	144.15
MAR	31	119.61	15.54	0.00	59.48	51.33	0.00	0.00	-0.579	-24.71	76.04	126.300	125.52
ABR	30	48.07	1.01	0.71	10.18	8.88	0.552	19.74	-0.160	-6.83	35.45	60.849	61.98
MAY	31	7.97	0.00	0.92	1.94	1.80	0.298	10.68	0.000	0.000	12.47	20.716	21.22
JUN	30	4.41	0.00	0.53	1.11	1.03	0.165	5.89	0.000	0.000	6.92	11.881	11.72
TOTAL		747.91	107.70	6.93	350.06	303.06	1.19	42.68	1.0000	42.68	303.06	43.344	42.846

4.9. GENERACIÓN DE CAUDALES PARA PERIODO EXTENDIDOS

4.9.1. Resultados y Discusión

Precipitación Efectiva de la Cuenca

Para la generación de caudales para periodos extendidos, primero se tiene que determinar la precipitación efectiva de la cuenca a partir de la precipitación media areal determinado mediante el método de Thiessen para la cuenca del río Coata, desde el punto de aforo aguas arriba, Los resultados se presentan en la Tabla 52.

Números Aleatorios

En el presente trabajo se generó los números aleatorios normalmente distribuidos con media igual a cero y desviación estándar igual a 1. En la Tabla 53, se presentan la información empleada.

Descargas Medias Mensuales Generadas

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

Tabla 51.

Datos de la Variable Dependiente e Independiente.

CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION PARA EL AÑO PROMEDIO			
	Qt	Qt-1	PE
ENE	55.4	14.8	85.8
FEB	77.9	55.4	74.9
MAR	76.0	77.9	51.3
ABR	35.5	76.0	8.9
MAY	12.5	35.5	1.8
JUN	6.9	12.5	1.0
JUL	4.1	6.9	0.9
AGO	4.0	4.1	2.3
SEP	4.9	4.0	3.9
OCT	5.4	4.9	7.5
NOV	5.7	5.4	14.1
DIC	14.8	5.7	50.6

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

Coeficientes de la regresión lineal múltiple	B1	= -3.863
Coeficientes de la regresión lineal múltiple	B2	= 0.561
Coeficientes de la regresión lineal múltiple	B3	= 0.591
Error estándar de la regresión múltiple	S	= 7.034
Coeficiente de determinación	r ²	= 0.950

Considerando la ecuación integral para la generación de caudales mensuales del río Coata, en donde están en función de los coeficientes de la regresión lineal múltiple, error estándar de la regresión múltiple, coeficiente de correlación múltiple, precipitación efectiva y caudal del mes anterior; en la Tabla 54, se presenta la serie de descargas medias mensuales (mm) generadas para cuenca del río Coata. Considerando el área de drenaje de la cuenca de 4448.48 Km² hasta el punto de aforo, y el número de días de cada mes, en los ANEXO, se presenta la serie de descargas media mensuales (m³/s) generadas para cuenca del río Coata.

Tabla 52.

Precipitación efectiva (mm) generada en la cuenca del río Coata – Periodo 1967 a 2017.

PRESIPITACION MEDIA MENSUAL - CUENCA COATA - THIESSEN (mm/mes)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	77.51	112.84	188.84	16.96	16.83	1.19	9.04	9.48	50.87	50.42	13.69	136.61	684.27
2	1968	152.99	192.05	96.62	34.36	10.45	5.90	5.57	3.24	20.53	49.19	140.59	85.12	796.60
3	1969	154.18	100.01	58.65	53.14	0.00	0.81	6.23	0.48	14.68	33.18	69.22	83.15	573.75
4	1970	158.80	127.47	156.92	36.04	17.71	1.15	0.35	3.22	14.84	29.27	11.59	168.52	725.87
5	1971	113.78	215.00	82.74	21.96	3.00	3.81	0.03	4.92	1.25	14.80	49.24	152.35	662.89
6	1972	242.20	95.68	145.39	32.51	1.94	0.28	0.13	2.00	33.85	37.00	56.74	87.56	735.28
7	1973	243.79	173.43	149.74	96.26	21.54	1.11	9.03	11.52	40.43	35.92	55.40	112.80	950.98
8	1974	237.14	217.06	100.10	46.64	1.22	11.13	1.65	56.01	18.51	19.85	22.99	102.31	834.60
9	1975	189.35	214.57	137.84	29.61	24.06	1.71	0.09	1.37	9.04	40.22	37.71	163.91	849.49
10	1976	192.70	119.62	140.21	22.72	19.25	4.78	5.11	18.28	64.15	2.27	9.86	97.52	696.46
11	1977	96.27	221.14	187.29	12.30	1.24	0.00	3.23	1.26	21.22	40.21	122.61	109.23	816.01
12	1978	296.78	124.66	100.94	62.92	0.27	1.17	0.11	1.62	15.57	26.50	110.98	170.56	912.08
13	1979	193.43	106.14	120.34	37.80	1.62	0.00	2.76	5.44	0.84	47.61	70.29	108.01	694.27
14	1980	97.52	75.53	183.49	9.98	3.66	0.04	1.92	10.41	41.08	86.36	42.57	50.53	603.08
15	1981	171.92	178.46	152.33	65.69	1.08	0.03	0.11	49.38	18.27	29.48	56.21	135.81	858.76
16	1982	171.14	83.16	121.70	58.43	1.52	0.75	0.26	5.76	51.70	64.05	148.25	20.86	727.59
17	1983	52.55	52.87	28.95	21.75	8.58	3.15	0.01	2.51	11.51	15.02	12.07	56.17	265.14
18	1984	193.33	212.01	123.64	37.29	14.12	3.09	1.15	29.95	4.87	97.05	153.12	189.75	1059.38
19	1985	95.73	242.11	125.18	127.15	23.13	16.39	0.02	3.77	24.83	26.62	144.32	172.58	1001.81
20	1986	130.39	235.85	202.70	83.16	4.78	0.00	1.76	10.95	25.46	8.66	31.82	172.74	908.27
21	1987	176.52	74.94	62.66	16.18	2.52	6.19	20.49	2.91	3.50	32.98	100.17	64.97	564.04
22	1988	209.80	81.25	197.70	90.13	13.22	0.05	0.98	3.22	7.50	30.04	14.98	95.59	744.47
23	1989	155.27	99.75	128.45	56.03	2.14	18.41	1.48	4.79	4.16	12.69	37.07	44.36	564.59
24	1990	168.37	76.49	68.52	22.59	6.10	37.00	0.00	10.89	2.00	61.01	113.16	86.09	652.23
25	1991	126.69	130.37	116.21	51.18	7.67	26.11	1.64	0.62	10.37	36.76	29.47	95.82	632.91
26	1992	89.65	123.05	60.97	16.40	0.23	3.47	1.02	63.06	0.31	35.25	49.76	98.10	541.27
27	1993	182.51	51.60	106.07	40.21	4.50	0.86	0.00	15.40	9.20	71.55	85.73	154.01	721.64
28	1994	182.78	147.71	141.00	68.72	10.33	2.44	0.00	0.07	13.91	19.81	75.19	121.87	783.81
29	1995	97.98	141.83	123.21	30.92	0.77	0.00	0.00	3.89	13.89	13.77	57.17	106.78	590.20
30	1996	242.94	112.35	82.49	41.54	11.30	0.00	0.52	17.27	12.17	6.56	85.16	185.53	797.82
31	1997	198.57	195.28	144.28	57.33	26.36	0.00	0.29	8.23	25.39	36.29	94.61	77.55	864.16
32	1998	128.06	158.28	108.20	28.39	0.00	1.84	0.04	1.57	0.16	28.63	95.29	48.59	599.06
33	1999	142.51	142.07	178.52	115.59	9.36	1.64	0.38	6.39	18.68	101.25	24.97	109.99	851.34
34	2000	163.86	196.65	148.86	42.41	7.94	3.62	1.96	12.99	10.65	82.97	19.13	126.11	817.15
35	2001	270.37	225.16	115.98	66.39	14.50	3.49	3.36	26.94	26.08	54.79	41.26	55.79	904.10
36	2002	122.62	184.51	146.57	105.28	23.15	4.98	22.78	13.17	11.93	95.54	88.28	149.24	968.04
37	2003	208.84	140.38	152.48	24.61	9.86	4.16	1.25	3.09	23.86	18.72	33.39	145.06	765.70
38	2004	218.84	137.75	84.65	48.59	2.85	2.06	10.46	18.89	21.61	12.58	28.28	89.08	675.63
39	2005	100.36	267.77	100.69	56.37	1.14	1.26	1.19	2.42	14.36	35.03	82.56	124.28	787.43
40	2006	224.54	124.98	155.54	48.64	1.51	2.31	1.08	5.51	34.53	41.44	85.63	90.54	816.25
41	2007	92.12	100.95	201.90	66.85	9.96	2.37	4.94	3.90	54.31	36.03	91.76	84.71	749.80
42	2008	267.30	73.93	63.91	7.03	2.58	2.64	2.27	2.94	5.04	40.60	53.38	189.74	711.37
43	2009	105.53	153.50	116.12	28.47	2.41	2.27	6.53	2.59	8.96	30.13	133.54	100.15	690.19
44	2010	156.23	151.34	69.09	32.73	13.71	2.34	2.59	2.27	3.86	23.50	36.34	178.15	672.15
45	2011	87.52	193.06	128.31	39.07	4.83	2.32	8.28	5.95	30.67	37.57	74.97	269.15	881.70
46	2012	167.35	222.88	163.67	75.17	2.31	2.32	2.74	6.66	5.53	22.31	54.66	197.94	923.55
47	2013	180.86	160.83	75.75	14.12	12.64	13.90	13.97	11.76	12.21	52.59	57.91	146.92	753.46
48	2014	180.23	74.82	65.82	48.53	3.25	3.24	6.44	35.37	40.06	99.44	46.17	134.18	737.57
49	2015	43.32	46.43	30.64	48.00	4.16	5.14	6.89	8.34	46.80	52.56	84.50	112.16	488.92
50	2016	164.04	222.40	33.81	104.27	3.75	6.26	9.50	3.45	7.52	53.95	11.81	59.32	680.08
51	2017	185.03	122.47	124.41	53.28	15.36	5.86	6.97	4.12	48.10	70.56	76.34	143.56	856.05
N° Datos	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Media	162.79	145.77	119.61	48.07	7.97	4.41	3.70	10.59	19.82	41.19	65.14	118.85	747.91	
Desv. Estándar	57.65	57.36	45.08	28.20	7.42	6.88	4.99	13.82	16.17	25.07	39.36	48.44	143.88	
Prec. Max.	296.78	267.77	202.70	127.15	26.36	37.00	22.78	63.06	64.15	101.25	153.12	269.15	1059.38	
Prec. Min.	43.32	46.43	28.95	7.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.16	2.27	9.86	20.86	265.14	
Prec. 75%	118.20	100.48	83.69	28.43	2.04	0.99	0.27	2.92	8.24	25.00	34.86	86.83	673.89	

Tabla 53.
Números aleatorios generados con distribución normal.

N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1967	0.53	-0.12	-0.82	0.11	2.43	-0.88	-0.01	-0.43	-0.64	-1.34	-0.43	0.67
2	1968	0.41	-2.33	-0.12	0.03	0.96	0.99	0.18	-0.56	-0.25	-1.04	0.54	0.04
3	1969	-0.55	-0.85	-0.49	0.21	-0.26	1.28	0.44	0.98	0.03	-1.45	1.02	-0.63
4	1970	-0.03	-0.18	0.40	0.32	-2.36	-0.50	-1.51	1.68	1.18	1.92	-1.83	0.11
5	1971	-3.06	-0.08	-1.22	-0.29	0.16	0.37	-1.02	0.49	0.80	1.43	-1.24	-2.26
6	1972	-0.13	-0.29	0.77	1.17	2.23	-1.55	0.09	1.05	0.51	0.76	0.51	0.29
7	1973	-1.77	-0.19	-0.32	1.65	0.77	0.67	-0.09	-0.06	0.47	1.34	0.22	-0.50
8	1974	-0.01	-0.80	-1.10	1.39	0.34	0.49	-0.73	-0.29	-0.80	-1.69	-0.28	-0.76
9	1975	-0.81	-0.51	1.60	-0.20	0.38	-2.09	0.85	-0.01	-1.44	-0.17	0.52	1.02
10	1976	-2.02	0.52	0.63	-1.35	-0.95	-0.07	0.25	0.23	0.43	-0.68	0.19	-0.14
11	1977	-1.69	-1.17	-0.60	0.83	0.97	0.33	0.10	0.93	-1.02	0.94	0.75	1.30
12	1978	0.25	1.49	-1.43	-0.20	-1.91	-1.02	2.45	-1.66	0.50	-1.19	-0.40	-0.04
13	1979	-0.20	1.98	-0.30	-1.73	0.17	-0.36	-1.53	-0.69	0.51	1.55	0.25	-0.81
14	1980	0.02	0.67	0.52	-2.12	0.86	0.08	1.25	-0.11	-0.73	1.24	-2.41	-0.57
15	1981	-0.74	0.08	0.78	2.06	0.84	-0.75	-0.55	-0.48	-0.56	-0.72	-1.42	-1.09
16	1982	-0.48	-0.66	-0.73	-0.28	-1.06	0.74	2.03	-0.86	-1.74	0.24	0.21	-1.26
17	1983	0.70	0.32	-1.04	-0.29	-0.52	0.41	1.59	-0.14	0.17	1.27	-0.48	-0.58
18	1984	1.01	0.11	0.34	-0.53	-1.08	-0.52	-0.80	0.37	-1.05	-0.65	0.92	2.28
19	1985	-1.15	0.58	-0.92	0.66	-0.25	0.66	-1.21	0.30	1.08	0.47	-1.00	-1.22
20	1986	-0.70	1.07	-0.98	-1.25	1.65	-0.35	-1.26	0.10	-0.05	-0.62	-0.62	-0.67
21	1987	0.15	-0.51	-0.90	-1.42	-0.40	1.65	-0.33	-0.83	-1.09	-1.17	-0.84	-0.81
22	1988	-0.45	1.00	0.34	0.97	1.15	-1.85	-1.59	1.72	-1.36	-0.44	0.51	-0.50
23	1989	-0.53	-1.41	-0.22	0.44	0.13	0.42	0.24	0.65	-2.42	-0.27	1.56	1.82
24	1990	2.58	1.27	1.40	-1.33	-0.76	-0.28	1.27	-1.58	-0.04	1.43	-0.92	-0.64
25	1991	-1.69	-1.12	-2.43	-0.94	-0.85	-0.13	-0.24	0.85	0.83	1.29	-1.27	0.04
26	1992	-1.24	1.76	-1.50	2.40	-1.31	1.35	-1.42	-0.99	-1.27	-0.96	0.92	-1.36
27	1993	0.43	0.73	0.00	-0.03	-0.34	-0.34	-1.73	-0.40	2.04	0.23	-0.50	-0.45
28	1994	0.55	-0.17	0.61	-1.47	-1.65	-1.87	-0.45	-1.74	-0.95	-1.08	0.67	-0.26
29	1995	1.22	0.54	-0.91	-0.60	0.82	-0.99	-0.79	-1.28	-1.27	0.45	0.96	1.75
30	1996	-3.34	-0.02	-0.60	-0.85	0.22	-0.91	-0.29	-2.05	-0.49	-0.52	0.22	-1.11
31	1997	-2.32	-2.61	-1.04	-0.40	1.25	0.58	1.21	-1.47	0.07	-0.95	-1.42	-1.17
32	1998	-0.79	-0.75	0.83	-0.14	1.43	0.32	0.43	0.56	0.62	-1.71	1.15	0.57
33	1999	-1.01	-0.82	-0.33	0.30	-1.44	-0.31	1.39	0.54	2.40	0.16	0.50	-2.04
34	2000	-1.00	-0.17	-0.76	-0.69	0.66	0.19	0.68	0.23	0.35	-0.71	0.12	1.22
35	2001	0.64	-0.55	-1.07	-0.20	-1.82	0.19	0.70	0.36	0.20	0.47	-2.14	-0.18
36	2002	0.23	0.92	0.07	0.30	0.18	-1.44	-0.26	-0.21	0.91	0.45	-1.87	0.16
37	2003	1.30	1.13	-1.54	-1.21	-1.26	0.01	0.40	-0.39	-0.32	-0.85	0.70	-0.36
38	2004	0.32	1.64	1.97	-0.58	0.13	-0.26	1.03	0.11	0.93	1.55	-0.04	0.73
39	2005	-1.25	0.49	2.38	-0.48	0.31	-0.51	-0.20	-0.23	1.37	-0.12	0.53	-0.12
40	2006	0.90	1.42	-1.50	0.02	-0.50	0.40	-1.52	0.04	-1.34	-1.25	0.21	-0.06
41	2007	0.64	-0.43	-0.68	1.33	-0.12	-0.55	-0.43	-0.75	-0.76	0.69	1.74	0.20
42	2008	-0.01	-1.23	0.46	-0.65	-0.31	-0.09	1.61	-0.23	-1.08	1.46	-0.19	-0.12
43	2009	0.00	0.23	-1.18	-0.02	-0.52	0.79	-0.45	-2.61	-1.58	-0.36	-0.85	-0.94
44	2010	-0.02	-0.03	0.49	-0.13	0.03	1.02	-0.88	1.72	-0.21	0.93	0.08	-0.78
45	2011	-0.09	-1.17	-0.70	1.06	-1.45	1.01	-1.12	-0.74	-1.32	-1.31	1.02	1.04
46	2012	1.14	-0.91	0.96	-0.68	-1.32	0.52	0.08	1.40	-0.74	0.58	1.10	0.96
47	2013	1.74	-1.04	0.01	0.38	-0.77	-0.35	-0.61	-2.35	-0.64	-0.07	1.26	0.48
48	2014	0.74	-0.50	-0.59	0.73	0.02	-0.57	0.43	-0.16	2.32	0.66	-1.05	-0.17
49	2015	0.77	-1.16	0.29	-0.98	1.02	-0.74	0.58	0.47	1.31	1.27	2.96	-0.85
50	2016	-0.25	-0.14	0.58	0.27	0.02	-0.28	-0.29	-0.86	-1.45	0.21	-1.68	-1.49
51	2017	1.54	-0.62	-1.52	-0.78	-0.85	0.21	0.52	0.28	0.40	1.51	1.16	0.45

Tabla 54.
Descargas medias mensuales generados (mm) – Cuenca Coata.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	27.27	54.21	142.18	79.70	46.57	18.33	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	49.66	423.43
2	1968	110.55	194.89	121.29	70.19	36.48	18.57	5.41	0.00	0.00	0.00	54.68	45.74	657.81
3	1969	107.04	91.72	50.29	33.37	11.02	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	7.17	17.16	321.13
4	1970	96.86	109.31	141.96	83.27	36.27	13.35	0.00	0.00	0.00	2.74	0.00	93.10	576.87
5	1971	79.04	206.67	116.38	64.49	29.76	12.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.94	561.84
6	1972	198.58	147.17	132.89	79.67	43.12	14.31	1.60	0.00	0.00	1.92	7.09	21.87	648.24
7	1973	178.43	223.00	171.12	126.99	68.75	35.33	14.54	4.05	4.40	5.85	8.21	37.11	877.79
8	1974	185.04	272.77	160.55	98.99	48.56	25.32	5.84	6.80	0.00	0.00	0.00	20.55	824.41
9	1975	126.73	234.63	174.76	99.84	53.36	19.17	6.19	0.00	0.00	0.00	0.00	94.24	808.92
10	1976	168.29	149.38	130.48	69.96	32.93	13.44	2.70	0.00	7.74	0.00	0.00	19.68	594.59
11	1977	29.15	179.18	204.63	117.07	60.02	29.08	10.41	2.12	0.00	1.04	45.26	59.30	737.26
12	1978	256.72	211.35	129.07	80.95	32.69	9.90	5.30	0.00	0.00	0.00	27.93	113.92	867.84
13	1979	184.77	152.85	116.36	63.22	28.76	9.07	0.00	0.00	0.00	0.40	10.22	33.90	599.54
14	1980	42.37	40.69	133.53	67.45	33.34	12.93	4.29	0.00	0.00	18.60	5.55	4.42	363.17
15	1981	100.75	180.90	154.09	102.52	51.73	21.36	3.78	3.48	0.00	0.00	0.00	46.46	665.08
16	1982	124.26	91.89	85.33	53.91	20.50	7.41	2.90	0.00	0.00	4.78	63.18	28.69	482.86
17	1983	21.28	17.95	5.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.50
18	1984	122.84	231.21	160.25	91.83	43.63	18.04	1.58	0.86	0.00	17.05	96.79	176.21	960.29
19	1985	118.15	262.37	173.94	148.80	78.21	43.95	14.32	3.27	2.94	1.30	55.49	127.84	1030.58
20	1986	116.72	256.07	257.81	161.71	86.86	42.84	14.02	4.06	0.48	0.00	0.00	96.09	1036.66
21	1987	159.06	109.61	59.56	27.52	8.10	3.94	0.00	0.00	0.00	0.00	17.24	14.32	399.35
22	1988	144.26	108.00	181.16	127.14	68.45	28.14	4.99	1.59	0.00	0.00	0.00	17.63	681.36
23	1989	92.37	80.79	85.86	55.45	24.57	12.52	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	357.71
24	1990	106.07	82.50	53.81	25.47	6.84	3.39	0.00	0.00	0.00	3.21	34.75	33.68	349.72
25	1991	58.86	85.12	73.37	43.20	16.58	7.65	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	20.04	305.41
26	1992	26.51	67.61	36.16	24.19	3.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	20.26	178.34
27	1993	123.07	82.12	70.74	41.72	16.42	2.18	0.00	0.00	0.00	7.52	19.81	92.18	455.76
28	1994	164.06	165.33	139.01	85.45	38.00	11.02	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	43.31	652.18
29	1995	51.05	93.15	86.63	47.82	21.87	3.39	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	34.85	340.15
30	1996	180.84	149.64	88.91	50.34	23.93	4.81	0.00	0.00	0.00	0.00	9.77	115.97	624.21
31	1997	185.49	244.20	176.77	106.34	59.49	29.44	12.76	0.00	0.00	0.00	16.21	17.92	848.62
32	1998	53.19	127.01	97.20	54.77	27.03	10.37	0.31	0.00	0.00	0.00	20.00	14.78	404.65
33	1999	60.15	95.05	154.04	127.45	61.18	28.45	12.72	3.56	5.64	29.22	16.47	35.56	629.47
34	2000	109.66	205.50	160.60	92.56	47.38	22.24	7.90	1.32	0.00	11.55	4.27	49.35	712.34
35	2001	226.23	307.92	189.78	117.44	55.70	27.05	10.87	5.59	2.14	6.32	0.00	3.14	952.18
36	2002	43.65	154.38	135.45	108.90	57.64	24.15	10.36	1.61	0.00	22.81	26.48	73.31	658.75
37	2003	180.99	174.67	165.73	91.11	41.99	18.76	5.11	0.00	0.00	0.00	0.00	53.41	731.77
38	2004	177.08	171.84	107.98	63.63	29.18	10.12	3.99	0.00	0.03	0.26	0.00	19.34	583.44
39	2005	32.76	236.88	151.74	91.32	44.29	18.00	3.11	0.00	0.00	0.00	15.36	50.58	644.03
40	2006	182.58	165.29	164.10	97.83	45.82	21.61	1.65	0.00	0.00	0.00	14.01	26.43	719.31
41	2007	36.42	49.69	153.06	100.37	49.99	21.48	5.27	0.00	0.00	1.39	25.82	30.26	473.75
42	2008	210.79	139.23	78.53	38.86	14.50	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	1.99	118.45	604.53
43	2009	95.24	150.77	109.86	62.46	26.76	11.57	0.17	0.00	0.00	0.00	41.96	45.39	544.18
44	2010	110.21	134.60	78.11	44.44	20.67	8.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.15	499.84
45	2011	74.95	177.16	133.42	80.83	34.89	16.89	1.70	0.00	0.00	0.00	9.76	203.63	733.23
46	2012	213.05	296.20	244.87	151.76	73.21	37.82	15.00	7.14	0.00	0.00	5.58	131.24	1175.86
47	2013	187.18	212.30	119.08	66.54	30.42	13.07	2.00	0.00	0.00	0.00	6.75	62.04	699.39
48	2014	145.11	100.89	57.00	37.54	14.79	1.20	0.00	0.00	5.58	29.28	16.14	57.55	465.06
49	2015	35.64	21.00	10.51	5.84	0.35	0.00	0.00	0.00	1.26	7.34	28.29	46.64	156.86
50	2016	117.99	238.76	122.29	100.45	49.12	22.61	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	658.43
51	2017	114.89	115.26	97.18	57.99	26.03	10.42	2.15	0.00	1.39	13.78	23.05	68.80	530.94

N° Datos	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Media	111.717	144.987	116.590	71.233	34.065	14.727	3.965	0.681	0.521	3.059	13.506	52.596	567.645	
Desv. Estándar	61.341	71.007	49.622	33.044	18.066	10.446	4.364	1.709	1.458	5.828	18.419	43.295	224.690	
Desc. Max.	247.78	297.85	252.56	156.73	79.57	37.01	15.34	6.81	6.38	21.90	94.07	205.40	1,110.55	
Desc. Min.	18.98	17.74	8.19	2.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.69	
Desc. 75%	55.65	89.55	81.32	49.74	20.69	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.62	406.97

Tabla 55.

Descargas medias mensuales generados (mm) – Bocatoma Ccatacha.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	8.61	15.13	30.57	15.10	7.54	2.64	0.73	0.00	1.36	2.40	0.70	14.82	99.60
2	1968	20.36	47.90	25.29	14.33	6.32	2.60	0.69	0.00	0.00	1.46	23.93	16.34	159.22
3	1969	30.21	21.91	10.56	7.01	2.27	0.61	0.00	0.00	0.00	0.30	3.38	4.91	81.16
4	1970	28.38	26.56	26.24	14.13	5.67	1.80	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	23.46	126.86
5	1971	20.21	50.79	23.80	11.73	4.66	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	22.15	135.69
6	1972	58.87	36.38	29.32	15.26	6.80	2.06	0.07	0.00	0.26	0.67	3.50	4.82	158.00
7	1973	40.44	52.80	36.77	24.08	11.34	4.87	1.76	0.33	1.23	2.81	3.57	7.11	187.12
8	1974	41.93	50.01	26.04	14.12	5.82	2.58	0.25	2.28	0.89	0.09	0.39	5.12	149.51
9	1975	29.71	52.46	36.87	18.53	9.20	3.26	0.79	0.00	0.00	0.34	0.44	12.80	164.40
10	1976	36.51	26.59	22.02	10.57	4.93	1.93	0.19	0.10	4.33	1.03	0.12	7.65	115.97
11	1977	8.12	38.27	45.49	22.36	9.78	3.99	1.10	0.00	0.00	1.60	10.32	15.50	156.53
12	1978	74.30	55.88	33.50	21.04	8.43	3.09	1.11	0.00	0.00	0.08	12.38	39.48	249.30
13	1979	54.51	37.63	31.20	16.33	6.84	2.35	0.01	0.00	0.00	1.14	4.09	15.23	169.33
14	1980	16.40	13.93	33.61	15.81	6.99	2.54	0.63	0.00	2.30	5.32	3.63	3.23	104.39
15	1981	29.39	41.44	41.21	23.67	10.31	3.98	0.80	1.43	1.33	0.67	2.16	23.83	180.23
16	1982	41.25	30.18	25.27	19.32	7.83	3.22	1.06	0.00	2.90	3.67	26.22	12.13	173.05
17	1983	6.94	5.51	2.09	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.78	16.30
18	1984	31.03	46.16	23.28	13.24	5.75	1.94	0.00	0.00	0.00	10.78	40.04	61.98	234.20
19	1985	41.87	99.05	56.00	56.51	26.33	13.55	5.09	2.00	1.68	1.58	15.20	32.03	350.90
20	1986	26.40	59.81	57.07	31.48	14.48	6.15	1.69	0.79	0.94	0.00	0.23	21.12	220.18
21	1987	35.65	25.76	13.39	6.48	2.28	1.03	0.51	0.00	0.00	0.00	12.72	11.56	109.37
22	1988	38.22	25.27	42.61	29.52	13.80	5.45	1.32	0.40	0.00	0.13	0.33	7.62	164.68
23	1989	18.26	18.94	20.53	12.44	5.00	2.86	0.52	0.00	0.00	0.00	0.71	1.73	80.98
24	1990	16.09	15.48	10.49	4.80	1.63	1.48	0.07	0.00	0.00	2.17	8.43	9.33	69.99
25	1991	15.58	32.30	24.10	12.58	5.49	3.17	0.60	0.00	0.00	1.06	0.50	7.18	102.56
26	1992	7.75	17.82	9.44	5.48	1.33	0.23	0.00	0.56	0.00	0.03	2.15	11.23	56.02
27	1993	31.68	17.13	19.70	10.32	4.25	1.13	0.00	0.00	0.10	2.37	6.48	23.63	116.79
28	1994	40.88	44.82	32.65	17.68	7.32	2.44	0.10	0.00	0.00	0.00	1.33	9.44	156.67
29	1995	11.41	21.94	21.17	10.90	4.40	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	9.13	82.54
30	1996	43.28	29.57	19.41	9.81	4.50	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	5.28	27.46	140.35
31	1997	41.98	57.73	45.99	25.31	11.53	4.92	1.68	0.18	0.51	0.64	8.49	9.04	208.01
32	1998	12.73	33.73	20.32	10.30	4.21	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	5.41	4.82	92.83
33	1999	23.53	21.36	33.30	29.55	12.91	5.56	2.00	0.66	1.21	9.15	5.17	7.17	151.57
34	2000	28.98	32.13	28.35	15.73	6.95	2.85	0.66	0.22	0.00	1.65	0.90	13.00	131.41
35	2001	52.92	67.87	40.49	21.64	9.41	3.98	1.29	0.49	0.30	1.70	1.71	4.21	206.03
36	2002	14.86	24.64	25.07	19.18	9.04	3.39	1.64	0.29	0.17	5.02	8.24	31.14	142.69
37	2003	49.11	49.95	42.61	21.09	8.99	3.74	0.94	0.00	0.04	0.00	0.05	14.58	191.07
38	2004	49.75	50.15	28.39	15.15	6.48	2.33	0.78	0.40	0.63	0.67	0.60	8.29	163.62
39	2005	11.88	62.63	37.06	20.09	8.52	3.19	0.53	0.00	0.00	1.39	4.71	23.54	173.55
40	2006	42.16	36.45	29.65	15.62	6.31	2.44	0.00	0.00	0.00	1.17	6.85	9.41	150.06
41	2007	8.80	10.40	42.35	25.48	11.51	4.80	1.58	0.09	1.05	1.36	8.06	9.80	125.26
42	2008	49.89	29.88	16.49	7.52	2.71	0.57	0.00	0.00	0.00	1.05	1.76	25.32	135.19
43	2009	19.28	36.10	29.00	15.11	6.17	2.46	0.31	0.00	0.00	0.00	9.88	10.14	128.45
44	2010	18.38	25.14	14.34	7.58	3.31	1.10	0.00	0.00	0.00	0.09	0.42	23.40	93.78
45	2011	17.12	45.75	30.86	16.07	6.62	2.75	0.51	0.00	0.24	1.76	6.53	62.98	191.20
46	2012	51.89	71.81	44.15	24.84	10.47	4.54	1.41	0.55	0.00	0.07	2.29	35.57	247.59
47	2013	38.27	35.26	21.61	10.71	4.82	2.12	0.33	0.00	0.00	0.74	2.71	15.82	132.38
48	2014	41.05	26.73	15.08	8.96	3.40	0.75	0.00	0.14	1.79	6.85	4.26	11.91	120.93
49	2015	9.27	11.07	6.35	6.63	2.70	0.47	0.00	0.00	1.86	2.55	4.65	9.04	54.59
50	2016	87.41	85.66	38.30	24.30	10.56	4.49	1.64	0.00	0.00	1.01	0.06	3.14	256.58
51	2017	54.40	45.29	25.80	15.71	6.75	2.72	0.88	0.00	1.07	2.79	3.60	11.94	170.94

N° Datos	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Media	31.919	37.591	28.338	16.507	7.151	2.844	0.691	0.214	0.514	1.576	5.450	15.825	148.620	
Desv. Estándar	17.960	19.326	12.024	8.973	4.269	2.122	0.875	0.479	0.894	2.260	7.446	13.114	59.179	
Desc. Max.	87.41	99.05	57.07	56.51	26.33	13.55	5.09	2.28	4.33	10.78	40.04	62.98	350.90	
Desc. Min.	6.94	5.51	2.09	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	16.30	

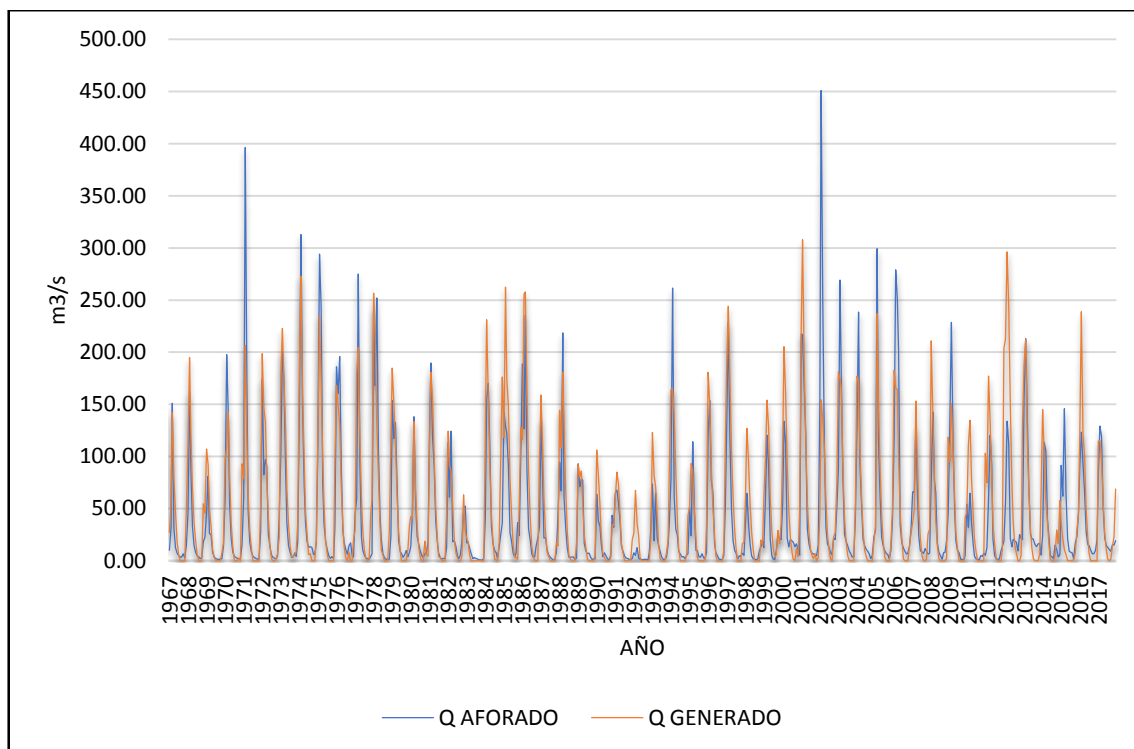


Figura 41. Comparación Entre Caudales Generados Y Caudales Aforados - Cuenca Coata. – Periodo 1967 – 2017.

4.10. TEST ESTADÍSTICO Y CRITERIOS DE CONFIABILIDAD

4.10.1. Resultados y Discusión

Test Estadístico

Los resultados de las pruebas estadísticas t y F, se presentan en el siguiente Tabla.

Tabla 56.

Consistencia de la Media Y Desviación Estándar de la Serie de Caudales Generado Y Caudales Aforados – Cuenca Coata.

Parámetro	Q. Aforado	Q. Generado
Media (X1 ;X2)	42.82	50.41
Variancia (S21; S22)	3947.53	4126.50
Nº datos	612	612
Grados de libertad	611	611
T calculado.	-0.0328	OK
T tabular	-1.9600	
F calculado	0.956	OK
F tabular	1.142	

Tabla 57.

Consistencia de la Media Y Desviación Estándar de la Serie de Caudales Generado Y Caudales Aforados – Cuenca Coata.

MES	PARAMETROS ESTADISTICOS				ANALISIS ESTADISTICO					
	SERIE HISTORICA		SERIE GENERADA		Media			Desviación estándar		
	Media	Varianza	Media	Varianza	Tc	Tt		Fc	Ft	
Enero	90.05	3207.92	119.49	3750.15	-0.0426	1.9840	SI	0.8554	1.5995	SI
Febrero	144.15	10175.94	153.93	5214.71	-0.0061	1.9840	SI	0.5125	1.5995	SI
Marzo	125.52	4364.86	124.41	2793.32	0.0015	1.9840	SI	0.6400	1.5995	SI
Abril	61.98	1320.45	76.88	1330.00	-0.0568	1.9840	SI	1.0072	1.5995	SI
Mayo	21.22	97.32	36.89	421.18	-0.2588	1.9840	SI	4.3276	1.5995	NO
Junio	11.72	32.29	15.71	121.77	-0.2262	1.9840	SI	3.7716	1.5995	NO
Julio	7.44	22.02	4.06	22.10	0.7728	1.9840	SI	1.0035	1.5995	SI
Agosto	4.95	18.35	0.89	3.37	1.5538	1.9840	SI	0.1837	1.5995	SI
Setiembre	5.00	15.71	0.62	2.79	1.9621	1.9840	SI	0.1777	1.5995	SI
Octubre	7.78	61.12	3.67	54.81	0.3584	1.9840	SI	0.8967	1.5995	SI
Noviembre	10.44	105.18	14.57	401.04	-0.0711	1.9840	SI	3.8127	1.5995	NO
Diciembre	23.91	378.33	53.86	2024.51	-0.1038	1.9840	SI	5.3512	1.5995	NO

De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que la media de los caudales generados es igual estadísticamente a la media de los caudales aforados, puesto que el valor de T calculado (-0.0328) es menor que el valor de T tabular (-1.96).

En función a la tabla 57, se observa que las medias son iguales en 12 meses estadísticamente, Las desviaciones estándar son iguales en 08 meses y no en 04 meses estadísticamente, Por lo tanto, el Modelo es bueno.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Considerando los objetivos planteados en el presente trabajo y posterior a la culminación de la presente investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Al realizar el análisis exploratorio de la información recabada de precipitación de las estaciones hidrométricas dentro de la cuenca, y así como también de las estaciones de apoyo, se puede concluir que la series históricas de precipitación media mensual utilizadas para este trabajo de investigación, no presentan saltos ni tendencias en sus registros, así como lo muestran sus gráficos de hidrogramas y el análisis de doble masa, y posteriormente ratificada por el análisis estadístico aplicado a las series históricas donde se puede visualizar quiebres en el análisis de doble masa y puedan interpretarse como periodos dudosos.

La información obtenida en sus series históricas registradas de caudales medios mensuales aforados en el río Coata, para un periodo de registro entre los años de 1967 al 2017, varía de 0.32 a 451.17 m³/s para los meses de noviembre y febrero respectivamente, y se tiene un caudal promedio anual de 514.157 m³/s. La precipitación media areal anual de la cuenca del río Coata, aplicando el método del polígono de Thiessen y considerando las recomendaciones del método; se obtuvo una precipitación areal de 747.907 mm para el periodo de 1967 al 2017.

Para la cuenca del río Coata. La evapotranspiración potencial anual calculada mediante el método de Hargreaves es de 1147.31 mm., considerando las recomendaciones del modelo, y así como también las estaciones con registros de temperatura como son las estaciones de

Llallí, Ayaviri, Cabanillas, Pampahuata, Juliaca, Lampa, Lagunillas, Capachica, Arapa, Mañazo.

En vista de que no existe una ecuación general para la determinación del coeficiente de escurrimiento., para la zona de estudio (cuenca del río Coata), se estimaron y analizaron los valores utilizando las fórmulas de Turc. Y la ecuación validada para la región de la sierra del sur del Perú, propuesta por la misión alemana través del plan Meris II (1980), los cuales muestran una ligera diferencia en sus resultados cuyos valores son de 0.43 y 0.38, respectivamente. Los parámetros más resaltantes a calibrar fueron la retención de la cuenca “R”, y “a” que es el coeficiente de agotamiento., así como también los coeficientes de abastecimiento. De los cuales podemos concluir que la retención de la cuenca del Río Coata es ($R = 42.68$ mm/año), y nuestro coeficiente agotamiento “a” para la cuenca es ($a = 0.0198312$).

Al realizar el análisis de correlación lineal entre los caudales generados mediante el modelo Lutz Scholz para un año promedio y los caudales aforados en el puente Unucolla para el año promedio, se obtiene un coeficiente de correlación del 99.96 %.

De los resultados de la prueba estadística (análisis de bondad). Se puede concluir que estadísticamente los resultados obtenidos son consistentes en comparación con las series registradas, ya que podemos encontrar que en 12 meses las medias son iguales, y las desviaciones son iguales en 8 meses.

El modelo matemático precipitación-escorrentía propuesto por el Ing. Lutz Scholz puede ser empleado para la generación de caudales medios mensuales en puntos de interés dentro de la cuenca del río Coata, tomando en cuenta que el régimen de aporte y almacenamiento que se produce dentro de las sub cuencas tienen un comportamiento particular debido a la presencia de los Nevados y lagunas.

Con la presente investigación se concluye que es posible determinar los caudales medios mensuales a partir de precipitación medio mensual utilizando modelos determinísticos – estocásticos, además con todos estos cálculos realizados se puede enfatizar que el método hidrológico de Lutz Scholz es el que más se ajusta para el cálculo de caudales medios mensuales para la sub cuenca del río Coata.

5.2 RECOMENDACIONES

Partiendo del estudio realizado y de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación, es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Para el cálculo de precipitación media areal sobre una cuenca tomar en cuenta las restricciones y recomendaciones de cada metodología existente, como son la distribución uniforme de las estaciones de registro en el área de estudio, topografía de la cuenca en estudio, altitud, etc., para obtener mejores resultados en el proceso de calibración.

Para una adecuada delimitación de una cuenca se recomienda hacer un reconocimiento Insitu de la cuenca en estudio, así como también un detallado recorrido en las fotos satelitales, así como también apoyarse en las delimitaciones realizadas por la Autoridad nacional del agua (ANA).

Usar el comando Solver, con la que cuenta el Software Excel del paquete de Microsoft Office para el proceso de calibración de los parámetros del modelo matemático de Lutz Scholz.

Aplicar otros modelos de precipitación esorrentía en la cuenca del Río Coata, y realizar comparaciones con los resultados obtenidos en esta investigación para validar o desechar la eficiencia del modelo propuesto en esta investigación.

Usar los resultados obtenidos para la generación de caudales medios mensuales sintéticos en puntos de interés Aguas arriba del punto de aforo (Puente Unucolla), donde se pretenda realizar proyectos de desarrollo hidráulico o en puntos donde se requiera conocer la oferta hídrica.

Implementar en las sub cuencas y micro cuencas con programas de medición de caudales, para poder calibrar modelos de precipitación esorrentía que son muy útiles cuando se estima los caudales para determinar el efecto del cambio del uso de suelo.

REFERENCIAS

- Aparicio M, F.J. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: Limusa.
- Altamirano R. et al. (2013). Determinación de caudales mensuales - Modelo Determinístico Estocástico de Lutz Scholz. Ayacucho, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del Río Rímac. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac.
- Chow, Maidment y Mays. (1994). Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-hill Latinoamericana. S.A.
- Churacutipa Mamani M.A. (2010). Generación De Caudales Medios Por El Modelo Matemático Lutz Scholz En La Cuenca Del Río Ilave. Puno, Perú.
- Cahuana Andia A, Yugar Morales W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233. (Trabajo de grado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Douglas D. et al. (2012). Determinación del rendimiento hídrico en la cuenca alta del río Grande en Puno. Revista de Investigación de Física, 121502601.
- Gaspari F. J. et al. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Buenos Aires, Argentina: Edulp.
- Huisa H, D. (2003). Generación de caudales Modelo Lutz Scholz. Puno, Perú.
- Hinojosa M, W. (2006). Diseño y operación de los módulos de aspersión en función de los parámetros de riego de la irrigación Manzanares- Pomacachi, Cusco. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

- Lutz Scholz. (1980). Generacion de Caudales Medios Mensuales en la Sierra Peruana Plan Meris II. Cusco, Perú.
- Lopez Lopez, A. L., Delgado Soriano, K. A. (2009). Modelación hidrológica de la subcuenca lempa alto, en cooperación con la comisión trinacional del plan trifuino (Trabajo de grado). Universidad de el Salvador, Guatemala, honduras.
- Ministerio de Agricultura, Inrena, Intendencia de Recursos Hídricos. (2007). Evaluación de los Recursos Hidricos del Rio Mala. Lima, Perú.
- Mejía A. (2001). Hidrología Aplicada. Lima, Perú.
- Nina Castro C. (2008). Balance Hidrológico de la cuenca del rio Huancane. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ponce V.M. (1989). Engineering Hydrology-Principles and Practices: Prentice Hall. San Diego, EE.UU.
- Quispe Gutiérrez M.G. (2007). Generacion de caudales medio mensuales por el método estocástico de Lutz Scholtz en la Cuenca del Rio Chacco de la Región Ayacucho. Ayacucho, Perú.
- Ramos T. C. (2000). Propuesta de Diseño y Operación de los Módulos de Riego por Aspersión en la Irrigación Manzanares Pomacanchi. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Peru.
- Tito Cami L. I. (2010). Calibración del Modelo Lutz Scholz en la Subcuenca del Rio Ayaviri. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ttimpo Ticona N. O. (2012). Generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo Lutz Scholz para la subcuenca del rio Azángaro. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Tarazona Santos N. E. (2005). Generación De Descargas Mensuales En Subcuencas De La Cuenca Del Río Santa Utilizando El Método De Lutz Scholz. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

Ticona M. L. (2008). Generación de caudales medios por modelos determinísticos Témez y Lutz scholz en la cuenca del rio Ilave. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Villon Bejar M. (2002). Cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas.

ANEXOS

Anexo A. Panel Fotográfico

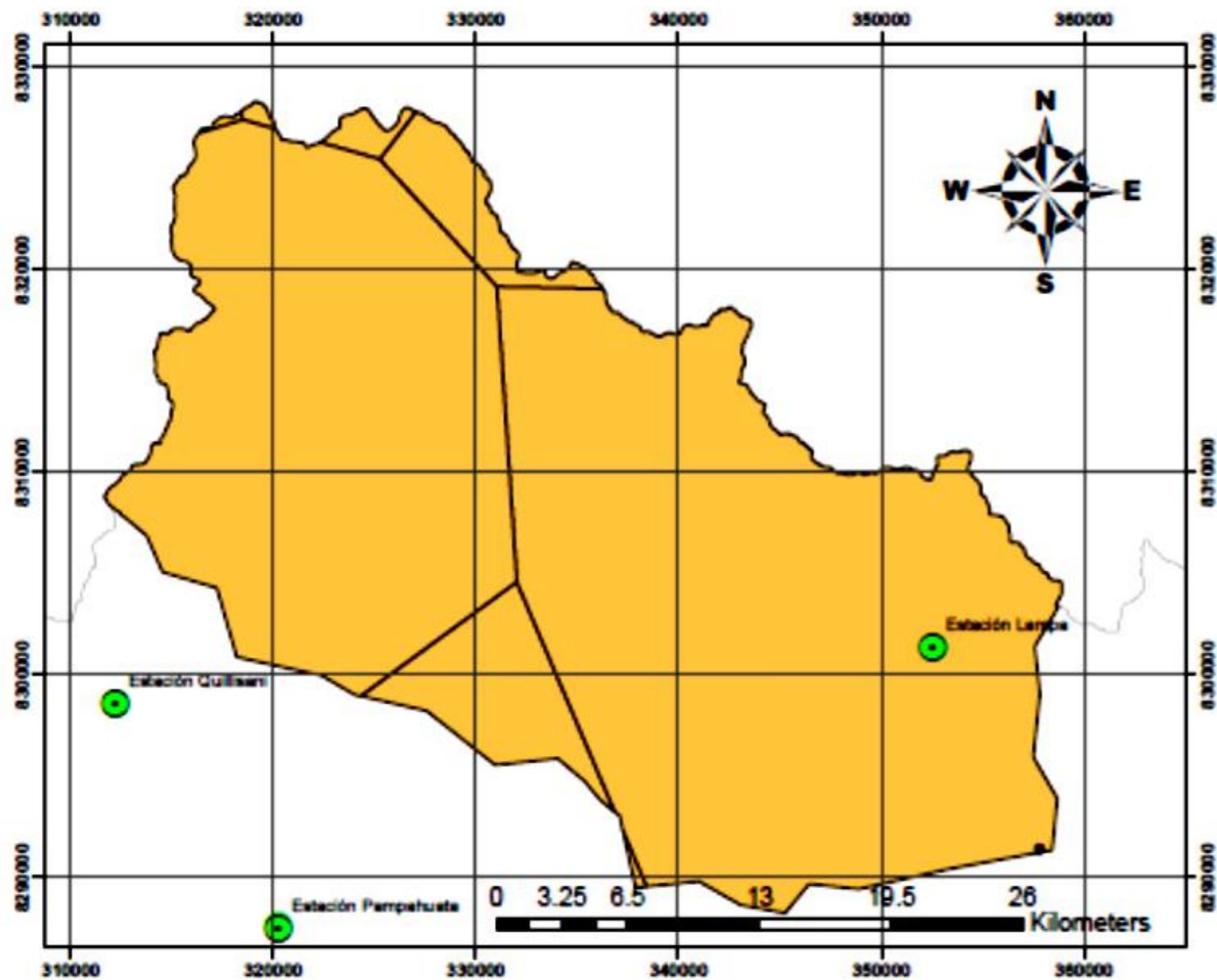


Estación hidrométrica puente Unucolla (punto de aforo de la cuenca del río Coata)



Bocatoma dentro de la Comunidad de Ccatacha (Punto de Interés para generar caudales sintéticos)

**Anexo B. Delimitación sub cuenca lampa, mapa de polígono de Thiessen de la sub
cuenca Lampa**



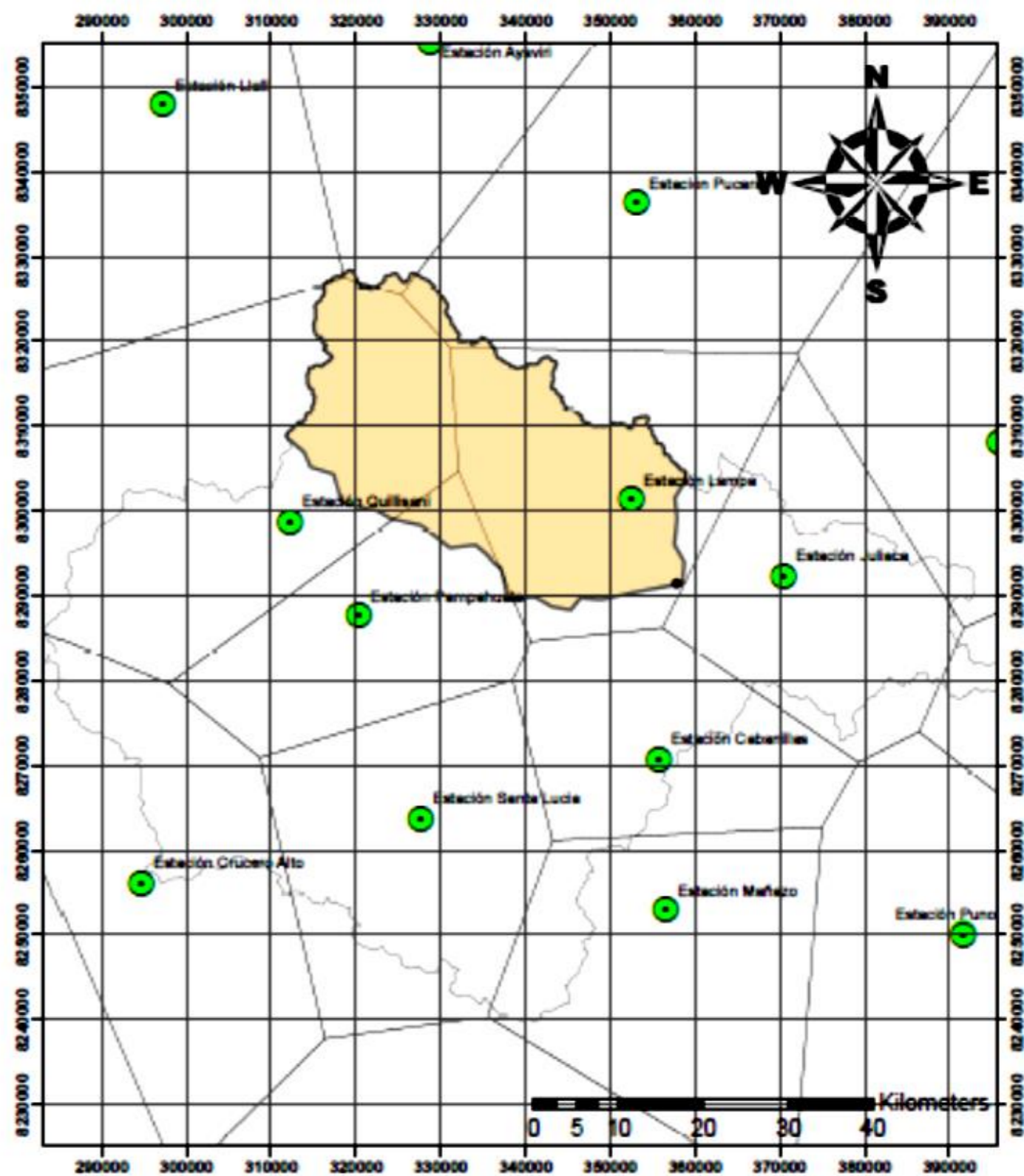
SUB CUENCA LAMPA

S/C: 1:200,000.00

LEYENDA

- Puntos de
- Estaciones
- La Lampa
- La Cota

ESTACION/ZONA	ALTITUD (msnm)	AREA (Km ²)
Estación Lalli	3980	0.380567
Estación Ayaviri	3928	4.682837
Estación Pucara	3900	24.221862
Estación Pampahuata	4400	52.776161
Estación Lampa	3892	574.430795
Estación Quillisari	4600	392.532132



SUB CUENCA LAMPA

S/C: 1:600,000.00

UNIVERSIDAD PERUANA UNION FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA E.P. DE INGENIERIA CIVIL	
Proyecto: "GENERACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LA CUENCA DEL RIO COVTA UTILIZANDO EL MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SOHLZ"	
Ubicación: REGION: PUNO PROVINCIA: LAMPA	Tema: MAPA DEL POLIGONO DE TENDIMIENTO DE LA SUB CUENCA LAMPA Disciplina: Hidrología Especificidad: HIDROLOGIA
Laminas: DDE 03	