

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“GENERACION DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES DE LA
CUENCA DEL RIO COATA MEDIANTE EL METODO
DETERMINISTICO - ESTOCASTICO LUTZ SCHOLZ”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Br. WALTER MAMANI CACERES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“GENERACION DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES DE LA
CUENCA DEL RIO COATA MEDIANTE EL METODO DETERMINISTICO -
ESTOCASTICO LUTZ SCHOLZ”

TESIS

PRESENTADA POR:

Br. WALTER MAMANI CACERES

PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE
DEL JURADO:



M.Sc. OSCAR RAUL MAMANI LUQUE

1er. MIEMBRO:



M.Sc. JOSE ANTONIO MAMANI GOMEZ

2do. MIEMBRO:

M.Sc. BERNARDO COLOMA PAXI

DIRECTOR DE TESIS:



M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA: Modelamiento hidrológico
LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por darme el don de la vida, sabiduría y salud para poder culminar este nuevo reto de mi vida.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en este nuevo triunfo que también es de ellos.

A nuestra primera casa de estudios la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola.

A mis compañeros y amigos por permitirme compartir con ellos una etapa más de mi vida y lograr esta meta.

AGRADECIMIENTO

A Dios creador del universo y dueño de mi vida, que me permitió culminar con éxito este reto muy importante en mi vida.

A mis padres Alejandro Mamani y Teodora Cáceres; y hermanos que siempre demostraron su confianza en los malos y buenos momentos, dándome su apoyo incondicional para el logro de esta meta.

A los docentes y administrativos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano.

A mis compañeros de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano, ya que afrontamos diversas dificultades, relacionadas con el proceso de crecer y seguir adelante.

A los Miembros del Jurado Revisor del presente estudio de tesis MSc. Oscar Mamani Luque, MSc. José Antonio Mamani Gómez.

A todos Uds. mi más sincero agradecimiento...

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ABSTRACT	xii
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Antecedentes	4
1.4. Objetivos	5
CAPITULO II.....	6
MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	6
2.1. Elementos meteorológicos	6
2.1.1. La atmosfera	6
2.1.2. Humedad atmosférica	6
2.1.3. Radiación solar	7
2.1.4. Temperatura	8
2.1.5. Viento.....	9
2.2. Ciclo hidrológico	9
2.1.1. El Ciclo hidrológico como un sistema.....	10
2.3. Cuenca hidrográfica	12
2.4. Modelos matemáticos en hidrología.....	14
2.4.1. Clasificación de modelos matemáticos en hidrología.....	15
2.4.2. Etapas en la elaboración de un modelo matemático.....	18
2.5. Relación precipitación escorrentía	20
2.5.1. Precipitación	20
2.5.2. Escorrentía.....	22
2.6. Hidrología Estadística	26
2.6.1. Definición de conceptos estadísticos	26
2.6.2. Parámetros estadísticos.....	28
2.6.3. Distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas	30
2.6.4. Métodos de estimación de parámetros	30
2.7. Análisis de consistencia de la información hidrológica.....	32
2.8. Modelo determinístico estocástico Lutz Scholz	33
2.8.1. Ecuación del balance hídrico	34
2.8.2. Coeficiente de escurrimiento.....	35
2.8.3. Evapotranspiración potencial	36
2.8.4. Precipitación efectiva	37
2.8.5 Retención de la cuenca.....	39
2.8.6. Relación entre descargas y retención.....	40
2.8.7. Coeficiente de agotamiento	41
2.8.8. Almacenamiento hídrico.....	42
2.8.9. Gasto de la retención	43
2.8.10. Restitución	43
2.8.11. Abastecimiento de la retención	44

2.8.12. Determinación del caudal mensual para el año promedio ...	44
2.8.13. Generación de Caudales Mensuales para Períodos Extendidos.....	45
2.8.14. Test estadístico	46
2.8.15. Restricciones del Modelo	46
CAPITULO III.....	48
MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1. Ubicación del área de estudio	48
3.2. Materiales.....	50
3.2.1. Información cartográfica.....	50
3.2.2. Información meteorológica.....	51
3.2.3. Información Hidrométrica	52
3.2.4. Equipos y materiales para el procesamiento	52
3.3. Metodología.....	52
3.3.1. Determinación de parámetros estadísticos	52
3.3.2. Análisis de consistencia de la información.....	54
3.3.3. Generación de caudales medios mediante el modelo LUTZ SCHOLZ.....	60
CAPITULO IV.....	74
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. De la Información meteorológica.....	74
4.1.1. Del análisis de consistencia de la información pluviografica..	81
4.2. De la Generación de caudales medios mediante el modelo LUTZ SCHOLZ	92
4.2.1. Precipitación media mensual de la cuenca	92
4.2.2. Temperatura media mensual en la cuenca	94
4.2.3. Evapotranspiración potencial	95
4.2.4. Coeficiente de escurrimiento.....	96
4.2.5. Precipitación efectiva	97
4.2.6. Retención de la cuenca.....	100
4.2.7. Coeficiente de agotamiento	101
4.2.8. Relación de caudales.....	101
4.2.9. Gasto de la retención	101
4.2.10. Abastecimiento de la retención	102
4.2.11. Generación de caudales mensuales para un año promedio – (Generar y validar los caudales medios mensuales para la cuenca del rio Coata, para un periodo extendido).....	102
4.3. Generación de caudales para periodos extendidos	104
4.3.1. Precipitación efectiva de la cuenca	104
4.3.2. Números aleatorios	104
4.3.3. Descargas medias mensuales generadas	107
4.3.4. Test estadístico	109
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA	115
ANEXO	117
INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA.....	117

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1: Datos del ciclo hidrológico global, considerando a la precipitación terrestre como el 100%	11
Grafica 2: Representación del sistema hidrológico global mediante un diagrama de bloques.....	12
Grafica 3: La ubicación política de la cuenca del rio coata.....	49
Grafica 4: Ubicación hidrográfica de la cuenca del rio coata.....	50
Grafica 5: Histograma de precipitación total mensual (mm).....	82
Grafica 6: Histograma de precipitación total mensual (mm).....	82
Grafica 7: Histograma de precipitación total mensual (mm).....	83
Grafica 8: Histograma de precipitación total mensual (mm) estación cabanillas –periodo (1966 – 1910)	84
Grafica 9: Histograma de precipitación total mensual (mm).....	84
Grafica 10: Histograma de precipitación total mensual (mm).....	85
Grafica 11: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones pampahuta y quillisani – (grupo 01)	87
Grafica 12: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones santa lucia y lampa. (grupo 02)	89
Grafica 13: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones cabanillas y juliaca. (grupo 03).....	90
Grafica 14: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Santa Lucia y Lampa con datos corregidos.	92
Grafica 15: Histograma de precipitación media mensual (mm)multianual de la cuenca del rio Coata,.....	94

Grafica 16: Ecuación polinómica de la precipitación efectiva de la curva I 98

Grafica 17: Ecuación polinómica de la precipitación efectiva de la curva II 99

Grafica 18: Ecuación polinómica de la precipitación efectiva de la curva III 99

Grafica 19: Comparación de caudales calculados y aforados, luego de la calibración para el año promedio del río Coata 104

Grafica 20: Histograma de caudales generados y caudales aforados del río coata – periodo 1966 – 2010 111

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Calculo de los coeficiente de agotamiento "a"	41
Cuadro 2: Lámina de agua acumulada en los tres tipos de almacén hídrico	42
Cuadro 3: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)	43
Cuadro 4: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvia - (Valores a 1%)	44
Cuadro 5: Ubicación política y geográfica de las estaciones meteorológicas	51
Cuadro 6: Periodo de registro de las Estaciones meteorológicas	51
Cuadro 7: Límite superior para la precipitación efectiva.....	64
Cuadro 8: Método de la United States Bureau of Reclamation (USBR) .	64
Cuadro 9: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	65
Cuadro 10: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)	71
Cuadro 11: Precipitación total mensual (mm) – estación pampahuta. ...	75
Cuadro 12: Precipitación total mensual (mm) – estación quillisani.....	76
Cuadro 13: precipitación total mensual (mm) – estación santa lucia.....	77
Cuadro 14: Precipitación total mensual (mm) – estación cabanillas.	79
Cuadro 15: Precipitación total mensual (mm) – estación lampa.....	80
Cuadro 16: Precipitación total mensual (mm) – estación juliaca	81

Cuadro 17: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 1: pampa huta y quillisani.....	86
Cuadro 18: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones santa lucia y lampa. (grupo 02)	88
Cuadro 19: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones cabanillas y juliaca. (grupo 03).....	90
Cuadro 20: Resultados del análisis estadístico	91
Cuadro 21: Precipitación media mensual (mm) multianual de la cuenca del rio Coata.....	93
Cuadro 22: Temperatura media mensual (°C) – Periodo (1966-2010) ...	94
Cuadro 23: Evaporación total (mm) en Tanque clase A.....	95
Cuadro 24: Resultados de la evapotranspiración potencial.(mm/mes) ..	95
Cuadro 25: Resultados del coeficiente de escurrimiento	96
Cuadro 26: Resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento – Método de la Misión Alemana	96
Cuadro 27: Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation (USBR)	97
Cuadro 28: Coeficientes de regresión para las curvas de precipitación efectiva	98
Cuadro 29: Resultados de la precipitación efectiva mensual (mm).....	100
Cuadro 30: Resultados del gasto de la retención mensual (mm/mes) .	102
Cuadro 31: Resultados del Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes)	103

Cuadro 32: Resultados de la generación de caudales mensuales para el año promedio.(m ³ /s).	102
Cuadro 33: Serie de caudales medios mensuales (m ³ /s)- Estacion Puente Unocolla.	103
Cuadro 34: Precipitación efectiva mensual (mm) generada para la cuenca del rio coata - Periodo 1966 a 2010	105
Cuadro 35: Números aleatorios generados con distribución normal....	106
Cuadro 36: Datos de la variable dependiente e independiente	107
Cuadro 37: Descargas medias mensuales generados (mm) – Cuenca coata	108
Cuadro 38: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de caudales generado y caudales aforados – cuenca coata.....	109
Cuadro 39: Serie de descargas media mensuales (m ³ /s) generadas para cuenca del rio coata	110

ABSTRACT

Coata River Basin for their hydrological characteristics that suffer damage under any time of the months of highest precipitation Therefore knowledge flow in the river sub coata is important to make possible alternatives and be referenced in future projects Hydraulic engineering. In this research entitled "Generation Media Downloads Monthly Basin Rio Coata the By The deterministic method - Stochastic Lutz Scholz" is a research of correlation of the monthly average flows generated through LUTZ SCHOLZ method, historical data volumetric in Unocola bridge. In the investigation of rainfall coata river basin; for the period 1966 to 2010 is 717.70 mm for which 06 records of rainfall and 01 a record monthly average flow rates were used, performing the analysis of jumps, with the respective statistical tests to verify their degree of reliability and consistency 95% chance, finding that historical rainfall series are consistent for use by the hydrological model LUTZ SCHOLZ. When analyzing consistency of rainfall information, it can be concluded that the historical series of average monthly and annual rainfall recorded at stations Pampa Huta, Quillisani, Cabanillas and Juliaca are consistent and homogeneous because they have breaks in the histogram and in the double mass analysis line dual mass. From the results of the statistical test of consistency of the average one can conclude that statistically the average of flows generated are equal to the average flow volumetric river Coata, since the value of T calculated (0.61) it is less than the tabular value T (1.64); and standard deviation of the flows generated are statistically equal to the standard deviation of volumetric flow rates, since the calculated value of F (1.16) is less than tabular F (1.17).

Keywords: Hydrological Model Calibration and Validation.

RESUMEN

La cuenca del Rio Coata por sus características hidrológicas esa sometida a sufrir daños materiales en cualquier época de los meses de mayor precipitación Por lo tanto el conocimiento de caudales en las subcuencas del rio coata es importante para tomar posibles alternativas y tener referencia en los futuros proyectos de ingeniería Hidráulica. En la presente investigación titulado “Generación De Descargas Media Mensuales De La Cuenca Del Rio Coata Mediante El Método Determinístico - Estocástico Lutz Scholz” constituye un trabajo de investigación de correlación de los caudales medios mensuales generados a través del método LUTZ SCHOLZ, con datos históricos aforados en el puente Unocolla. En la investigación las precipitaciones de la cuenca del rio coata; para el periodo de 1966 al 2010, es de 717.70 mm para lo cual se emplearon 06 registros de precipitaciones pluviales y 01 un registro de caudales medios mensuales, realizándose el análisis de saltos, con las respectivas pruebas estadísticas para verificar su grado de confiabilidad y consistencia en un 95% de probabilidad, encontrando que las series de precipitaciones históricas son consistentes para ser utilizado por el modelo hidrológico LUTZ SCHOLZ. Al realizar el análisis de consistencia de la información pluviométrica, se puede concluir que la serie histórica de la precipitación media mensual y anual registradas en las estaciones Pampa Huta, Quillisani, Cabanilla y Juliaca, son consistentes y homogéneos porque no presentan saltos en el histograma y en el análisis de doble masa la línea de doble masa. De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que estadísticamente la media de los caudales generados son iguales a la media de los caudales aforados del rio Coata, puesto que el valor de T calculado (0.61) es menor que el valor de T tabular (1.64); y la desviación estándar de los caudales generados son estadísticamente iguales a la desviación estándar de Los caudales aforados, dado que el valor de F calculado (1.16) es menor que F tabular (1.17).

Palabras Claves: Modelo Hidrológico, Calibración y Validación.

INTRODUCCIÓN

En la Región Puno, muchas cuencas y subcuencas no disponen de información de caudales, para su determinación se utiliza diversos métodos y procedimientos que a partir de los elementos o variables meteorológicas, y los elementos geográficos, todos ellos permitan generar las descargas a nivel mensual.

Se entiende por generación a la estimación del valor numérico de una variable meteorológica a partir de otras mediante un procedimiento pre establecido; así mismo se denomina descarga a las aguas que discurren por el cauce de un río y que pueden ser medidos y cuantificados en el tiempo, generalmente en meses. Entre las principales variables meteorológicas se puede mencionar: La temperatura, la velocidad del viento, precipitación, caudal y la humedad atmosférica; los procedimientos son las formas como estas variables se asocian.

Los procedimientos para la generación de descargas mensuales se denominan modelos hidrológicos, los mismos que pueden ser Determinísticos si representa una realidad a escala (todo lo que entra, sale) o Estocástica si se incluye una variable aleatoria (todo lo que entra no necesariamente sale).

En nuestro país, en la década de los 80, el experto Lutz Scholz desarrolló el modelo matemático Transformación de Precipitación en Descarga para el Proyecto Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (PNPMI-II) del Ministerio de Agricultura, en el marco de Cooperación Técnica de la República Alemana a través del Plan Meris II. Éste modelo además de ofrecer una metodología para la calibración de los parámetros hidrológicos, presenta una serie de expresiones empíricas regionalizadas que en teoría permitirán estimar los valores de los caudales a escala mensual en cuencas sin información.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Para diseñar por ejemplo una presa y determinar los volúmenes de los sedimentos a ser almacenados es necesario determinar una serie de caudales mensuales medios en el sitio del eje de la presa, además se tiene presente que en la mayoría de las sub cuencas de los principales ríos que desembocan sus aguas al Lago Titicaca, no se cuenta con las estaciones hidrométricas e hidrográficas que permiten medir el aporte hídrico de la cuenca, pero si se tienen los registros de la precipitación ocurrida a lo largo de los años anteriores en las estaciones climatológica dentro o en cuencas aledañas.

Se entiende por generación a la estimación del valor numérico de una variable meteorológica a partir de otras variables mediante un procedimiento pre establecido; así mismo se denomina descarga a las aguas que discurren por el cauce de un río y que pueden ser medidos y cuantificados en el tiempo, generalmente mensualmente. Entre las principales variables meteorológicas se puede mencionar: La temperatura, la velocidad del viento, precipitación, caudal y la humedad relativa.

Los procedimientos para la generación de descargas mensuales se denominan modelos hidrológicos, los mismos que pueden ser determinísticos si representa una realidad a escala, por ejemplo se dice que todo lo que entra a un sistema, sale o estocástica si se incluye una variable aleatoria por ejemplo todo lo que entra al sistema no necesariamente sale del sistema.

La hipótesis que se plantea en el presente trabajo es que la generación de los caudales mensuales medios a partir de la información de la precipitación total mensual permite determinar los caudales mensuales en un punto específico de una cuenca, lo que permitirá la gestión y el manejo de los recursos hídricos para la solución de los problemas existentes en la cuenca.

Con la investigación se pretende responder las siguientes preguntas:

¿Es posible aplicar el modelo matemático Precipitación-Descarga Lutz Scholz para la cuenca del río Coata?

¿Es posible generar caudales medios mensuales para el año promedio del río Coata por el método Lutz Scholz.

¿Es posible generar, calibrar y validar los caudales medios mensuales del río Coata para un periodo extendido?.

1.2. Justificación

Entre las principales variables meteorológicas se puede mencionar: la temperatura, la velocidad del viento, precipitación, caudal y la humedad atmosférica; los procedimientos son las formas como estas variables se asocian. Cuando una cuenca no dispone de información de caudales se utiliza diversos métodos y procedimientos que a partir de los elementos o variables meteorológicas y los elementos geográficos (forma de la cuenca, fisiográfica, vegetación, etc), todos ellos permitan generar las descargas a nivel mensual. Los procedimientos para la generación de descargas mensuales se denominan modelos hidrológicos, los mismos que pueden ser determinísticos si representa una realidad a escala (todo lo que entra, sale) o estocástica si se incluye una variable aleatoria (todo lo que entra no necesariamente sale).

En nuestra región generalmente en las partes altas de las cuencas, uno de los problemas hidrológicos que presenta es la escasez de datos de registros de caudal necesarios para el diseño o planificación de los proyectos de abastecimiento de agua para diferentes usos, por tanto es necesario aplicar un modelo precipitación escorrentía que sirva para generar información de este tipo que es base para la planificación hidráulica de las partes bajas de la cuenca.

El abastecimiento limitado de agua y una demanda creciente tanto en el espacio como en el tiempo tiende a una escasez de recurso hídrico; en la sierra peruana es cada vez más notoria al mismo tiempo en él se observa que las fuentes hídricas en el transcurrir de los años han ido disminuyendo sus caudales, produciendo la demanda hídrica insatisfecha en cultivos, por esta razón la tecnología y la globalización han traído a nuestros pueblos alto andinos sistemas

de riego que distribuyen el agua a los cultivos de una manera eficiente y uniforme, logrando satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos de una determinada cedula de cultivos.

Como se cuenta con registro histórico de precipitación total mensual en las estaciones meteorológicas dentro y zonas aledañas a la cuenca del río Coata, es factible aplicar el modelo matemático elaborado por el experto Lutz Scholz, para generar y validar los caudales medios mensuales del río Coata.

1.3. Antecedentes

Existen muchos estudios relacionados a la generación de descargas media mensuales de las cuencas sin información, así mismo trabajos de tesis relacionados al tema, entre ellas se pueden citar:

Empleo el modelo Lutz Scholz para la determinación de caudales medios mensuales del río Azángaro. (Gutiérrez 2012).

Empleo en la calibración del modelo Lutz Scholz en la sub cuenca del río Ayaviri. (Tit. 2010).

Estimo caudales a partir de datos de precipitación en la cuenca del río Illpa. (Apaza. 2009).

Realizó la aplicación del modelo para determinar la disponibilidad de agua para el diseño de sistemas de riego por aspersión en Manzanares, Pomacachi, Cusco. (Hinojosa 2006).

Aplicó el modelo, comparó los caudales generados con los generados por modelos Markovianos, esto para determinar la capacidad de embalse de las microcuencas Macarimayo, Parina y Buenavista. (Ancco 2001).

Aplicó el modelo para determinar el caudal disponible para el diseño del sistema de captación de la irrigación Yanarico. (Arteta. 2002).

Aplico un modelo matemático "Transformación de Precipitación en Descarga" para el Proyecto Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones y ofrece una metodología para la calibración de los parámetros hidrológicos, presenta una

serie de expresiones empíricas regionalizadas que en teoría permitirán estimar los valores de los caudales a escala mensual en cuencas sin información. (Lutz Scholz 1980).

Todos los investigadores mencionados obtuvieron resultados satisfactorios, motivo por el cual en la presente investigación se va a utilizar este modelo matemático precipitación-escorrentía para generar caudales medios mensuales a partir de la precipitación mensual.

1.4. Objetivos

Objetivo General

- Generar caudales medios mensuales a partir de la precipitación total mensual para la cuenca del río Coata, mediante el modelo matemático. Escorrentía Lutz Scholz con fines de planeamiento hídrico.

Objetivos específicos

- Determinar y calibrar los caudales medios mensuales del río Coata para un año promedio mediante el modelo matemático precipitación - escorrentía Lutz Scholz
- Generar y validar los caudales medios mensuales para la cuenca del río Coata, para un periodo extendido.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. Elementos meteorológicos

La ciencia meteorológica, que estudia la atmósfera, es una disciplina que trata de establecer la relación existente entre los parámetros del ciclo hidrológico en base al análisis físico y matemático. Los elementos más importantes se describen a continuación: (Mejia, A. 2001),

2.1.1. La atmosfera

La atmósfera está formada por una capa aproximada de 100 km de espesor sobre la tierra. La presión y la densidad del aire decrecen rápida y continuamente con el incremento de la altitud; la temperatura varía de una forma irregular y característica, cuyo perfil define las diferentes capas de la atmósfera. Después de un decremento general de la temperatura a través de la troposfera, el incremento de la temperatura desde los 20 km hasta los 50 km de altitud es causado por la capa de ozono, que absorbe la radiación solar de onda corta, liberando algo de energía en forma de calor.

2.1.2. Humedad atmosférica

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera es muy pequeña comparada con las cantidades de otros gases presentes, pero es excesivamente importante y es el gran responsable por las condiciones de tiempo reinantes. La precipitación es derivada de esa agua atmosférica y además el contenido de la humedad del aire es también un factor significativo en los procesos de evaporación. Así, es necesario para el hidrólogo estar familiarizado con los métodos de evaluación del contenido de vapor en la atmósfera y conocer los efectos termodinámicos de la humedad atmosférica. En meteorología las presiones consideradas son relativamente pequeñas, pudiendo por lo tanto el aire seco ser considerado como un gas ideal. La misma consideración puede ser hecha con respecto al vapor de agua, con excepción de pequeños intervalos de presión y temperatura próximos al punto de condensación. Esas

consideraciones son importantes, debido a que las evoluciones termodinámicas del aire seco y del vapor de agua pueden ser tratadas como el de los gases ideales.

2.1.3. Radiación solar

La radiación solar es la fuente de energía para la ocurrencia del ciclo hidrológico y responsable del movimiento atmosférico terrestre así como la principal fuente de energía de las plantas. La radiación solar llega a las capas superiores de la atmósfera a una tasa de $2 \text{ cal/cm}^2/\text{minuto}$ magnitud denominada constante solar cuando la superficie se considera normal a la radiación incidente y a una distancia media entre el sol y la tierra.

Una parte de la radiación incidente es dispersada y absorbida por la atmósfera y la tierra; otra es reflejada por las nubes y la tierra. La proporción de radiación reflejada (por nubes o tierra) en relación con la radiación incidente se denomina **albedo**. Tanto el albedo como la absorción varían considerablemente con la altitud solar, el tipo de nube, el tipo de superficie terrestre, la humedad, etc. Las nubes pueden reflejar entre el 20% y 80% de la radiación incidente; la tierra, entre el 10% y 30%; y los océanos entre 6% y 8%. El albedo medio para la superficie terrestre es el de 14%.

Los valores dados reflejan valores medios solamente. La mayor parte de la superficie terrestre no está perpendicular a los rayos incidentes; aún más, a medida que aumenta en ángulo de inclinación, disminuye la intensidad de la radiación. Por lo tanto a mayor latitud, menor intensidad de la radiación solar. La desigual incidencia de la energía solar sobre las diferentes regiones del planeta constituye uno de los principales factores que determina la circulación general de la atmósfera terrestre, y por lo tanto el clima. Esta diferencia también se presenta a lo largo del año para una misma localidad, ocasionando variaciones en el clima, no sólo en relación con la latitud, sino también con el tiempo (estaciones climáticas). (Guevara 1991).

2.1.4. Temperatura

La temperatura es considerada como el factor determinante y decisivo de las diversas etapas del ciclo hidrológico y principalmente en el estudio de la evaporación. El efecto de los diversos procesos de intercambio de calor en el sistema Tierra-Atmósfera conduce a una distribución de temperatura según la dirección vertical, o sea, un decremento de la temperatura con la altitud de $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ en la troposfera y condiciones aproximadamente isotérmicas en la estratosfera. La tasa de variación de la temperatura con la altitud es denominada gradiente vertical de temperatura. El estudio de la gradiente vertical de temperatura es de gran interés, ya que a través de él se puede aquilatar la estabilidad o inestabilidad de la atmósfera. La estabilidad atmosférica es determinada a través de gradientes de temperatura teóricos íntimamente ligados a los procesos de evolución del aire, tales como:

Distribución geográfica de la temperatura

En general, la temperatura tiende a ser máxima en las bajas latitudes y disminuye en dirección a los polos. Sin embargo, esa tendencia es bastante distorsionada por la influencia de la distribución de tierras y mares, de la topografía y de la vegetación. En el interior de los continentes, las temperaturas son más altas en verano y más bajas en invierno que en las regiones costeras a la misma latitud. La temperatura decrece con la altitud haciendo con que en las regiones más elevadas la temperatura sea más baja. El intervalo de variación de la temperatura en áreas de bosques es menor que en áreas estériles. Sobre las ciudades las temperaturas son más elevadas que en las regiones vecinas.

Variación de la temperatura con el tiempo

La variación diaria de la temperatura es producida por la fluctuación diaria de la radiación solar incidente. La temperatura comienza a elevarse con la salida del sol y alcanza su máximo 1 a 3 horas después de que el sol haya alcanzado su altitud máxima. Las temperaturas mínimas ocurren normalmente en las madrugadas. Durante la noche, cuando la radiación solar está ausente, la temperatura es afectada solamente por el enfriamiento radiante. Consecuentemente, la curva típica de temperatura diurna no es simétrica y es

afectado por el estado del cielo. En días nubosos, la temperatura máxima es menor por causa de la reducción de insolación. Por otro lado, la mínima es mayor porque las nubes reducen la pérdida por radiación.

2.1.5. Viento

El viento, que es el aire en movimiento, se origina por las diferencias de presión y temperatura y es un factor muy importante en el ciclo hidrológico porque influye en el transporte de calor y humedad, evaporación y evapotranspiración, alimentación de las precipitaciones, etc.

La dirección del viento es la dirección de donde proviene la masa de aire; se expresa en términos de los 16 puntos de la rosa de vientos distribuidos en los 4 cuadrantes N-S-E- O, para los vientos de superficie. En el caso de los vientos de altura, la dirección se expresa en grados a partir del Norte en el sentido de las agujas del reloj. La dirección se determina mediante una veleta, diseñada de tal forma que la flecha indica la procedencia.

La velocidad del viento se expresa en m/s, km/h o nudos, y se mide mediante los anemómetros. Los anemómetros pueden ser de copas, hélice o de tubo a presión.

2.2. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos 15 km arriba en la atmósfera hasta 1 km por debajo de la litósfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrósfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el **Ciclo hidrológico**.

El análisis del flujo y almacenamiento de agua en el balance global, da una visión de la dinámica del ciclo hidrológico. se muestra en forma esquemática, cómo el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el

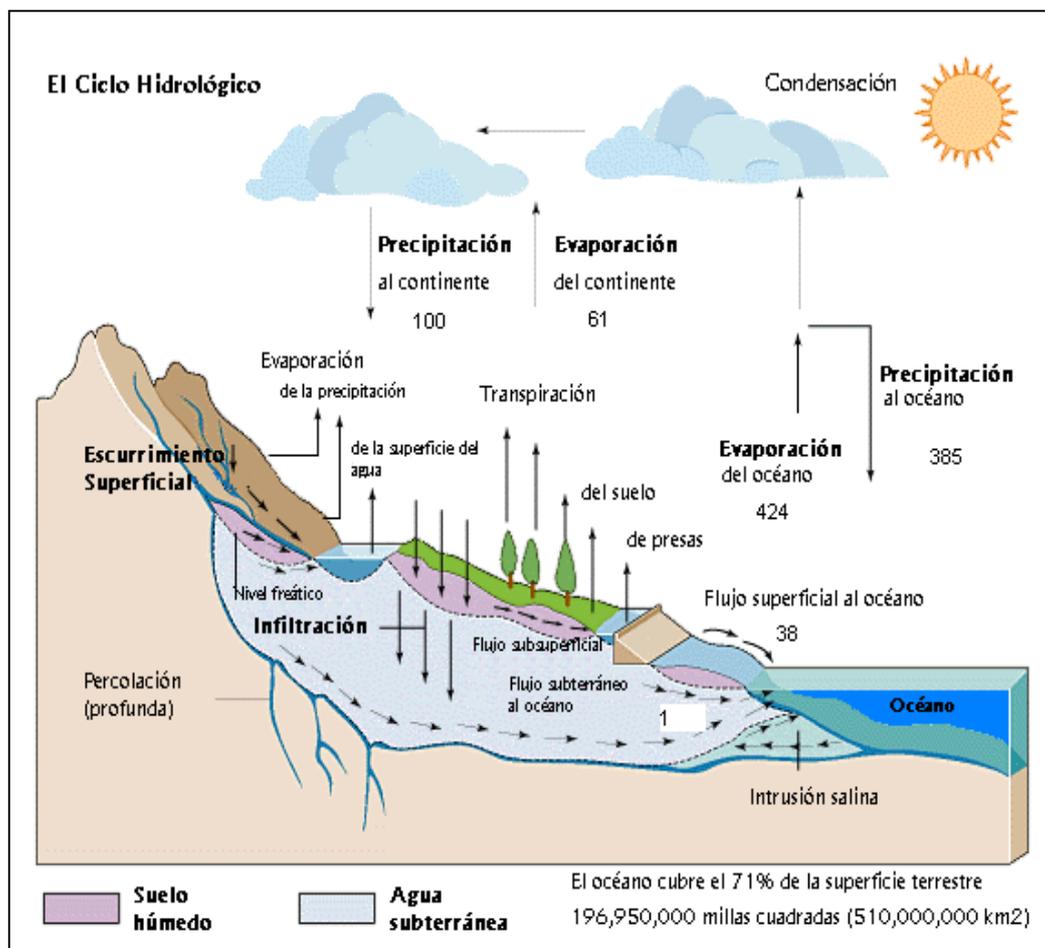
agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escurrimiento superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escurrimiento superficial, regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar el escurrimiento superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa.

En la Grafica 1, se ilustran los principales componentes del balance, en unidades relativas a un volumen anual de precipitación terrestre de 100. Puede verse que la evaporación desde la superficie terrestre consume el 61% de esta precipitación, y el restante 39% conforma el escurrimiento hacia los océanos, principalmente como agua superficial. La evaporación desde los océanos constituye cerca del 90% de la humedad atmosférica. El cálculo de la cantidad total de agua en la Tierra y de los numerosos procesos del ciclo hidrológico, ha sido tema de exploración científica desde la segunda mitad del siglo XIX. (Chow 2000).

2.1.1. El Ciclo hidrológico como un sistema

Los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que casi nunca pueden ser totalmente conocidos; sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema. Un sistema viene a ser un conjunto de partes que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema, cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía, y las otras fases del ciclo hidrológico.

Grafica 1: Datos del ciclo hidrológico global, considerando a la precipitación terrestre como el 100%



Fuente: Chow (2000)

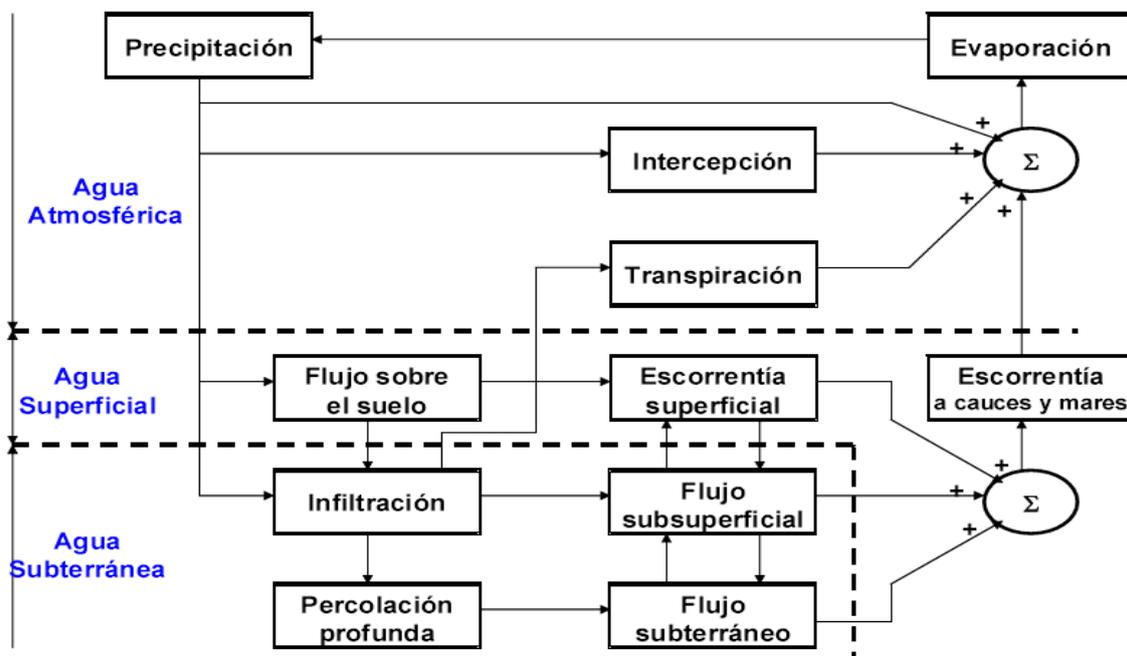
Estos componentes pueden reagruparse en subsistemas separadamente, igualmente se pueden combinar los resultados de acuerdo con las interacciones entre ellos.

En la Grafica 2, se representa al ciclo hidrológico global como un sistema. Las líneas punteadas dividen el sistema total en tres subsistemas: el sistema del agua atmosférica, ubicado por sobre la corteza terrestre, que contiene los procesos de precipitación, evaporación, interceptación y transpiración; el sistema del agua superficial, ubicado en la superficie terrestre con los procesos de escorrentía superficial, flujo sobre el suelo, flujo subsuperficial y subterráneo (hacia los cauces y a los océanos); y el sistema del agua subsuperficial, ubicado por debajo de la superficie terrestre que contiene los procesos de infiltración, recarga del agua subterránea, flujo subsuperficial y flujo subterráneo. El flujo

subsuperficial ocurre en los estratos del perfil del suelo en la cercanía de la superficie; el flujo subterráneo ocurre en los estratos más profundos.

La teoría general de los sistemas es un enfoque que proporciona los elementos conceptuales, técnicos y científicos, en el estudio de problemas complejos, al analizarlos como una unidad en donde el carácter fundamental son las interrelaciones que se suceden en su interior, y las relaciones de esta unidad con su medio. Por lo tanto, al aplicar esta teoría al estudio de unidades complejas, como son las cuencas hidrográficas, se debe llevar una visión integral.

Grafica 2: Representación del sistema hidrológico global mediante un diagrama de bloques



2.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica se define como un ecosistema en el cual interactúan y se interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas que funcionan como un todo, con entradas y salidas, límites definidos, estructura interna de subsistemas jerarquizados (por ejemplo en el sistema biofísico: los subsistemas biológicos y físicos). En este sistema ocurren entradas como la energía solar, hídrica, eólica

y gases como el CO², además ingresan insumos como semillas, alimentos, tecnologías y otros, ambos dan origen a procesos como el flujo de energía, ciclo de nutrientes, ciclo hidrológico, erosión y actividades productivas.

Las cuencas son espacios socio geográficos donde las personas y sus organizaciones comparten el territorio, sus identidades, tradiciones y culturas; socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos. Las cuencas hidrográficas se reconocen como un sistema debido a la existencia de interacciones entre el sistema natural del suelo, el agua y biodiversidad y el sistema socioeconómico, que si bien éste no tiene un límite físico, sí depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos. Los diferentes componentes del sistema cuenca no siempre se encuentran dispuestos de manera coordinada. Por ejemplo, la división político-administrativa de un país puede no coincidir con las divisiones de las cuencas hidrográficas, por lo tanto, se tiene en la cuenca, injerencia de varios municipios distritales, provinciales, departamentos u organizaciones estatales, todo en función a la dimensión de cada territorio. (Faustino J. 2006).

Menciona que la cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Villon M. 2002).

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

Menciona que cuenca hidrográfica es el área o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica (divortium aquarium), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal.

La cuenca hidrográfica es un ámbito geográfico natural donde ocurre el ciclo hidrológico; es el área drenada hacia un río, identificado por su topografía y

delimitada por su divisoria de las aguas; en un sentido amplio incluye el agua, suelo, aire, la luz solar, la flora y la fauna. (Vásquez A. 1993).

Denomina a la cuenca hidrográfica al área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales confluyen hacia un colector común de descarga. Los límites de una cuenca están determinados por la línea de «divortium aquarium» o divisoria de aguas. Debemos señalar que no siempre los límites geográficos (superficiales) suelen coincidir con los límites del acuífero (subterráneo), pudiendo existir transferencias de masas líquidas entre una cuenca y otra adyacente o cercana. (Aparicio M. 1992)

Otra definición de cuenca, basada en la concepción hidrográfica, quien dice que “una hoya o cuenca hidrográfica se puede concebir como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple”. (Monsalve, G. 1995),

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas. (Botero, L. S. 1982).

Según la FAO, la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre

2.4. Modelos matemáticos en hidrología

"Un modelo matemático es una formulación matemática que simula un fenómeno hidrológico, el cual es considerado como un proceso o como un sistema". (CHOW 1964).

Un modelo hidrológico provee una forma de transferir conocimiento de un área estudiado o medido a otra área donde se requiere información y decisiones de orden hidrológico.

Menciona que un modelo matemático es una representación simplificada de un sistema complejo, en el cual, el comportamiento del sistema está representado por una serie de ecuaciones y sentencias lógicas que expresan relaciones entre variables y parámetros. (CLARK, R. 1973),

Describe la modelación hidrológica como una colección de leyes físicas y observaciones empíricas que están escritas en términos matemáticos y se combinan de forma tal que producen: una serie de resultados (salidas) basadas en una serie de condiciones asumidas y/o conocidas (entradas). (HAAN 1985),

Mencionan que un modelo hidrológico provee una expresión cuantitativa (ej. matemática) 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. (FLEMING -1975 y SCHULZE -1987),

Menciona que los modelos hidrológicos son representaciones simplificadas de los sistemas hidrológicos reales, a partir del cual podemos estudiar la relación causa-efecto de una cuenca a través de los datos de entrada y salida, con los cuales se logra un mejor entendimiento de los procesos físicos hidrológicos que tienen lugar dentro de la cuenca. Además nos permite simular y predecir el comportamiento hidrológico de los procesos físicos en la cuenca. Generalmente los modelos hidrológicos se basan sobre los sistemas existentes y difieren en términos de su manejo y la magnitud de los componentes que integran el proceso hidrológico. (CHAVARRI 2005),

2.4.1. Clasificación de modelos matemáticos en hidrología

Afirma que existe una abundante variedad de problemas hidrológicos, que requieren el uso de diferentes tipos de modelos matemáticos de simulación. Estos modelos pueden ser clasificados de acuerdo a diversos criterios tales

como: la función, estructura, nivel de desagregación especial, descripción del proceso hidrológico y nivel tecnológico

Es importante la distinción entre los modelos que son construidos para proveer una predicción del comportamiento del sistema, de acuerdo a un determinado nivel de precisión, y aquellos modelos desarrollados por la teoría científica para proveer una visión al interior del modelo y explicar la naturaleza del sistema hidrológico. De esta forma su función es diferente, existiendo modelos predictivos y modelos explicatorios. (AGUIRRE, 1992).

Esta distinción, divide el uso de modelos hidrológicos en dos diferentes categorías: modelos prescriptivos y modelos descriptivos:

Modelación Prescriptiva. Es concerniente con la forma de realizar predicciones para la solución de problemas ingenieriles.

Modelación Descriptiva. Concerniente principalmente con el deseo de ampliar nuestro entendimiento científico del comportamiento del sistema de una cuenca.

A continuación se detalla las algunas aplicaciones de los modelos matemáticos en la hidrología:

- a. Análisis del Rompimiento de Presas: Características del Flujo de rompimiento y seguridad de presas
- b. Análisis y extensión de parámetros hidrológicos: verificación, completación y extensión
- c. Análisis de Máximas avenidas: predicción de avenidas, análisis de hidrogramas, simulación de tormentas, y simulación de ondas de avenida
- d. Hidrología Subterránea: modelos de Análisis y simulación de acuíferos, modelos de simulación de flujos subterráneos y Gestión u operación de acuíferos
- e. Estudios para sistemas de Hidroelectricidad: simulación de aspectos hidráulico-hidrológicos y simulación de control de flujos
- f. Análisis de Sistemas de Reservorios: simulación de operación de reservorios y simulación de control de flujos

- g. Morfología de Ríos: modelación de cambios morfológicos en los ríos
- h. Transporte de Sedimentos: modelación de principios y métodos, y Simulación de la conducta de los sedimentos
- i. Manejo espacial de la información: Regionalización de datos hidrometeorológicos y Análisis de regresión y correlación
- j. Hidrología Estadística y Probabilística: Modelos estocásticos y Modelos probabilísticos
- k. Hidrología Determinística: Modelos determinísticos
- l. Hidrología Urbana: Simulación de efectos de urbanización
- m. Calidad del agua: Predicción de la contaminación
- n. Análisis de Sequías: Simulación determinística o estocástica de sequías.
- o. Balance Hídrico
- p. Planificación y Gestión de Recursos Hídricos
- q. Medio Ambiente: Evaluación de Impactos ambientales en la cuenca y Simulación integral de una cuenca.

En ingeniería hidrológica, existe cuatro tipos de modelos matemáticos: 1) Determinístico, 2) Probabilístico, 3) Conceptual y 4) Paramétrico. Un modelo conceptual es una representación simplificada del proceso físico, obtenida por las variaciones espacial y temporal, agregado, y descrito en términos de cualquiera de las ecuaciones diferenciales ordinarias o ecuaciones algebraicas. Un modelo paramétrico representa procesos hidrológicos por medio de ecuaciones algebraicas, este contiene parámetros claves para ser determinados en forma empírica. PONCE (1989).

Menciona que los modelos matemáticos en hidrología se clasifican en: (CHAVARRI, 2005),

- a. Modelo determinístico.- es aquel que tiende a establecer relaciones cuantitativas de causa-efecto, utilizando una relación directa para obtener una respuesta debida a un requerimiento, sea por medio de una ecuación empírica o por medio de un operador desarrollado a partir de criterios e hipótesis experimentales.

Un modelo determinístico se utiliza en el caso que se disponga de poca información, caso frecuente de las obras de ingeniería hidráulica, en los cuales uno tiende a reconstruir indirectamente la evolución de los escurrimientos y flujos superficiales a partir del conocimiento de los eventos de lluvia diaria, de la cual se dispone generalmente de series temporales de datos.

b.- Modelos estadísticos,- se basan en los métodos y las técnicas estadísticas para hacer notar sus relaciones de entrada y salida, en concordancia con el interés secundario de los procesos físicos del sistema.

El uso de los modelos estadísticos para una predicción, permite la explotación racional de la información disponible a corto y mediano plazo. Su uso es posible, cuando se dispone de series suficientemente grandes de información.

c. Modelos probabilísticos.- utilizan la noción de frecuencia para analizar el comportamiento de un fenómeno hidrológico. La información utilizada para la calibración debe ser independiente del tiempo. Como la muestra disponible para caracterizar la población y/o el proceso físico hidrológico es generalmente limitada, en la extrapolación de resultados se debe considerar un concepto de riesgo o error probable que el modelo debe cuantificar y considerar.

d. Modelos estocásticos.- la información que se utiliza se trata como datos históricos a manera de secuencia cronológica. Este tipo de modelos se utiliza frecuentemente para la predicción a corto plazo y a largo plazo de series hidrológicas, pero es necesaria la comparación de las series observadas y simuladas.

2.4.2. Etapas en la elaboración de un modelo matemático

La construcción y/o desarrollo de un modelo matemático debe ser realizada respetando las etapas siguientes: identificación, calibración, verificación y límites de aplicación. (CHAVARRI, 2005),

a. Identificación.- Se refiere a un análisis de la estructura del modelo y de las relaciones internas que guardan entre sus elementos. En esta parte se define el número de variables que van a participar y se establecen las hipótesis y supuestos que van a simplificar al modelo una función de sus objetivos y la precisión de sus resultados.

b. Calibración.- La calibración consiste en evaluar y estimar los parámetros del modelo mediante la ayuda de criterios deductivos y observaciones anteriores respecto a los requerimientos (entrada) y las respuestas (salidas). En general, existen dos maneras de estimar los parámetros a partir de una muestra: pasiva y activa.

De manera pasiva se toman en cuenta todos los pares de valores entrada y salida disponibles y por los métodos estadísticos se evalúan los coeficientes de las ecuaciones.

De manera activa, se utiliza un modelo selectivo, dando mayor importancia a ciertas observaciones o grupo de informaciones.

c.- Validación.- La calidad de un modelo se mide por los resultados de su validación. Esta consiste en comparar la respuesta teórica, obtenida por el paso de un dato experimental o información a través de la imagen del sistema física modelado, obteniendo una respuesta de las informaciones directas. Es importante señalar que el valor de las entradas y salidas utilizadas para la validación deben ser diferentes de aquellas que son utilizadas para la calibración del modelo.

La validación se puede hacer de manera intuitiva, como la comparación visual de resultados hecha mediante un cuadro o una gráfica o de manera analítica como la comparación estadística de resultados por medio de pruebas o criterios apropiados.

d.- Límites de aplicación.- En todo modelo matemático se debe especificar el marco dentro del cual fue desarrollado, su jerarquía, los objetivos considerados (generales, particulares). Con esta información, el usuario podrá conocer el campo de aplicación real y los límites físicos y/o analíticos más allá de los cuales

el uso del modelo puede ser inadecuado. Como límites físicos podemos citar por ejemplo, las condiciones climáticas extremas bajo las cuales el modelo fue validado, de otra manera no podrán ser utilizadas en regiones tropicales y/o templadas, ya que existe el riesgo de tener errores. Como límites analíticos podemos considerar el número límite de observaciones requeridas, la precisión considerada, el coeficiente de eficiencia necesario para comparar los valores observados y calculados.

2.5. Relación precipitación escorrentía

2.5.1. Precipitación

La precipitación está constituida por toda el agua, que de una u otra forma, es depositada en la superficie terrestre, por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico. La precipitación puede ser en forma líquida (lluvia, rocío), o en forma sólida (nieve, granizo). La forma más común, y la que mayor interés tiene en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos y su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero enfrentan. (Heras, 1949).

Menciona que la precipitación es una variable hidrológica que manifiesta claramente su carácter aleatorio, variando considerablemente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). Es común que, en un determinado período de tiempo, mientras que en una zona ocurre una lluvia, en otra zona próxima no hay precipitación ninguna. Justamente ésta característica típica de la precipitación es la que introduce ciertas dificultades en su evaluación correcta. La unidad de medición es el milímetro (mm), definido como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie, conocido como la lámina de agua o altura de lluvia depositada sobre esa superficie. (Linsley, 1958)

Según (Chereque, 1989), Menciona que las características de las formas de precipitación son:

- Llovizna: Gotas con diámetros de 0.1 a 0.5 mm y Velocidad de caída baja: 1 m/seg a < 3 m/seg.
- Lluvia: Gotas con diámetros > 0.5 mm y Velocidad de caída media: 3 m/seg a < 7 m/seg.
- Chubasco: Gotas grandes y dispersas con diámetros > 3 mm y Velocidad de caída > 7 m/seg.
- Nieve: Cristales complejos de hielo.
- Granizo: Precipitación en forma bolas o formas irregulares de hielo con Diámetro entre 5 y 125 mm

La altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Los pluviómetros registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en la que está instalada el aparato. Para muchos problemas hidrológicos, se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona, la cual puede estar referida a la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual. (VILLON, M. 2002)

Altura de precipitación diaria, es la suma de las lecturas observadas en un día.

Altura de precipitación media diaria, es el promedio aritmético de las lecturas observadas en un día.

Altura de precipitación mensual, es la suma de las alturas diarias, ocurridas en un mes.

Altura de precipitación media mensual, es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual, correspondiente a un cierto número de meses.

Altura de precipitación anual, es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año.

Altura de precipitación media anual, es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años.

Menciona que la precipitación es el principal vector de entrada del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad total de agua que cae sobre la superficie terrestre. Se presenta en forma líquida (lluvia, niebla y rocío o escarcha), o sólida (nieve y granizo). Se deriva del vapor de agua atmosférica; sus características están sometidas a la influencia de otros factores climáticos, tales como viento, temperatura y presión atmosférica. La humedad atmosférica es una condición necesaria pero no suficiente para la formación de la precipitación. Primeramente se requiere del proceso de la condensación y luego otro proceso que cree las gotas de agua que deben precipitar. (GUEVARA, E. 2004).

La condensación se atribuye a una o más de las siguientes causas: (1) enfriamiento dinámico o adiabático; (2) mezcla de masas de aire de diferentes temperaturas; (3) enfriamiento por contacto; y (4) enfriamiento por radiación. Sin embargo, la causa más importante viene a ser el enfriamiento dinámico, la cual produce prácticamente toda la precipitación.

2.5.2. Escorrentía

Indica que en los estudios hidrológicos es sumamente importante el conocimiento de las características del caudal que drena una cuenca determinada, así como conocer el valor máximo o caudal pico que se espera para un período de retorno dado, o el caudal mínimo para ciertas condiciones meteorológicas presentes. Otras veces se requiere del conocimiento del rendimiento anual, mensual o medio, a largo plazo; es decir, del volumen de agua que se puede extraer de la cuenca para satisfacer algún requerimiento o demanda. (Aparicio, M. 1989)

El agua proveniente de la precipitación que excede a la capacidad de retención superficial, fluye por diversos caminos hacia la red de drenaje y se mide y evalúa en algún sitio de interés del cauce como escorrentía o escurrimiento. Al punto de interés se denomina como la estación hidrométrica de salida y es el punto más bajo de la cuenca, en este punto se mide el caudal o gasto.

Refiriéndose a las relaciones lluvia escurrimiento dice que, es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de

las obras hidráulicas. En general los registros de precipitaciones son más abundantes que los de escurrimiento y, además, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación. Las características de la cuenca se conocen por planos topográficos y de uso de suelo, y la precipitación a través de mediciones directas en el caso de predicción de avenidas frecuentes, o bien usando los métodos de análisis de datos de precipitación en el caso de avenidas de diseño.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión lluvia a escurrimiento son los siguientes:

- Área de la Cuenca.
- Altura total de precipitación.
- Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).
- Distribución de la lluvia en el tiempo.
- Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.

Menciona que el caudal Q o gasto de una corriente se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por la sección transversal del cauce en la estación hidrométrica de salida, y se expresa en metros cúbicos sobre segundos ó en litros sobre segundos. (Chow, V. 2000)

El caudal puede expresarse de acuerdo con la ecuación de continuidad, como sigue:

$$Q = v * A$$

Dónde:

v es la velocidad media de la corriente en m/s y A , el área de la sección transversal de la estación de aforos o sección de salida, en m^2 .

El registro sistemático del caudal de una corriente superficial se hace comúnmente en términos del caudal medio diario, que se obtiene ordinariamente mediante la medición de niveles en una estación de medición, los cuales se convierten a un registro de caudales mediante las denominadas curva de gastos o curva de relación altura – caudal.

Según (Linsley, 1949), Menciona que los componentes del escurrimiento evolucionan según un ciclo que depende de la naturaleza de la fuente de abastecimiento y está constituido por cinco fases que se describen a continuación:

a) La primera fase se inicia con un período seco que se prolonga hasta el inicio de la lluvia. En esta fase, el nivel freático se encuentra bajo y con una tendencia a seguir disminuyendo progresivamente. Es la época de estiaje en la el caudal de los cauces de flujo permanente se mantiene debido al aporte de los acuíferos. En los ríos de flujo intermitente el caudal base se agota totalmente y el río se seca.

b) La segunda fase comienza al iniciarse la lluvia. La precipitación se reparte entre la cae en la superficie del cauce, la que va a conformar la retención superficial, y la que se infiltra. Al empezar la lluvia, el agua interceptada por el follaje de la vegetación (almacenamiento por intercepción) queda expuesta a la evaporación; si la lluvia es de baja intensidad y poca duración puede quedar totalmente retenida sin llegar a la superficie del terreno y luego regresar a la atmósfera por evaporación. Si la intensidad de la lluvia es mayor que la deficiencia de humedad del suelo habrá un aumento gradual del contenido de humedad en la zona de aireación. En esta fase no hay escurrimiento, salvo el que cae sobre el cauce o sobre aquellas superficies impermeables.

c) La tercera fase es la que sigue a una lluvia intensa; después de saturarse la retención superficial, se da inicio a la esorrentía superficial. El agua que se infiltra satura la zona de aireación, dando inicio al escurrimiento subsuperficial y a la percolación. Si el nivel del cauce aumenta por encima del nivel freático, la corriente cambia de efluente a influente. Los valores de evaporación y evapotranspiración son pequeños.

d) La cuarta fase se da cuando la lluvia continúa; se llega al nivel máxima de recarga y toda el agua contribuye al aumento de caudal. En las zonas bajas o pantanosas ocurren inundaciones si el cauce no posee suficiente capacidad como para desalojar la escorrentía superficial.

La quinta fase comprende el período señalado entre la culminación de la lluvia y la recuperación de las condiciones de la primera fase; normalmente requiere un tiempo prolongado entre estas dos fases. La infiltración cesa y el agua que excede a la humedad del suelo fluye hacia los cauces o los acuíferos. En esta fase la evaporación es muy activa.

Menciona que, una vez que se ha estudiado el régimen de precipitaciones de una cuenca, obtenido una lluvia de diseño asociada a un determinado período de retorno y estimado las pérdidas con alguno de los modelos disponibles, de manera tal de encontrar la lluvia neta o efectiva, el paso siguiente es transformar esa lluvia efectiva en escorrentía o caudal. (NANIA 2003).

Menciona que el escurrimiento o caudal se conforma de cuatro procesos o componentes que se diferencian por el tiempo que tardan en llegar a la estación de medición y por la vía de llegada: Escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial, escurrimiento subterráneo y lluvia que cae sobre el cauce.

El Escurrimiento Superficial viene a ser el agua, proveniente de las precipitaciones, que fluye por gravedad sobre la superficie del terreno, siguiendo la pendiente natural; este componente del caudal es retardado por las irregularidades del suelos y la cobertura vegetal; se hace más rápido a medida que se acerca a los cursos de drenaje, donde adquiere mayor velocidad. Por lo tanto, una cuenca con una red hidrográfica densa descarga el escurrimiento superficial con una mayor prontitud que otras con redes menos densas. El caudal máximo ocurre cuando llega a la estación de salida el escurrimiento superficial de la parte media de la cuenca, o cuando toda el área de la hoya esté aportando escorrentía. El escurrimiento superficial depende de factores como la naturaleza de la cuenca, topografía, manto vegetal, estado de humedad inicial y característica de la precipitación. Una lluvia corta de baja intensidad en terrenos permeables y secos producirá muy poco o ningún escurrimiento superficial; en

terreno impermeable o suelos saturados, esa misma precipitación originará un escurrimiento superficial de cierta importancia.

El escurrimiento subsuperficial denominado también interflujo o caudal hipodérmico es aquel que proveniente de las precipitaciones que se han infiltrado y que se desplaza lentamente por debajo, pero cerca de la superficie, sin llegar al nivel freático o agua subterránea, de forma tal que tiende a ser casi horizontal para aflorar en algún talud o en algún sitio de la superficie situado más abajo del punto de infiltración. Este componente del caudal ocurre con mucha frecuencia en las regiones cársticas, como consecuencia de la presencia de canales de circulación establecidos por la disolución del material calcáreo de ese tipo de suelos. (GUEVARA, 2004).

2.6. Hidrología Estadística

2.6.1. Definición de conceptos estadísticos

a. Espacio Muestral

Es el conjunto de todos los resultados posibles de un experimento estadístico y se representa con el símbolo S . Cada resultado de un espacio muestra se le llama elemento o miembro del espacio muestral o simplemente punto muestral.

b. Eventos

Un evento es un subconjunto de un Espacio Muestral. Son los resultados posibles que se pueden presentar en la realización de un experimento.

c. Probabilidad

La probabilidad de un evento, $P(A)$ es la posibilidad de que este ocurra cuando se hace una observación de la variable aleatoria. Si una muestra de N observaciones tiene N_A valores en el rango del evento A , entonces $P(A) = N_A/N$.

Las probabilidades obedecen a ciertos principios:

Probabilidad total: si en el Espacio Muestral S , está completamente divididos en “ m ” eventos o áreas no traslapadas A_1, A_2, \dots, A_m , entonces:

$$P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_m) = P(S) = 1.$$

Complementariedad: En un Espacio Muestral S , si A' es el complemento de A , entonces: $P(A') = 1 - P(A)$.

Probabilidad condicional: En un Espacio Muestral S , si existen en ella dos eventos A y B , la probabilidad de que el evento B ocurra cuando ya ocurrió algún evento A , se denomina probabilidad condicional y se denota por $P(B|A)$. Esta probabilidad se define como:

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}, \text{ Si } P(A) > 0$$

Si la ocurrencia de B no depende de la ocurrencia A se dice que los eventos son independientes, entonces $P(B|A) = P(B)$ y $P(A|B) = P(A)$.

d. Variable aleatoria

Es una función que asocia un número real con cada elemento del Espacio Muestral. A una variable aleatoria se le conoce también como una variable estocástica, porque sus valores son números reales que no pueden predecirse con certeza antes de ocurrir el fenómeno, es decir ocurren al azar.

e. Funciones de frecuencia y probabilidad

Si las observaciones de una muestra están idénticamente distribuidas (cada valor de la muestra extraído de la misma distribución de probabilidad) estas pueden ordenarse para formar un histograma de frecuencia. Primero, el rango factible de la variable aleatoria se divide en intervalos discretos, luego se cuenta el número de observaciones que cae en cada uno de los intervalos y finalmente el resultado se dibuja como una gráfica de barras.

El ancho Δx del intervalo utilizado para construir el histograma de frecuencia se escoge tan pequeño como sea posible y de tal manera que caigan suficientes observaciones dentro de cada uno de los intervalos para que el histograma tenga una variación razonablemente suave en el rango de la información.

Si el número de observaciones n_i en el intervalo i , que cubre el rango

$[X_i - \Delta x, X_i]$, se divide por el número total de observaciones n , el resultado se conoce como la función de frecuencia relativa $f_s(x)$:

$$f_s(x_i) = \frac{n_i}{n}$$

2.6.2. Parámetros estadísticos

El objetivo de la estadística es extraer la información esencial de un conjunto de datos, reduciendo un conjunto grande de números a un conjunto pequeño de números. Las estadísticas son números calculados de una muestra los cuales resumen sus características más importantes.

Los parámetros estadísticos son características de una población, tales como μ y σ en una ecuación. Un parámetro estadístico es el valor esperado E de alguna función de una variable aleatoria. Un parámetro simple es la media μ , el valor esperado de la variable aleatoria. Para una variable aleatoria X , la media es $E(X)$, y se calcula como el producto de x y la correspondiente densidad de probabilidad $f(x)$, integrando sobre el rango factible de la variable aleatoria.

$$E(x) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

$E(X)$ es el primer momento alrededor del origen de la variable aleatoria, una medida del punto medio o “tendencia central” de la distribución.

La estimación por la muestra de la media es el promedio \bar{x} de la información de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

El valor estimado de la muestra de la varianza está dado por.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

En la cual el divisor es $n-1$ en lugar de n para asegurar la que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero. La varianza tiene dimensiones de $[X]^2$.

La desviación estándar σ es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones de X . La cantidad de σ es la raíz cuadrada de la varianza y se estima por s , a medida que la desviación estándar aumenta, aumenta la dispersión de la información.

El coeficiente de variación $CV = \sigma/\mu$, estimado por s/\bar{x} , es una medida adimensional de la variabilidad.

La simetría de una distribución alrededor de la media se mide utilizando la asimetría (oblicuidad) la cual es el tercer momento alrededor de la media:

$$E[(x - \mu)^3] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^3 f(x) dx$$

La asimetría normalmente se determina con la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} E[(x - \mu)^3]$$

Un estimativo de la muestra de γ está dado por:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

2.6.3. Distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas

Según Villon (2001), menciona que un hidrólogo generalmente tendrá disponibilidad de registros de datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura, caudales, etc.), a través de su conocimiento escogerá un modelo probabilístico a usar, que represente en forma satisfactoria el comportamiento de la variable.

Entre las distribuciones teóricas comunes utilizados en hidrológica son:

- Distribución Normal.
- Distribución Log-normal de 3 parámetros
- Distribución Pearson tipo III.
- Distribución Log-Pearson tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel.

2.6.4. Métodos de estimación de parámetros

Para estimar los parámetros estadísticos tenemos los siguientes métodos: método gráfico, método de mínimos cuadrados, método de momentos y método de máxima verisimilitud.

Los métodos de momentos y de máxima verisimilitud son los que tienen mayor aplicación en hidrología.

a. Método de momentos

El método de momentos fue desarrollado por primera vez por Karl Pearson en 1902. El considero que unos buenos estimativos de los parámetros de una función de probabilidad son aquellos para los cuales los momentos de la función

de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes de la información de la muestra.

$$\alpha = f_1(\mu_i, \mu_{i+1}, \dots)$$

$$\beta = f_2(\mu_j, \mu_{j+1}, \dots)$$

$$\gamma = f_3(\mu_k, \mu_{k+1}, \dots)$$

Donde:

μ_i, μ_j, μ_k Son los momentos con respecto a la media, o momentos centrales de la población.

α, β, γ Son los parámetros de la función de distribución.

b. Método de máxima verosimilitud

Según Chow V. (1998), el método de máxima verosimilitud fue desarrollado por R. A. Fisher (1922). El razonó que el mejor valor de un parámetro de una distribución de probabilidad debería ser el valor que maximizara la verosimilitud o probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada.

Dada una función de distribución

$$f = (x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

Donde:

α, β, γ Son los parámetros que deben ser estimados.

Se define la función verosimilitud de la muestra, como la productoria de:

$$L = \prod_{i=1}^N f(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

$$L = f_1(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) * f_2(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) * \dots * f_N(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

Siendo N tamaño de la muestra.

2.7. Análisis de consistencia de la información hidrológica

Según Villon, M. (2001) menciona que, el hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico debe buscar la información de la cuenca en estudio en las instituciones encargadas de su recopilación, pero una vez obtenido ésta, una de las interrogantes que se debe hacer, ¿es confiable la información disponible?

La respuesta a esta pregunta, se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre.

La no homogeneidad e inconsistencia, son los causales del cambio a que están expuestas las informaciones hidrológicas, por lo cual su estudio es de mucha importancia para determinar los errores sistemáticos que puedan afectarlas.

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias, y no homogeneidad es definido como los cambios de datos vírgenes con el tiempo.

La no homogeneidad en una serie de tiempo hidrológico, se debe a factores humanos (tala indiscriminada de una cuenca, construcción de estructuras hidráulicas, etc.) o a factores naturales de gran significación, como los desastres naturales (inundaciones, derrumbes, entre otras).

La inconsistencia de una serie de tiempo, está dada por la producción de errores sistemáticos (déficit de toma de datos, cambio de estación de registro, entre otras.). Esta inconsistencia y no homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

Piérola (1993) El análisis de consistencia de la información, es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica. Antes de utilizar la serie histórica para el moldeamiento es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente.

El análisis de saltos de la información hidrológica, se realiza mediante los siguientes procesos:

- Análisis visual gráfico
- Análisis doble masa
- Análisis estadístico.

2.8. Modelo determinístico estocástico Lutz Scholz

Según LUTZ SCHOLZ (1980), menciona que, este modelo hidrológico, es combinado por que cuenta con una estructura determinístico para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico).

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas. Los procedimientos que se han seguido en la implementación del modelo son:

- b. Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de esorrentía promedio.
- c. Establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica. En

base a lo anterior se realiza el cálculo de los caudales necesarios.

- d. Calibración del modelo y generación de caudales extendidos por un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior.

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

Según LUTZ SCHOLZ (1980), menciona que los conceptos en la que se fundamenta el modelo son los siguientes:

2.8.1. Ecuación del balance hídrico

La ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es la siguiente:

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

Donde:

CM_i = Caudal mensual (mm/mes)

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

D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

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

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo que para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir G_i = A_i, y para un

año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando (P-D) por (C*P), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m3/seg) la ecuación anterior se convierte en:

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

Que es la expresión básica del método racional.

Donde:

Q = Caudal (m3/s)

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

C = coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

AR = Area de la cuenca (m2)

2.8.2. Coeficiente de escurrimiento

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). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escorrentía superficial. El coeficiente de escorrentía varía a lo largo del tiempo y es función de las características del terreno (naturaleza, vegetación, permeabilidad, inclinación y humedad inicial 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). Los factores indicados se influyen mutuamente, siendo complicado el análisis aislado de cada uno de ellos.

Existen muchos métodos para su determinación, entre ellas se puede citar a 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)

2.8.3. Evapotranspiración potencial

Se menciona que todas las especies vegetales necesitan agua en diferentes cantidades para crecer y mantenerse en vida. Sin embargo, sólo una pequeña porción del agua requerida es retenida en la estructura vegetal; la mayor parte pasa del suelo a la planta a través del sistema radicular y es transpirada hacia la atmósfera desde la superficie foliar. (GUEVARA, 2004)

Se menciona que según el método de Thorntwaite, la evapotranspiración potencial viene a significar la necesidad real de agua de los cultivos, planteamiento que fue apoyado posteriormente por Papadakis; en cambio Blaney y Criddle lo denomina uso consuntivo potencial (UCP), a diferencia del uso consuntivo (UC) que sería la cantidad de agua gastada en una área de cultivo por unidad de tiempo, tanto para la evaporación del suelo, transpiración de las plantas como la formación de los tejidos vegetales en condiciones naturales. (OLARTE, 1987)

Según VASQUEZ, (1992). Indica que la evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos), que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua .

Además indica que la evapotranspiración potencial, es uno de los factores determinantes para la evaluación de la demanda de agua, el cual constituye como resultado del efecto combinado de la evaporación del agua del suelo y la transpiración de la planta en pleno proceso de crecimiento.

En 1998 se publica el “estudio FAO Riego y Drenaje 56: Evapotranspiración del cultivo”, en el que se condensan los avances en el cálculo de la Eto. En este trabajo ya se toma solo el método de Penman Monteith. El mismo es establecido como el método “estándar” en Estados Unidos en el año 2000.

Según BENITES (1998), indica que la evapotranspiración es la transmisión del agua a la atmósfera (que se toma como referencia), producida cuando el suelo está cubierto con un cultivo que abarque totalmente el área, con agua disponible en condiciones, bajo condiciones meteorológicas existentes.

Según APARICIO. (1992) menciona que la evapotranspiración es un factor determinante en el diseño de sistemas de riego, incluyendo las 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.

2.8.4. Precipitación efectiva

Según VÁSQUEZ (2000), menciona que, durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio “suelo”, la precipitación o pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos el total) del contenido de agua en el suelo; Pero parte de la lluvia de que dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de ésta; la otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación.

La precipitación efectiva para fines agrícolas, se ha definido como la precipitación con una posibilidad de excedencia del 80%, caracterizando en promedio un año deficitario de cada cinco. Para lo cual una metodología muy utilizada para estimar la precipitación efectiva con fines de dimensionado de sistemas de riego, fue desarrollada por la FAO, para diferentes climas (árido y sub-húmedos) y en diversas partes del mundo. La ecuación que considera es el siguiente:

$$PP \text{ efect.} = 0.60 PP \text{ total} - 10 \quad (\text{para } PP \text{ total} < 70 \text{ mm/mes})$$

$$PP \text{ efect.} = 0.80 PP \text{ total} - 24 \quad (\text{para } PP \text{ total} > 70 \text{ mm/mes})$$

Donde:

PP efect : precipitación efectiva

PP total : precipitación total

Para la determinación de la precipitación efectiva se utilizan usualmente los siguientes métodos:

a. Método del UDSA Soil Conservation Service

El método propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos – Servicio de Conservación de Suelos (UDSA Soil Conservation Service), se fundamenta en los siguientes supuestos:

- La eficiencia de las lluvias disminuye cuando la precipitación aumenta.
- Para valores de precipitación inferiores a 100 mm/mes, la eficiencia será del 80% aproximadamente, En consecuencia se sugiere un porcentaje fijo de precipitación.

La precipitación efectiva mediante este método se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$P_{ef} = P_{tot} ((125 - 0.2 P_{tot})/125); \text{ para } P_{tot} < 250 \text{ mm.}$$

$$P_{ef} = 125 + 0.1 P_{tot}; \text{ para } P_{tot} > 250 \text{ mm.}$$

Donde:

P_{ef} : precipitación efectiva.

P_{tot} : precipitación total.

b. Metodo Water Power Resources Service (WPRS-USA)

Según VASQUEZ (2000), Menciona que la precipitación es una variable aleatoria, conviene analizar la lluvia total, probabilísticamente, con el objeto de determinar el valor probable de la precipitación que cae; por ello, se determina la frecuencia o probabilidad de ocurrencia mediante la formula de Weibull:

$$f = m / N+1$$

Donde:

- f : Frecuencia o probabilidad de ocurrencia.
 m : Valor de posición de la lluvia ordenada en forma creciente
 N : Numero total de valores de precipitación mensual

Según LUTZ SCHOLZ (1980), Menciona que para el cálculo de la Precipitación Efectiva, se supone que los caudales promedio observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calcula para un coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía. Para estudios 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.

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

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

Donde:

- PE = Precipitación efectiva (mm/mes)
 P = Precipitación total mensual (mm/mes)
 a_i = Coeficiente del polinomio.

2.8.5 Retención de la cuenca

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

$$R_i = CM_i - P_i$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

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).

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

2.8.6. Relación entre descargas y retención

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

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

Donde:

- Q_t = Descarga en el tiempo t
 Q_0 = Descarga inicial
 A = Coeficiente de agotamiento
 t = tiempo

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos.

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

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

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

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

Cuadro 1: Calculo de los coeficiente de agotamiento "a"

Características 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	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.030$

<p>Agotamiento mediano, por retención reducida mediana (alrededor 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).</p>	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.026$
<p>Agotamiento reducido, por alta retención (arriba 100 mm/año) y vegetación mezclada</p>	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.023$

Dónde: **a** es el coeficiente de agotamiento por día, AR es el área de la cuenca (km²), EP es la evapotranspiración potencial anual (mm/año), T es la duración de la temporada seca (días) y R es la retención total de la cuenca (mm/año)

2.8.8. Almacenamiento hídrico

Se tienen tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

- Acuíferos
- Lagunas y pantanos
- Nevados

En el siguiente cuadro se muestra la lámina de agua almacenada en los tres tipos de almacenes: hídricos.

Cuadro 2: Lámina de agua acumulada en los tres tipos de almacén hídrico

Tipo	Lámina 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 Schols Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones PLAN MERIS II.

2.8.9. Gasto de la retención

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

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

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 es la retención de la cuenca (mm/mes).

2.8.10. Restitución

Se utiliza como referencia los valores del Cuadro 3, para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interés.

Cuadro 3: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)

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

FUENTE: PLAN MERIS II – Parámetros de calibración para la sierra Peruana - LUTZ SCHOLZ

2.8.11. Abastecimiento de la retención

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvia - (Valores a 1%)

(Valores - a 1%)

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
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

FUENTE: PLAN MERIS II – Parametros de calibración para la sierra Peruana - LUTZ SCHOLZ

2.8.12. Determinación del caudal mensual para el año promedio

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

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

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)

2.8.13. Generación de Caudales 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 las ecuaciones anteriores con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva:

$$Q_t = f(Q_{t-1})$$

$$Q = g(PE_t)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria.

$$Z = z(S)\sqrt{(1-r^2)} \quad 3.1$$

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

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

Dónde:

Q_t = Caudal del mes t (mm/mes)

Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (mm/mes)

PE_t = Precipitación efectiva del mes (mm/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).

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

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

2.8.14. Test estadístico

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

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

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.

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) .

2.8.15. Restricciones del Modelo

El modelo presenta ciertas restricciones de uso o aplicación tales como:

- a. El uso de los modelos parciales, únicamente dentro del rango de calibración establecido.
- b. Su uso es únicamente para el cálculo de caudales mensuales promedio.
- c. Los registros generados en el período de secas presentan una mayor confiabilidad que los valores generados para la época lluviosa.
- d. La aplicación del modelo se restringe a las cuencas en las que se ha calibrado sus parámetros (sierra peruana: Cusco, Huancavelica, Junin y Cajamarca).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

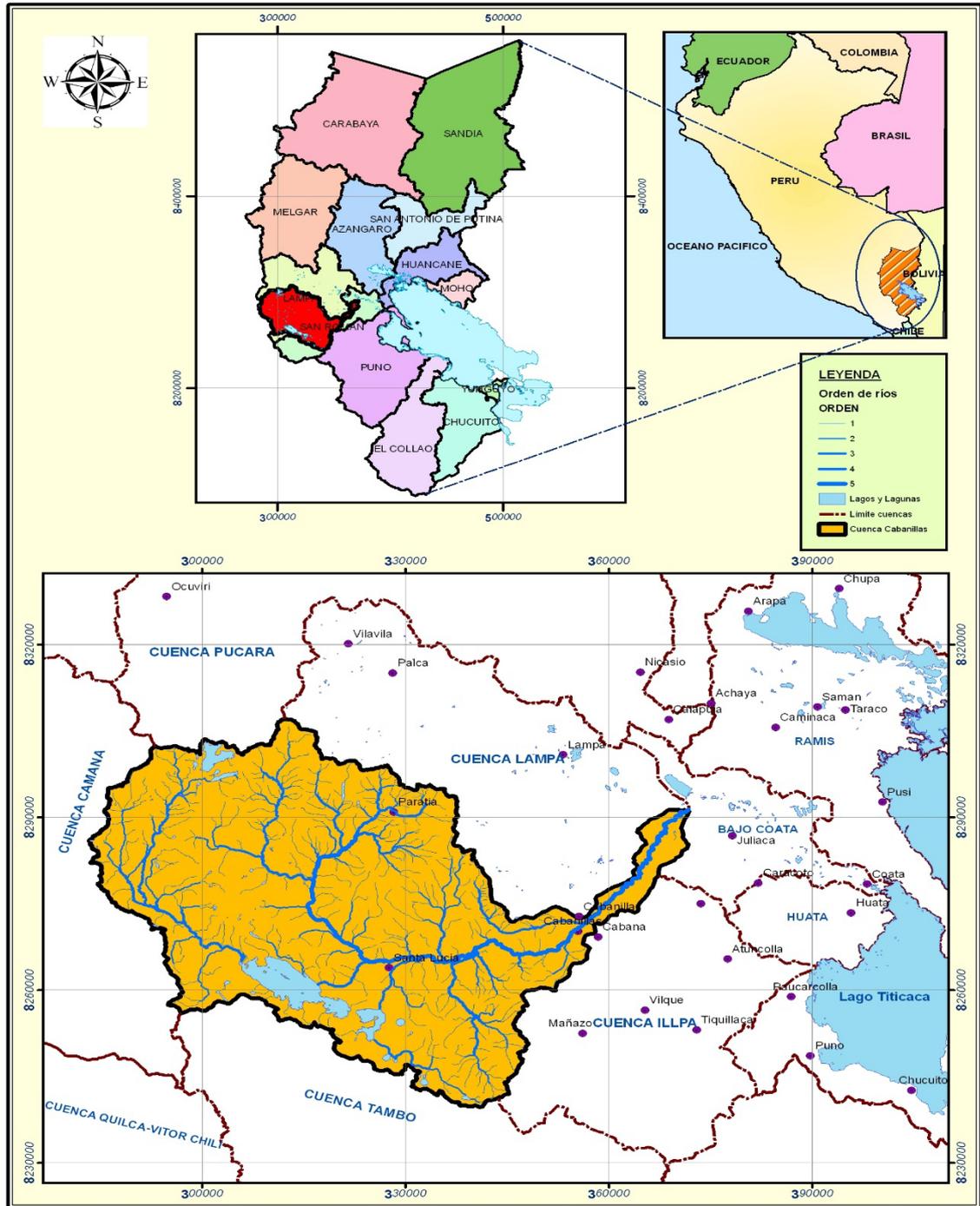
La cuenca del río Coata, se encuentra ubicada aproximadamente en la parte sur del departamento de Puno, situada dentro de sus coordenadas de sus puntos extremos paralelos: 15°06'36" - 15°55'12" de Latitud Sur, los meridianos 71°12'00" - 69°55'12" de Longitud Oeste y altitudinalmente se extiende desde la superficie del Lago Titicaca cerca de 5,300 – 3,800 m.s.n.m. y en las en las coordenadas Norte: 8'328,509 – 8'239,696 y Este: 282,907 – 401,525.

Políticamente la cuenca de río coata, se encuentra ubicada en el:

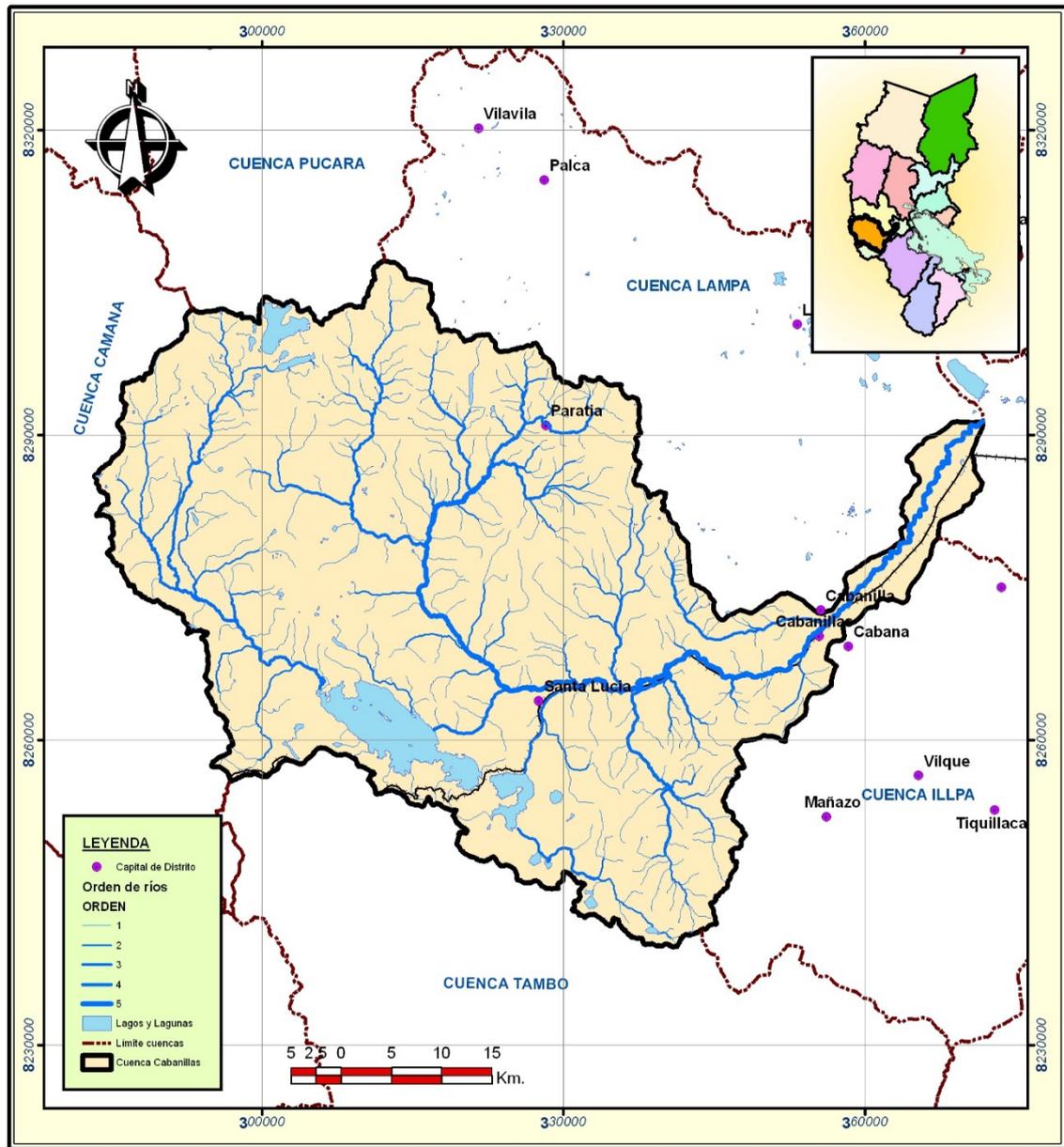
- Departamento : Puno
- Provincias : Lampa, San Román.
- Distritos : Paratia, Santa Lucia, Cabanillas, Lampa, Juliaca.

La cuenca del río coata, constituye otra de las unidades geográficas importantes del sistema fluvial del Lago Titicaca, teniendo como límites Hidrográficos: por el norte con la cuenca Ramis; por el sur cuenca Illpa y cuenca Alto Tambo; por el este con el Lago Titicaca y por el Oeste con la Cuenca Chili y Cuenca Colca.

En la gráfica 3, se muestra la ubicación política de la cuenca del río Coata y en la gráfica 4, se muestra la ubicación hidrográfica de la cuenca del río Coata.



Gráfica 4: Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Coata.



3.2. Materiales

3.2.1. Información cartográfica

Los planos utilizados corresponden a la cuenca del río Coata, componente del Sistema Hídrico Titicaca-Desaguadero-Poopo y Salar de Coipasa (TDPS) a escala de 1:100 000 los mismos que fueron proporcionados por el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT). Elaborados por el Instituto Geográfico Militar - IGM, el formato digital del plano base utilizado, está en el sistema de

coordenadas UTM WGS84, proyectadas para la zona 19, que es donde se ubica la zona en estudio.

3.2.2. Información meteorológica

La información meteorológica se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología Puno (SENAMHI), se utilizó registros de precipitación total mensual y anual, Humedad relativa, evaporación total y temperatura media mensual de las estaciones Pampahuta, Lagunillas, Cabanillas, Lampa, Juliaca y Quillisani, cuya ubicación política y geográfica se presenta en el cuadro 5, y en el cuadro 6, se presenta el tipo de estación y el periodo de registro de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 5: Ubicación política y geográfica de las estaciones meteorológicas

N°	ESTACION	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA		
		DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1	Pampahuta	Puno	Lampa	Paratía	15°29'00.7"	70°40'32.8"	4400
2	Lagunillas/Santa Lucia	Puno	Lampa	Santa Lucia	14°56'11.5"	70°53'09.4"	3980
3	Cabanillas	Puno	San Román	Cabanillas	15°10'10.5"	69°58'11.6"	3892
4	Lampa	Puno	Lampa	Lampa	15°21'40.17"	70°22'27.12"	3892
5	Juliaca	Puno	San Román	Juliaca	15°26'39,02"	70°12'28.32"	3826
6	Quillisani	Puno	Lampa	Paratia	15°23'00"	70°45'00"	4600

Cuadro 6: Periodo de registro de las Estaciones meteorológicas

N°	ESTACION	CUENCA	TIPO ESTACION	PERIODO	AÑOS DE OBSERVACION
1	Pampahuta	Coata	CO.115027	1966 - 2010	45
2	Santa Lucia	Coata	CO. s/c	1966 - 2010	45
3	Cabanillas	Coata	CO.115033	1966 - 2010	45
4	Lampa	Coata	CO.100081	1966 - 2010	45
5	Juliaca	Coata	CO.115060	2001- 2010	45
6	Quillisani	Coata	CO. s/c	1966 - 1988	23

3.2.3. Información Hidrométrica

La información Hidrométrica obtenida para el presente estudio, corresponde al registro histórico de caudales medios mensuales aforados en la Estación puente Unocolla (N 8285652 m., E 385973 m., Z 3,829 msnm.), operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Para el presente estudio, la información de caudales medios mensuales varia en el periodo de los años 1966 al 2010, con un promedio de 45 años de registro de observación.

3.2.4. Equipos y materiales para el procesamiento

Los equipos y materiales utilizados en el procesamiento e impresión son:

- Hardware: Computadora, Impresora y accesorios.
- Software: Office 2013, Auto CAD v.13., Arc Gis v.4, HIDROESTA2.
- Materiales de escritorio.
- Otros.

3.3. Metodología

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación es la siguiente:

3.3.1. Determinación de parámetros estadísticos

Para la serie históricas de precipitación total mensual, temperatura medias mensual, humedad relativa media mensual y caudales medios mensuales, los parámetros estadísticos se extraen de una muestra, indicando las características de la población. Los principales estadísticos son la media, varianza y el coeficiente de asimetría.

a. Media aritmética

Es el valor esperado de la variable misma. Primer momento respecto al origen y muestra la tendencia central de la distribución y se determina con la siguiente ecuación matemática:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

El valor estimado de la media a partir de la muestra es

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

-

\bar{x} = media muestral

μ = media poblacional

x_i = valor i-ésimo de la muestra

n = número de datos de la muestra o población

b. Varianza

La varianza mide la variabilidad de los datos. Es el segundo momento respecto a la media.

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx$$

El valor estimado de la varianza a partir de la muestra es

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (x_1 - \bar{x})^2$$

En el cual el divisor es $n-1$ en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra *no sea sesgada*, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero.

La desviación estándar σ es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones que la media y simplemente es la raíz cuadrada de la varianza, se estima por s .

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

Donde:

s^2 = Varianza muestral

σ^2 = varianza poblacional

x_i = valor i-ésimo de la muestra

$\bar{x} = \mu$ = media muestral o poblacional

n = número total de datos

El coeficiente de variación es una medida adimensional de la variabilidad y su estimativo es la relación de la desviación estándar y la media.

$$Cv = \frac{s}{\bar{x}}$$

3.3.2. Análisis de consistencia de la información

El análisis de consistencia es una técnica que permite detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios que se presentan en series hidrométricas; en consecuencia la serie analizada debe ser homogénea, consistente y confiable.

La no homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas son causadas por errores aleatorios y sistemáticos; entre ellas se tiene:

- Los errores aleatorios se presenta a causa de la inexactitud en las mediciones, mala lectura, mal funcionamiento del instrumento, errores de copia, etc.
- Los errores sistemáticos son los de mayor importancia, como consecuencia de los mismos, los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente y pueden ser naturales, (derrumbes, colmatación y erosión de la sección transversal de la estructura de la estación de aforo; en general llamados como desastres naturales); artificiales y ocasionados por la mano del hombre (déficit en la toma de

datos, cambio de la estación de aforo, construcción de estructuras hidráulica, explotación de aguas subterráneas, tala de árboles, etc).

La no homogeneidad e inconsistencia en la serie histórica puede producir errores significativos en todo los análisis futuros y obtendría resultados altamente sesgados.

La no homogeneidad e inconsistencia en la serie histórica se presentan en forma de saltos y/o tendencias. Antes de realizar el modelamiento matemático de cualquier serie hidrológica es importante efectuar el análisis de consistencia respectivo con el fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable.

Los saltos “Jump” llamados también resbalamientos, son componentes determinísticas transitorias que se manifiestan en forma de cambios bruscos haciendo posibles que en la serie se presentan periodos de distinto comportamiento. Los saltos generalmente se presentan en la media y desviación estándar.

Análisis de saltos:

El análisis de saltos se realiza desde tres puntos de vista:

- Análisis Visual de Hidrogramas.
- Análisis de doble masa.
- Análisis estadístico

a. Análisis visual de hidrogramas

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

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

- Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan sus hidrogramas y se ve cual periodo varia notoriamente uno respecto al otro.
- Cuando se tiene una sola estación, esta se divide en varios periodos y se compara con la información obtenida en campo, tratando de no confundir un salto con la ocurrencia de varios periodos húmedos o prolongadas sequías.
- En lo posible se debe mantener el periodo más largo como la más confiable.

b. Análisis de doble masa

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

El procedimiento para realizar este análisis es el siguiente:

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

c. Análisis estadístico

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

c.1. Consistencia de la media

Mediante la prueba estadística “T” de Student se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

Prueba Estadística “T”:

Planteamiento de las hipótesis:

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

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

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

Calculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios:

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

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

Donde:

S_d : Desviación estándar de las diferencias de los promedios.

S_p : Desviación estándar ponderada.

n_1 : Número de datos del primer periodo

n_2 : Número de datos del segundo periodo

S_1^2 : Varianza del primer periodo.

S_2^2 : Varianza del segundo periodo

Cálculo del valor de T_c , según:

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

Dónde: $\mu_1 - \mu_2 = 0$, por hipótesis.

Hallar el valor de “ T_t ” de las tablas de T de Student con:

N.C = con 95% de probabilidad.

α = 0.05

G.L = $n_1 + n_2 - 2$

Donde:

G.L = grados de libertad.

T_t = T tabulado.

T_c = T calculado.

Conclusión:

Si $(T_c) \leq T_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente).

Si $(T_c) > T_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente), en este caso se debe corregir la información.

c.2 Consistencia de la desviación estándar

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

Prueba estadística F:

Planteamiento de las hipótesis:

$$\begin{aligned}
 H_p & : \quad \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ (varianzas poblacionales)} \\
 H_a & : \quad \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \\
 \alpha & : \quad 0.05
 \end{aligned}$$

Cálculo de F_c , según:

$$F_c = \frac{S_1(x)}{S_2(x)}, \quad \text{si. } S_1(x) > S_2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2(x)}{S_1(x)}, \quad \text{si. } S_2(x) > S_1(x)$$

Hallar el valor de F_t . en las tablas con:

N.C. = 95% de probabilidad.

$\alpha = 0.05$

G.L.N = $n_1 - 1$

G.L.D. = $n_2 - 1$

Donde:

F_c = valor de F calculado

F_t = valor de F tabular

α = nivel de significación

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

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

Conclusiones:

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

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

d. Corrección de la información

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

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

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

Para corregir el segundo periodo:

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

Donde:

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

X_t = valor a ser corregido.

e. Bondad de la información corregida

Para comprobar la información corregida, comparando con el periodo confiable se repite el procedimiento ya descrito, vale decir desarrollando la prueba estadística T y F respectivamente, cuyos resultados deben ser confiables con 95% de probabilidad de aceptación.

3.3.3. Generación de caudales medios mediante el modelo LUTZ SCHOLZ

Para generar caudales mediante el modelo LUTZ SCHOLZ, se sigue el siguiente procedimiento:

3.3.3.1. Ecuaciones del balance hídrico

La ecuación que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

CM_i = Caudal mensual (mm/mes)

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

D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

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

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

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

Reemplazando (P-D) por (C*P), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m³/seg) la ecuación (1) se convierte en:

$$Q = c' * C * P * AR \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

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

C = coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

AR = Área de la cuenca (m²)

3.3.3.2. Coeficiente de escurrimiento

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

Turc:

$$C = \frac{P - D}{P} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación Total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

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

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \dots\dots\dots (4)$$

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \dots\dots\dots (5)$$

Siendo:

L = Coeficiente de Temperatura

T = Temperatura media anual (°C)

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

$$\bar{C} = 3.16E12(P^{-0.571})(EP^{-3.686})_{\gamma = 0.96} \dots\dots\dots (6)$$

$$\bar{D} = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP)_{\gamma = 0.96} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

La evapotranspiración potencial, se ha determinado mediante el método “Tanque Clase A”.

Para estimar, la tasa de evaporación promedio mensual y anual a partir de la superficie de suelo y subsuelo en el ámbito del área de estudio. Se determinó sobre la base de la información de datos de evaporación libre de “Tanque Tipo A” en mm/mes.

La ecuación matemática para determinar la evapotranspiración potencial de referencia mediante este método es:

$$ETP = E_v * K_t \quad \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración Potencial de referencia (mm/día).

E_v : Evaporación libre de tanque clase “A” en (mm/día).

K_t : Coeficiente empírico, vigente para las condiciones ambientales del tanque, se considera a $K = 0.80$.

3.3.3.3 Precipitación efectiva

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

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

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

a_i = Coeficiente del polinomio

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

Cuadro 7: Límite superior para la precipitación efectiva

CURVA N°	ECUACION	RANGO
Curva I	$PE = P - 120.6$	$P > 177.8$ mm/mes
Curva II	$PE = P - 86.4$	$P > 152.4$ mm/mes
Curva III	$PE = P - 59.7$	$P > 127.0$ mm/mes

Cuadro 8: Método de la United States Bureau of Reclamation (USBR)

Precipitación total mensual	Porcentaje de aumento	Precipitación efectiva acumulada
mm	%	Mm
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 - 72.4
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	86.4 - 120.6

FUENTE: PLAN MERISS II - Generación de caudales mensuales para la sierra del Peru-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

Cuadro 9: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

COEFICIENTE PARA EL CALCULO 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	-1.20E-05	4.35E-08	5.53E-05
a4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

FUENTE: PLAN MERISS II - Generación de caudales mensuales para la sierra del Peru-LUTZ SCHOLZ

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

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} \quad \dots\dots (10)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

Q = Caudal anual

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

P = Precipitación Total anual

3.3.3.4. Retención de la cuenca

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

$$R_i = CM_i - P_i \quad \dots\dots (11)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad \dots\dots (12)$$

Donde:

CMi = 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)

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

3.3.3.5. Relación entre descargas y retención

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

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

Q_t = descarga en el tiempo t

Q_0 = descarga inicial

a = Coeficiente de agotamiento

t = tiempo

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

3.3.3.6. Coeficiente de agotamiento

Mediante la fórmula (14) se puede calcular el coeficiente de agotamiento "a", en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.

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

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

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

$$a = 3.1249E67(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}(T)^{-3.369}(R)^{-1.429} \dots\dots\dots (14)$$

$$r = 0.86$$

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

- Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año):

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.034 \dots\dots\dots (15.1)$$

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

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.030 \dots\dots\dots (15.2)$$

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

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.026 \dots\dots\dots (15.3)$$

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

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.023 \quad \dots\dots\dots (15.4)$$

Donde:

a = coeficiente de agotamiento por día

AR = área de la cuenca (km²)

EP = evapotranspiración potencial anual (mm/año)

T = duración de la temporada seca (días)

R = retención total de la cuenca (mm/año).

3.3.3.7. Almacenamiento hídrico

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados: Acuíferos, Lagunas y pantanos, y Nevados.

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

Acuíferos:

$$L_A = -750(I) + 315 \quad (\text{mm/año}) \quad \dots\dots\dots (16.1)$$

Siendo:

L_A = lámina específica de acuíferos

I = pendiente de desagüe: I <= 15 %

Lagunas y Pantanos:

$$L_L = 500 \quad (\text{mm/año}) \quad \dots\dots\dots (16.2)$$

Siendo: L_L = Lámina específica de lagunas y pantanos

Nevados:

$$L_N = 500 \text{ (mm/año)} \quad \dots\dots\dots \quad (16.3)$$

Siendo: L_N = lámina específica de nevados

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva. El almacenamiento se expresa en milímetros sobre toda la cuenca. Se considera como referencia los reportes del modelo elaborado por el PLAN MERISS II (Misión Técnica Alemana).

3.3.3.8. Gasto de la retención

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

$$G_i = \left[b_i / \sum_{i=1}^m b_i \right] R \quad \dots\dots\dots \quad (17)$$

Donde:

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

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

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

R = retención de la cuenca (mm/mes).

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

$$b_i = e^{-a.t} \quad \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

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

a = Coeficiente de agotamiento.

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

3.3.3.9. Restitución

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

$$R_i = (r_i / \sum r_i . A) \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$r_i = r / 100$$

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 lluvia para el mes (i).

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

3.3.3.10. Abastecimiento de la retención

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

Cuadro 10: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)

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

FUENTE: PLAN MERIS II – Parámetros de calibración Para la sierra Peruana - LUTZ SCHOLZ

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

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right) \dots\dots\dots (20)$$

Siendo:

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

a_i = coeficiente de abastecimiento (%)

R = retención de la cuenca (mm/año)

3.3.3.11 Caudal mensual para un año promedio

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

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad \dots\dots\dots (21)$$

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)

3.3.3.12. Generación de caudales para periodos 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 (19) con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación (22):

$$Q_t = f(Q_{t-1})$$

$$Q = g(PE_t)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria.

$$Z = z(S)\sqrt{(1-r^2)} \quad \dots\dots\dots (22)$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_t) + z(S)\sqrt{1-r^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

Donde:

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

PE_t = Precipitación efectiva del mes

B_1 = Factor constante o caudal básico.

Se calcula los parámetros B_1 , B_2 , B_3 , 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).

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

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

3.3.3.13. Test Estadísticos

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

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

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.

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) .

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al aplicar la metodología descrita en el capítulo anterior y así como su discusión, se presentan a continuación.

4.1. De la Información meteorológica

La variable que se emplea en el presente estudio es la precipitación total mensual, esta información es obtenida a través de Proyecto Especial de Lago Titicaca (PELT), el mismo que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se va a emplear información pluviométrica de 06 estaciones meteorológicas: Pampahuta, Quillisani, Lagunillas-Santa Lucia, Cabanillas, Lampa y Juliaca, todas ellas son de tipo climatológica ordinaria (CO).

Para el presente estudio, para tener un mejor análisis de la consistencia de la información, se ha dividido en 03 grupos de estaciones meteorológicas, considerando que las estaciones tengan altitudes similares, sean cuencas vecinas y tengan un comportamiento hidrológico similar.

La agrupación de estaciones meteorológica se presenta a continuación:

- Grupo N° 1: Están las estaciones de Pampahuta y Quillisani, los mismos que se ubican en la parte alta de la cuenca del rio Coata, son estaciones vecinas que tienen de algún modo el mismo comportamiento hidrológico.
- Grupo N° 2: En este grupo están las estaciones de Santa Lucia y Cabanillas, estas estaciones se ubican en la parte media y baja de la cuenca y también son asociados por ser estaciones vecinas.

- Grupo N° 3: En este grupo están las estaciones de Juliaca y Lampa, estas estaciones se ubican en la parte media y baja de la cuenca y también son asociados por ser estaciones vecinas.

El periodo de registro de la información pluviométrica, varía desde el año 1966 al 2010, los mismos que se presentan en los Cuadro 11 al 16.

Cuadro 11: Precipitación total mensual (mm) – estación pampahuta.

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1966	89.4	178.5	63.5	13.0	40.0	0.0	0.0	0.0	3.7	30.1	98.7	103.4
1967	77.2	94.0	211.1	29.8	19.2	0.6	12.1	8.3	39.9	35.3	16.5	133.7
1968	179.5	213.3	112.8	19.2	12.0	3.4	5.8	3.9	24.1	30.5	148.2	83.9
1969	152.6	89.6	65.1	34.4	0.0	0.0	6.4	1.0	17.7	26.3	75.8	111.4
1970	157.4	140.5	169.6	49.7	15.6	3.4	0.0	5.4	14.2	31.8	7.5	209.1
1971	151.7	259.4	117.7	27.4	4.2	5.9	0.0	4.7	1.8	11.2	43.4	191.1
1972	244.3	79.1	168.0	39.6	0.3	0.0	0.0	1.9	23.7	44.3	61.2	93.2
1973	279.6	210.4	124.7	108.3	25.1	2.9	12.8	14.1	45.6	19.4	78.7	142.5
1974	208.0	262.6	109.5	27.9	0.3	6.6	0.6	49.2	9.4	18.2	13.7	110.6
1975	232.5	237.2	144.7	47.1	23.1	1.4	0.0	1.8	2.2	31.0	50.5	171.3
1976	207.2	110.4	162.5	22.0	23.8	1.5	2.3	20.0	51.2	2.2	5.7	72.8
1977	106.8	182.5	150.4	8.6	2.3	0.0	3.7	0.0	20.4	29.0	122.9	85.0
1978	310.5	98.7	83.6	50.4	0.3	1.9	0.6	0.4	13.0	30.5	117.0	145.7
1979	188.3	123.1	100.9	34.8	1.3	0.0	2.4	5.0	1.2	59.3	122.8	103.3
1980	115.1	73.7	245.5	10.4	2.5	0.2	3.9	5.9	21.3	89.3	28.6	41.4
1981	204.0	212.5	159.7	77.9	1.4	0.0	0.0	39.7	3.8	23.0	59.4	159.1
1982	168.2	81.8	139.8	51.7	5.2	0.5	0.0	1.4	31.0	68.4	145.4	28.7
1983	83.6	53.0	53.8	50.6	20.7	3.3	0.0	1.0	16.2	16.8	2.9	86.1
1984	259.1	254.3	205.3	22.1	11.6	0.8	0.9	23.4	0.0	105.3	141.8	166.8
1985	81.8	210.0	168.1	101.2	62.5	14.3	0.0	0.8	3.2	16.8	162.9	162.5
1986	168.8	276.8	189.9	145.3	4.5	0.0	0.0	6.7	14.6	21.6	47.7	196.5
1987	229.1	25.0	54.2	8.9	0.6	2.4	25.2	1.4	1.5	35.4	84.5	45.5
1988	186.0	69.9	214.0	110.3	0.5	0.0	0.0	0.0	15.9	19.1	4.5	105.5
1989	175.2	100.5	131.8	68.9	5.0	10.2	1.2	5.4	2.1	12.9	48.8	78.1
1990	160.5	67.1	59.9	36.8	7.1	37.5	0.0	7.5	4.1	93.5	116.7	91.4
1991	205.6	119.3	146.2	58.3	5.8	31.1	3.1	0.0	18.6	29.4	28.6	102.4
1992	96.5	142.3	26.2	9.4	0.0	2.2	0.0	51.5	0.0	30.3	55.0	81.6
1993	246.2	62.0	138.2	52.5	4.6	1.8	0.0	19.3	1.6	108.2	114.5	175.1
1994	224.8	168.1	127.6	86.3	23.4	1.1	0.0	0.0	15.1	12.9	108.3	165.4
1995	115.4	151.5	120.9	40.8	1.1	0.0	0.0	2.6	14.8	15.1	64.2	142.8
1996	254.5	164.2	73.5	73.0	21.5	0.0	27.9	18.8	18.8	3.0	93.2	228.3
1997	220.1	185.5	100.3	55.4	9.1	0.0	0.3	26.6	37.9	33.6	96.9	103.7
1998	154.6	159.8	103.4	29.7	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	31.8	88.1	45.0
1999	153.5	163.9	204.9	116.1	19.3	1.1	0.8	1.9	13.5	118.3	19.5	118.0
2000	202.1	258.8	181.6	23.3	9.4	3.9	0.4	7.7	5.1	89.7	9.9	136.1
2001	299.0	248.1	149.3	81.2	19.5	2.9	3.7	16.1	14.1	39.7	70.3	68.1
2002	152.6	240.7	111.0	75.2	17.0	2.0	27.4	4.3	10.1	76.8	92.9	170.5
2003	222.2	194.8	201.4	21.3	8.3	2.8	0.0	0.0	25.5	22.7	14.1	155.6
2004	226.8	162.8	55.8	75.3	0.0	0.6	11.7	13.2	26.6	14.7	32.3	102.1

2005	111.5	267.5	97.7	60.2	0.0	0.0	0.0	0.6	21.4	16.4	101.3	136.1
2006	179.4	165.0	163.7	65.3	1.8	0.0	0.0	9.1	31.4	46.7	110.3	89.4
2007	149.6	147.9	260.9	81.0	13.2	0.0	9.7	0.0	16.7	27.3	54.3	116.8
2008	196.3	68.2	84.2	5.8	0.5	3.9	0.0	0.2	3.3	42.2	35.9	212.2
2009	63.1	131.4	103.7	38.7	3.8	0.0	4.2	0.7	13.9	25.4	117.0	134.2
2010	223.1	215.7	113.9	57.3	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	49.2	151.9

Cuadro 12: Precipitación total mensual (mm) – estación quillisani

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1966	111.1	181.8	99.9	4.6	44.5	0.0	0.5	0.0	8.5	71.0	110.1	100.7
1967	85.7	128.6	222.0	30.2	23.0	2.0	11.6	10.3	49.3	68.3	5.6	110.8
1968	186.3	220.2	99.5	57.6	8.0	3.6	7.3	7.9	12.8	64.5	187.9	123.8
1969	161.7	116.6	63.0	72.3	0.0	0.9	8.9	1.2	17.0	45.4	72.3	139.7
1970	232.0	143.2	177.5	47.3	15.2	2.1	0.9	7.6	21.2	26.2	8.7	234.8
1971	138.1	262.7	100.9	13.6	3.4	5.7	0.0	8.1	0.2	5.1	48.2	187.0
1972	325.1	81.3	124.6	45.4	2.5	1.0	0.4	6.6	37.5	63.9	66.6	87.8
1973	249.6	226.5	173.8	89.7	33.6	0.8	16.6	12.9	40.0	32.4	93.9	134.4
1974	243.0	259.9	118.3	47.4	3.6	11.2	4.6	55.0	20.2	16.8	11.0	103.3
1975	224.9	236.4	185.6	35.5	37.1	5.5	0.0	0.4	5.6	32.9	39.8	200.7
1976	208.8	135.5	203.2	22.4	35.9	15.7	6.4	32.2	76.5	4.4	6.0	102.3
1977	108.3	244.9	168.9	4.1	2.6	0.0	4.5	0.0	17.7	22.0	100.2	65.8
1978	264.5	106.2	82.2	102.2	0.7	2.5	0.0	3.5	8.1	37.4	141.7	215.0
1979	257.6	143.5	141.6	54.7	0.0	0.0	9.2	10.7	0.0	63.0	95.1	150.3
1980	155.1	71.6	186.9	19.8	6.9	0.0	2.5	16.0	55.8	102.5	30.9	60.2
1981	174.1	188.3	208.4	94.7	0.0	0.0	0.0	79.4	32.2	53.1	70.1	156.7
1982	239.0	117.0	121.1	37.1	0.0	0.6	0.0	13.2	78.8	82.3	223.2	134.8
1983	64.9	13.7	2.1	1.5	4.3	3.1	0.0	5.1	0.2	2.7	4.9	26.3
1984	130.6	241.5	94.6	26.6	2.5	6.8	1.4	13.1	11.4	113.8	173.4	235.3
1985	103.5	281.9	125.7	196.6	32.5	15.1	0.0	5.9	27.7	13.5	137.0	196.4
1986	109.9	316.0	283.5	81.0	10.5	0.0	0.0	25.4	49.7	1.8	18.7	202.8
1987	106.0	138.0	139.1	21.2	7.3	16.9	26.0	8.6	4.1	41.5	127.4	92.6
1988	227.0	121.0	257.0	92.3	3.6	0.2	4.0	13.2	2.4	25.0	55.6	44.6

Fuente: SENAMHI -2010.

Cuadro 13: precipitación total mensual (mm) – estación santa lucia.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1966	57.6	167.4	106.4	11.6	52.2	0.0	0.0	0.0	6.2	50.0	60.0	70.0
1967	93.1	133.9	150.0	5.8	17.9	0.2	8.2	12.7	64.4	61.8	27.6	160.0
1968	113.0	152.0	105.0	15.8	15.0	3.0	4.9	0.0	23.6	42.0	170.5	95.8
1969	225.1	128.8	100.5	80.1	0.0	0.0	8.7	0.0	17.7	44.0	115.6	161.4
1970	227.6	241.2	156.6	20.3	45.2	0.0	0.0	2.5	17.4	43.7	3.5	276.0
1971	142.9	331.3	110.8	26.7	0.7	7.2	0.0	0.6	0.0	15.5	69.4	248.1
1972	327.4	230.4	160.0	25.2	0.7	0.0	0.0	0.0	46.5	40.8	54.6	104.6
1973	232.0	180.0	150.0	82.0	15.0	0.0	2.3	6.0	37.5	15.0	23.0	101.0
1974	278.0	240.0	64.0	50.0	1.2	6.0	0.0	65.0	22.0	12.0	30.0	82.0
1975	187.0	200.0	117.0	24.0	16.0	0.0	0.0	0.0	9.4	26.0	19.0	186.0
1976	196.0	120.0	122.0	18.5	1.5	1.0	4.8	10.0	54.0	2.0	9.0	73.0
1977	90.0	198.0	146.0	20.0	0.0	0.0	2.0	0.0	16.5	32.0	116.0	121.0
1978	250.0	112.0	90.0	48.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	18.0	94.2	138.0
1979	156.7	91.7	102.2	16.0	2.0	0.0	0.0	0.3	0.0	28.4	61.7	46.7
1980	67.3	76.0	162.7	4.9	0.0	0.0	0.0	0.9	21.5	102.2	10.3	67.3
1981	141.0	177.9	102.3	52.2	0.0	0.0	0.0	76.2	0.0	20.6	55.0	158.8
1982	149.7	65.4	125.7	35.8	0.0	0.0	0.0	1.0	32.2	64.9	183.2	13.7
1983	54.1	41.8	52.1	26.8	7.5	3.6	0.0	0.0	3.5	4.7	0.0	55.0
1984	114.2	139.6	120.3	30.7	19.8	6.4	8.8	0.2	18.9	16.9	52.0	128.6
1985	38.9	145.1	88.4	68.6	18.0	2.9	4.6	0.5	26.0	21.2	55.9	116.1
1986	126.8	140.4	121.4	28.6	17.8	5.7	7.8	0.5	6.9	4.4	25.0	205.0
1987	177.3	55.2	19.1	15.4	0.0	0.3	25.4	0.5	0.8	32.4	43.6	33.4
1988	195.5	67.5	207.6	68.1	11.6	0.0	0.0	0.0	2.0	30.9	0.4	77.0
1989	125.5	73.1	135.7	25.6	0.5	3.3	2.0	2.3	0.0	20.6	30.3	30.5
1990	181.1	59.2	31.1	26.6	2.6	50.8	0.0	17.9	0.0	28.3	117.0	68.2
1991	78.8	50.1	59.8	69.6	8.8	2.9	4.0	6.6	14.3	26.2	55.9	116.1
1992	189.4	72.4	190.8	46.7	6.8	5.8	0.0	1.4	-1.5	27.5	12.9	49.7
1993	130.3	65.4	75.3	26.2	0.9	21.7	1.8	9.1	1.7	22.9	71.0	50.3
1994	151.2	55.6	49.7	45.9	5.9	32.9	1.2	13.5	5.2	28.5	91.4	89.1
1995	113.7	59.4	115.7	60.8	7.8	0.0	2.7	3.4	8.6	25.9	33.1	88.4
1996	177.1	70.5	145.5	35.6	4.2	16.1	0.3	5.3	-1.5	26.0	40.0	46.1
1997	127.6	59.9	55.1	35.7	2.9	25.2	2.0	11.1	4.5	24.8	81.6	70.5
1998	143.5	57.8	84.6	52.9	7.1	19.6	1.6	9.1	6.0	27.9	64.9	88.2
1999	134.5	64.2	127.8	49.8	6.0	5.0	1.9	3.8	4.6	25.5	34.4	69.7
2000	162.5	66.2	106.7	34.5	3.6	22.3	0.8	8.3	0.4	25.8	60.2	55.4
2001	160.7	141.3	112.7	34.3	4.8	1.5	4.0	13.9	2.4	17.3	9.5	100.5
2002	92.3	163.8	134.7	87.7	15.1	0.0	24.3	5.6	2.3	29.4	98.6	119.0
2003	153.7	151.0	220.8	27.2	9.7	6.3	0.0	0.0	2.7	2.4	3.6	102.3

2004	171.1	155.0	86.2	60.8	0.0	0.0	12.2	12.9	0.0	10.0	29.0	69.9
2005	230.8	215.0	53.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	1.8	89.3	112.5
2006	252.9	112.9	173.1	46.6	0.0	1.8	0.0	0.0	5.5	14.5	83.0	102.2
2007	144.2	98.1	204.7	30.7	19.1	0.0	3.9	0.0	13.2	14.4	54.1	58.8
2008	243.8	55.6	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	26.3	13.9	285.3
2009	135.0	183.4	81.0	14.6	0.0	0.0	15.6	0.0	22.1	12.3	104.7	119.9
2010	174.2	193.3	52.2	34.6	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	45.1	176.1

Cuadro 14: Precipitación total mensual (mm) – estación cabanillas.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1966	73.5	156.2	81.5	3.1	31.0	0.0	0.0	1.0	9.5	21.9	49.0	60.7
1967	71.2	92.8	148.9	7.3	13.7	0.6	9.5	15.6	40.0	31.8	4.2	131.0
1968	95.7	168.5	52.4	8.7	16.1	3.9	2.2	0.0	21.6	41.9	135.7	56.1
1969	167.4	94.3	55.5	23.4	0.0	0.6	3.0	0.0	4.4	16.1	59.3	41.3
1970	86.7	121.4	144.9	25.7	3.6	0.0	0.0	0.0	13.3	24.8	11.9	124.4
1971	91.5	218.3	29.1	15.2	11.0	0.0	0.0	4.0	0.0	11.8	56.8	87.0
1972	224.8	85.9	181.9	36.3	6.2	0.0	0.0	0.6	32.0	32.2	33.8	92.9
1973	199.4	128.8	124.8	85.0	12.4	0.0	2.1	1.3	46.1	12.9	24.0	93.3
1974	240.5	232.3	76.5	53.6	0.0	0.0	0.0	53.2	27.6	20.5	48.1	87.4
1975	134.3	193.5	107.4	22.1	23.5	0.0	0.0	0.0	13.1	34.1	17.0	212.8
1976	165.1	135.6	130.6	18.4	2.0	1.9	1.3	3.9	41.8	4.3	9.7	65.1
1977	70.3	166.6	173.2	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	33.4	118.5	168.2
1978	267.8	155.5	117.8	37.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	14.2	72.5	160.8
1979	203.6	125.0	71.9	52.0	3.9	0.0	0.6	1.2	3.1	33.9	42.4	122.5
1980	60.8	84.7	168.4	8.1	4.9	0.0	1.8	32.7	38.6	51.7	57.0	46.3
1981	125.3	148.8	161.2	47.9	0.0	0.0	1.0	22.2	10.0	18.6	36.7	36.6
1982	103.7	116.0	112.2	37.5	7.0	1.0	2.5	6.5	48.2	90.5	35.5	23.0
1983	26.0	32.0	17.5	8.1	6.0	2.8	0.0	3.0	9.0	15.0	30.5	69.0
1984	212.8	237.1	126.0	33.5	21.4	0.0	3.0	9.0	7.5	41.5	89.4	71.5
1985	115.5	180.6	95.5	96.7	6.0	22.0	0.0	3.0	30.5	38.0	100.0	142.5
1986	131.2	234.1	168.7	95.7	1.3	0.0	11.0	1.5	26.0	6.5	31.4	134.7
1987	158.8	79.1	54.6	9.7	0.0	0.9	7.6	1.5	9.0	27.7	111.6	69.6
1988	273.6	93.2	155.4	67.2	17.4	0.0	0.0	0.0	21.9	56.0	0.0	142.8
1989	194.6	52.8	91.8	88.4	0.0	1.4	0.0	4.8	6.0	3.3	40.0	53.6
1990	172.5	23.4	49.2	13.5	2.4	34.3	0.0	9.8	1.0	112.6	130.0	101.9
1991	106.4	144.1	115.2	70.1	5.8	35.6	0.0	0.0	6.3	13.8	27.4	59.6
1992	106.8	75.1	28.5	8.5	0.0	2.7	2.2	31.1	0.0	47.5	27.2	64.9
1993	147.2	67.8	96.3	69.5	3.0	0.0	0.0	26.3	9.5	113.4	83.0	117.4
1994	133.8	105.2	162.1	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	14.3	51.2	98.0
1995	125.8	70.6	100.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.2	16.6	9.9	32.8	55.3
1996	206.3	102.8	56.4	37.7	1.9	0.0	2.0	17.6	10.3	14.3	57.8	165.6
1997	158.5	242.8	160.0	75.1	3.7	0.0	0.0	22.4	46.5	38.0	103.3	88.4
1998	152.0	168.4	110.3	16.9	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	47.7	61.6	42.7
1999	95.0	116.9	112.3	104.4	5.4	0.0	1.8	1.8	21.9	104.0	3.0	95.3
2000	134.6	221.9	133.3	31.7	0.6	0.0	0.0	6.9	15.8	118.3	13.5	110.4
2001	273.9	224.6	78.2	63.9	11.5	0.8	0.4	52.6	36.9	71.3	21.6	16.7
2002	93.7	166.9	160.5	125.7	28.7	6.2	16.0	22.9	8.8	116.3	78.0	105.3
2003	217.2	92.5	116.7	22.1	10.8	2.6	0.0	0.9	16.9	14.0	68.1	136.2
2004	193.0	100.1	81.6	34.2	0.5	0.5	7.7	18.4	12.8	2.9	27.4	58.2
2005	75.3	265.7	84.0	49.7	0.0	0.0	0.0	0.5	5.8	30.6	70.6	79.9
2006	230.2	107.3	141.3	49.9	0.0	0.7	0.0	2.8	44.2	38.0	60.2	69.0
2007	68.1	105.4	168.6	67.5	2.4	0.0	0.8	0.0	75.4	40.6	97.6	83.9
2008	271.6	74.5	65.1	6.3	0.0	0.2	0.0	0.6	1.8	34.9	70.1	153.5
2009	88.8	119.7	111.4	24.6	0.0	0.0	1.6	0.5	1.4	28.4	152.8	91.2
2010	147.8	125.3	66.7	28.4	9.6	2.7	1.8	8.8	18.8	38.5	55.7	92.9

Fuente: SENAMHI – 2010.

Cuadro 15: Precipitación total mensual (mm) – estación lampa.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1966	31.0	107.0	53.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	31.7	61.2	87.1
1967	67.6	111.7	128.8	14.3	13.5	0.6	4.9	5.2	61.6	58.5	11.8	168.5
1968	97.9	199.4	73.4	54.0	4.4	2.2	5.8	3.0	27.0	53.1	145.5	67.6
1969	172.5	75.7	32.9	45.5	0.0	2.8	3.2	0.0	5.8	62.2	58.7	63.4
1970	142.9	107.7	126.3	39.2	8.6	0.0	0.0	0.0	5.9	27.7	21.4	112.7
1971	97.8	184.3	36.0	19.4	0.0	0.0	0.0	8.4	0.5	32.6	42.9	144.4
1972	239.3	89.0	149.6	17.6	0.8	0.0	0.0	0.0	23.1	11.1	77.5	80.0
1973	213.1	158.1	121.1	89.8	7.6	0.0	2.0	3.3	43.8	81.6	38.1	61.6
1974	222.4	107.2	64.6	36.4	0.0	8.7	1.3	71.1	18.2	24.0	44.7	78.9
1975	157.7	178.1	113.8	18.1	30.5	0.8	0.0	3.8	14.8	43.6	10.9	82.9
1976	187.2	100.0	55.2	15.0	19.1	4.0	0.3	9.3	88.2	0.0	11.0	111.3
1977	71.0	167.0	208.5	11.5	0.0	0.0	1.0	0.0	29.0	75.2	124.0	168.7
1978	414.2	176.0	145.5	71.0	0.0	1.5	0.0	3.5	22.0	28.7	123.0	209.6
1979	192.5	76.9	161.9	45.7	3.3	0.0	0.0	6.2	0.0	38.8	57.9	136.5
1980	86.5	95.5	176.5	5.0	5.9	0.0	0.0	15.5	80.0	65.0	73.5	54.0
1981	190.5	145.5	136.1	48.5	0.0	0.0	0.0	28.0	46.5	33.9	56.5	173.5
1982	166.5	101.5	140.0	148.5	0.0	2.5	0.0	6.5	77.5	48.2	131.0	39.5
1983	23.0	281.4	24.5	13.0	8.5	4.5	0.0	4.5	32.5	44.0	26.5	43.5
1984	392.2	306.1	164.1	83.0	21.0	0.0	0.0	13.0	0.0	137.3	240.3	263.7
1985	156.1	433.3	146.5	182.2	10.0	37.0	0.0	9.5	33.7	56.0	145.4	158.4
1986	131.6	186.7	142.4	64.2	3.6	0.0	1.4	15.1	23.5	10.4	38.9	122.0
1987	202.0	76.3	27.1	25.8	4.0	1.8	19.2	0.0	4.2	29.6	146.6	101.4
1988	194.5	56.5	160.5	117.3	21.7	0.0	0.1	0.0	11.9	39.7	2.9	146.2
1989	131.4	82.0	111.5	63.2	0.5	2.6	0.8	4.9	2.6	9.1	41.9	49.7
1990	89.7	61.7	31.3	18.9	13.9	43.1	0.0	9.0	2.9	92.7	96.7	91.8
1991	138.7	107.0	90.5	38.2	23.5	40.0	0.8	0.0	8.5	59.4	26.6	82.9
1992	86.4	76.2	33.5	31.4	0.0	2.8	1.4	63.4	0.5	49.2	61.0	111.1
1993	155.3	18.2	140.1	24.6	9.6	0.2	0.0	26.9	13.4	66.0	74.6	135.7
1994	164.0	148.2	105.0	58.1	1.5	0.7	0.0	0.0	4.5	17.6	51.8	85.2
1995	107.8	94.9	94.2	23.7	0.8	0.0	0.0	5.8	19.7	18.7	55.3	61.8
1996	196.0	101.6	108.4	23.6	16.5	0.0	1.8	2.5	22.1	13.5	74.1	149.3
1997	149.4	177.8	147.1	68.9	3.9	0.0	0.0	19.0	42.9	39.9	113.2	95.6
1998	105.0	154.4	104.0	25.8	0.0	2.0	0.0	0.0	0.2	44.9	69.9	62.1
1999	152.7	97.8	143.4	123.0	5.3	1.8	0.0	0.8	32.7	105.5	17.6	63.5
2000	173.7	113.5	130.3	52.7	7.1	6.2	0.0	7.4	14.5	57.1	9.9	114.2
2001	249.7	188.3	114.6	29.5	10.6	2.9	2.2	8.1	4.0	57.5	46.1	73.7
2002	121.8	76.5	139.4	67.6	21.7	4.0	18.7	9.1	16.4	83.3	92.6	177.4
2003	203.3	136.2	139.1	18.3	5.2	3.2	0.0	1.5	30.9	9.1	23.7	132.1
2004	266.6	144.1	101.0	38.9	9.3	2.0	2.3	19.2	26.5	21.6	16.8	100.0
2005	100.6	278.3	116.5	49.6	7.3	0.0	1.7	0.0	22.4	75.3	54.3	164.6
2006	188.2	109.5	122.9	19.8	0.7	3.3	0.0	0.2	20.1	52.1	79.7	95.7
2007	81.5	67.8	258.4	83.5	14.0	0.5	6.7	10.0	16.2	27.4	93.3	93.8
2008	226.9	64.8	74.6	3.4	1.7	1.2	0.0	1.4	3.3	54.6	23.4	168.3
2009	102.2	190.3	153.4	40.2	0.8	0.0	0.0	0.0	4.6	35.2	77.8	83.8
2010	118.9	144.2	71.6	26.8	12.4	4.2	1.7	9.0	22.2	46.0	65.7	110.6

Cuadro 16: Precipitación total mensual (mm) – estación juliaca

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	141.6	115.5	105.4	28.3	5.2	1.3	3.3	5.3	10.00	71.50	27.50	63.10
2002	73.0	158.4	119.5	54.2	24.0	3.4	19.4	16.7	15.1	143.1	75.5	99.9
2003	177.5	80.1	121.3	10.7	4.3	4.4	1.1	0.6	38.2	16.9	28.1	162.9
2004	238.4	96.3	69.4	28.2	0.0	0.2	1.5	24.3	38.5	7.2	17.6	97.2
2005	80.6	242.9	100.1	46.7	0.0	0.0	0.0	1.8	16.0	82.9	57.2	92.6
2006	207.4	50.8	101.3	20.7	0.8	2.0	0.0	1.5	23.8	61.6	77.6	73.8
2007	92.4	43.7	235.0	66.1	3.6	0.2	6.5	0.8	18.2	30.1	84.6	66.6
2008	220.8	69.1	58.5	6.2	0.6	1.0	0.0	1.1	1.8	61.3	37.1	193.2
2009	85.9	170.3	95.9	13.7	0.0	0.0	1.0	0.2	8.1	51.2	83.8	89.5
2010	98.7	127.6	48.0	7.8	13.8	0.4	0.4	0.4	0.4	25.6	19.9	98.6

Fuente: SENAMHI-2010.

4.1.1. Del análisis de consistencia de la información pluviografica

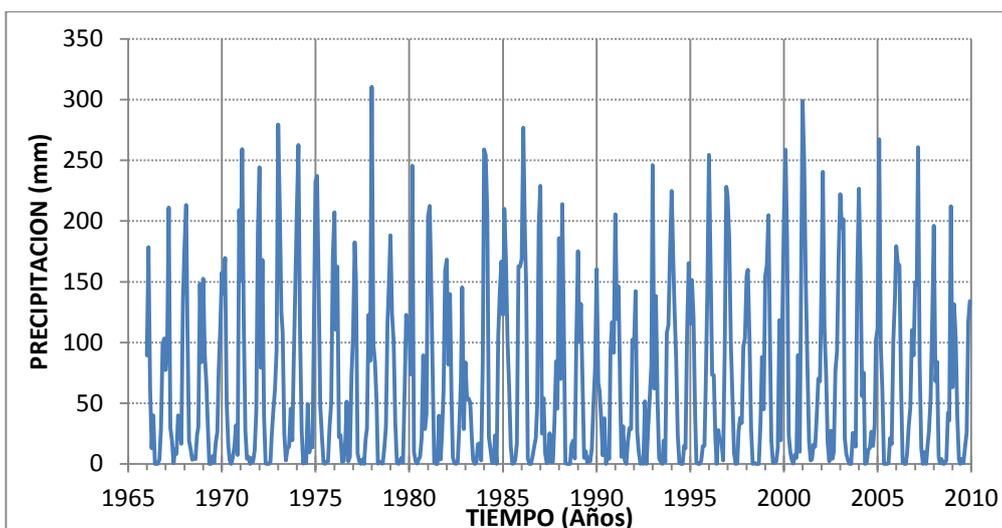
Este análisis se realizó para comprobar si existen o no saltos en las series históricas de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Pampahuta, Quillisani, Santa Lucia, Cabanillas, Lampa y Juliaca.

- **El presente análisis se realiza para Determinar y calibrar los caudales medios mensuales del rio Coata .**

a. Análisis visual de histogramas

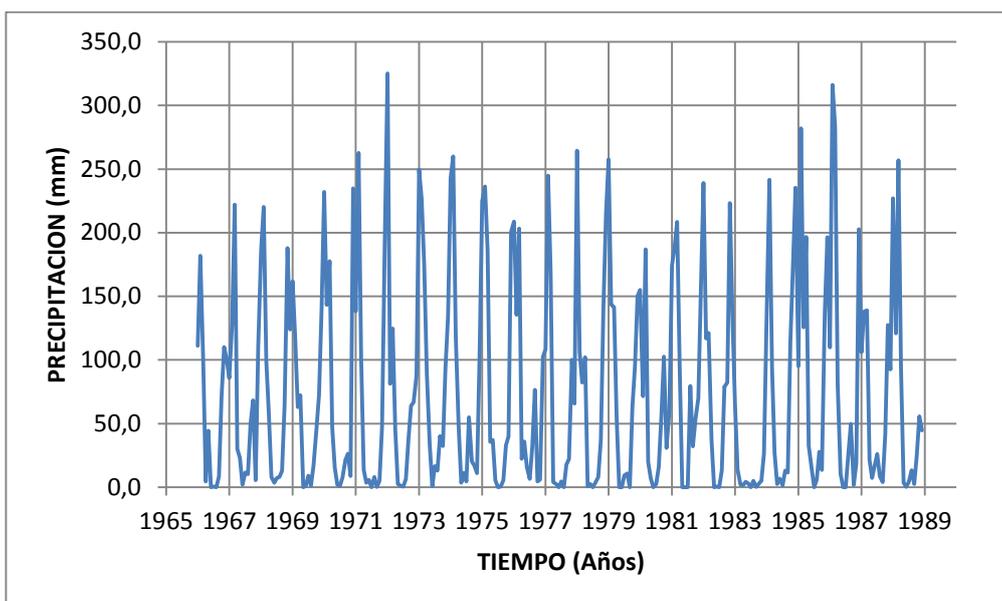
En el gráfico 5, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Pampahuta, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1966 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 310.0 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

Grafica 5: Histograma de precipitación total mensual (mm)



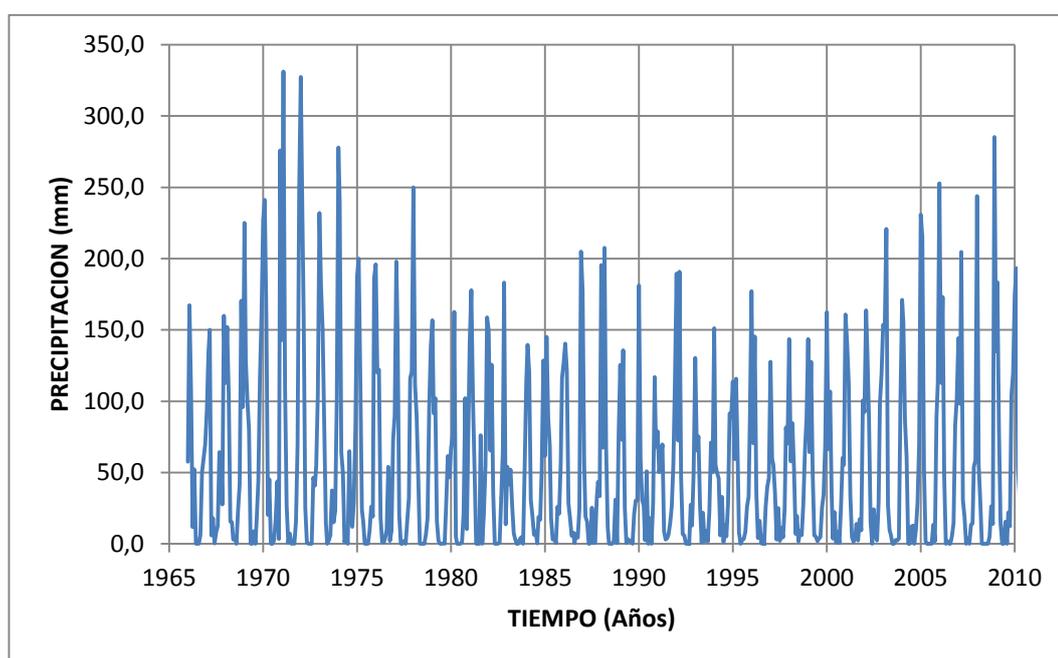
En el grafico 6, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Quillisani, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1966 al 1988, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 325.1 mm; visualmente se puede observar en el grafico que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

Grafica 6: Histograma de precipitación total mensual (mm)



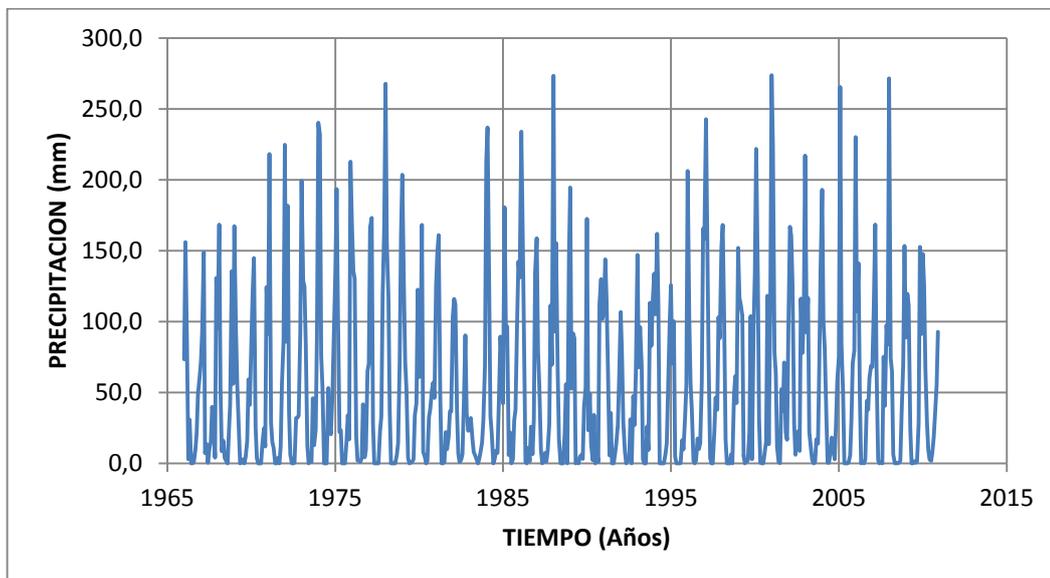
En el grafico 7, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Santa Lucia, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1966 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 331.3 mm; visualmente se puede observar en el grafico que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

Grafica 7: Histograma de precipitación total mensual (mm)



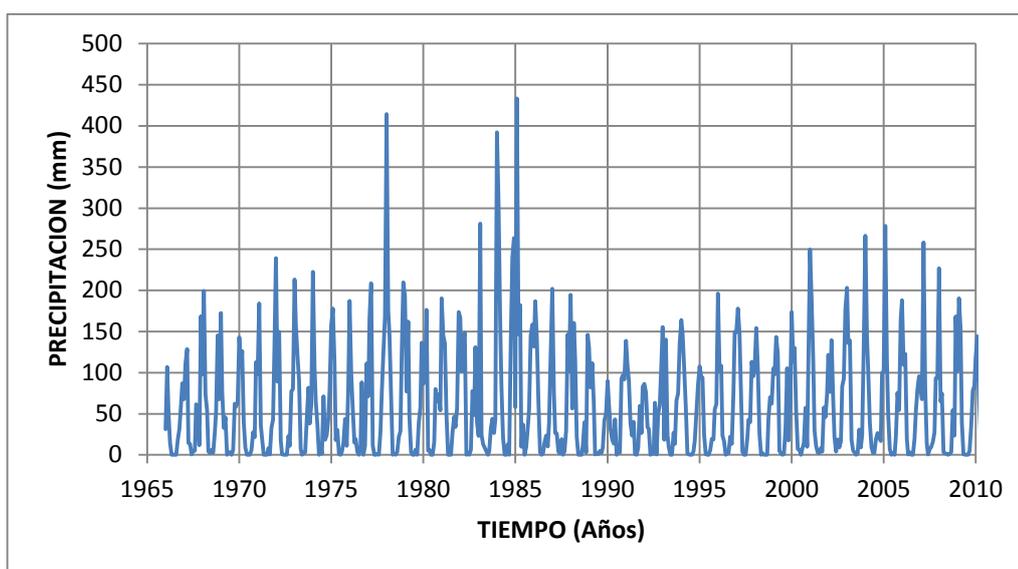
En el grafico 18, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Cabanillas, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1966 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 273.9 mm; visualmente se puede observar en el grafico que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

Grafica 8: Histograma de precipitación total mensual (mm) estación cabanillas – periodo (1966 – 1910)



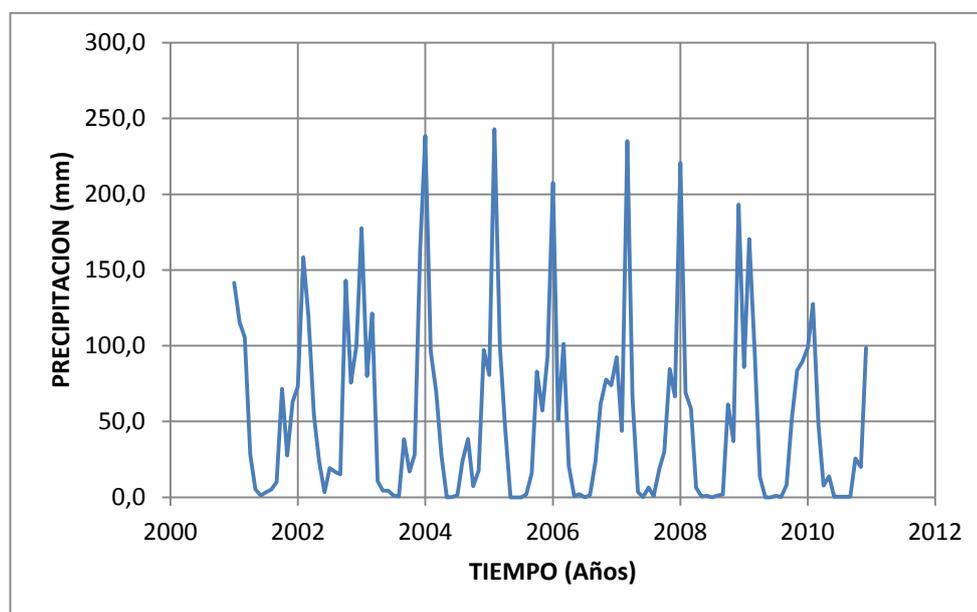
En el grafico 9, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Lampa, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1966 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 414.2 mm; visualmente se observa en el grafico que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

Grafica 9: Histograma de precipitación total mensual (mm)



En el gráfico 10, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Juliaca, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 2001 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 242.9 mm; visualmente se puede observar en el gráfico que no hay presencia de saltos; para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

Gráfica 10: Histograma de precipitación total mensual (mm)



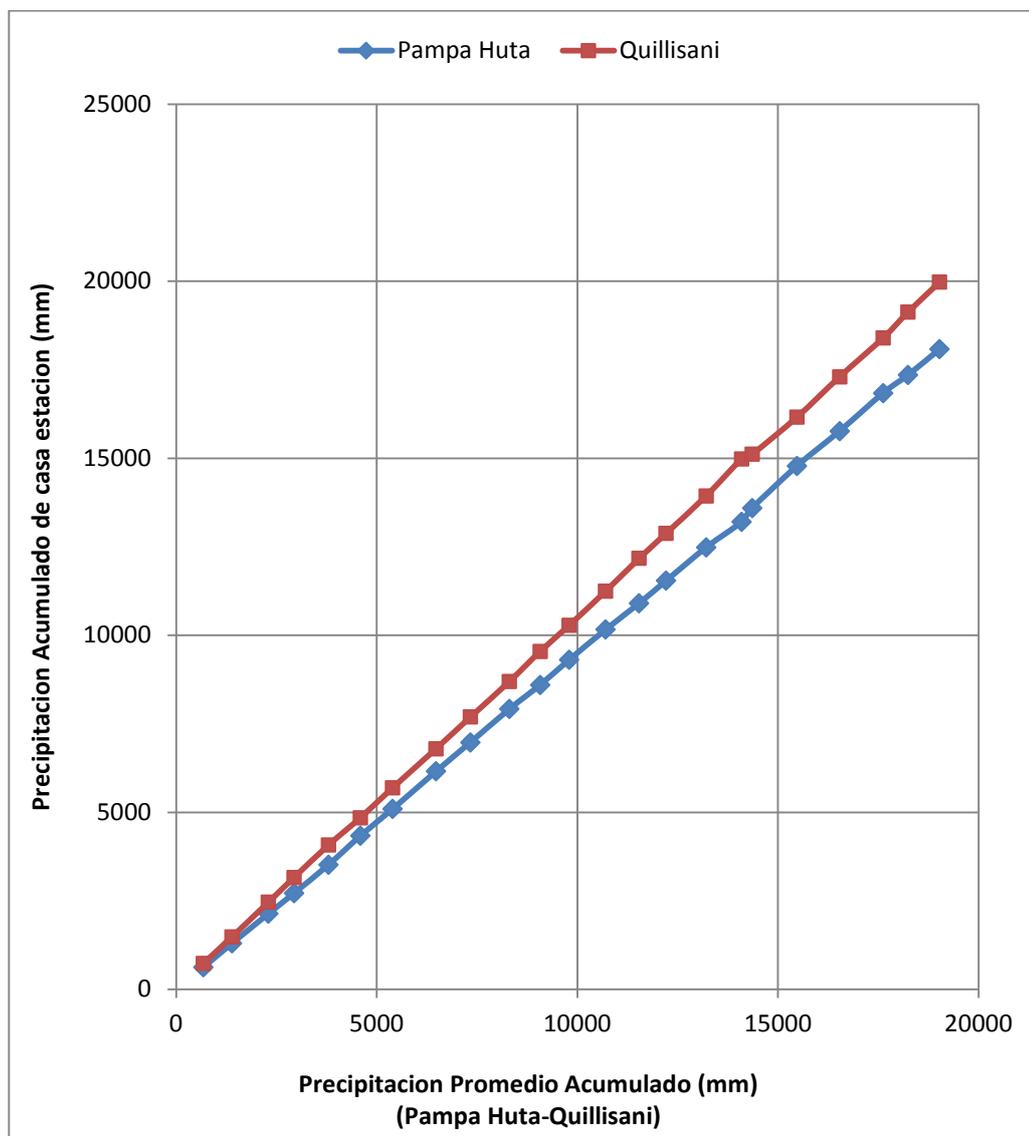
b. Análisis de doble masa

En el cuadro 17, se presentan los datos de precipitación anual promedio acumulada de las estaciones Pampa Huta y Quillisani y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación. En el gráfico 11, se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones Pampa Huta y Quillisani; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las dos estaciones estudiadas no presentan quiebres; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Pampa Huta y Quillisani son consistentes, en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico.

Cuadro 17: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones del grupo 1: pampa huta y quillisani.

PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)			PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)		
AÑO	PAMPA HUTA	QUILLISANI	PROMEDIO	PAMPA HUTA	QUILLISANI
1966	620.3	732.7	676.5	620.3	732.7
1967	677.7	747.4	1389.1	1298.0	1480.1
1968	836.6	979.4	2297.1	2134.6	2459.5
1969	580.3	699.0	2936.7	2714.9	3158.5
1970	804.2	916.7	3797.2	3519.1	4075.2
1971	818.5	773.0	4592.9	4337.6	4848.2
1972	755.6	842.7	5392.1	5093.2	5690.9
1973	1064.1	1104.2	6476.2	6157.3	6795.1
1974	816.6	894.3	7331.7	6973.9	7689.4
1975	942.8	1004.4	8305.3	7916.7	8693.8
1976	681.6	849.3	9070.7	8598.3	9543.1
1977	711.6	739.0	9796.0	9309.9	10282.1
1978	852.6	964.0	10704.3	10162.5	11246.1
1979	742.4	925.7	11538.4	10904.9	12171.8
1980	637.8	708.2	12211.4	11542.7	12880.0
1981	940.5	1057.0	13210.1	12483.2	13937.0
1982	722.1	1047.1	14094.7	13205.3	14984.1
1983	388.0	128.8	14353.1	13593.3	15112.9
1984	1191.4	1051.0	15474.3	14784.7	16163.9
1985	984.1	1135.8	16534.3	15768.8	17299.7
1986	1072.4	1099.3	17620.1	16841.2	18399.0
1987	513.7	728.7	18241.3	17354.9	19127.7
1988	725.7	845.9	19027.1	18080.6	19973.6

Grafica 11: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones pampahuta y quillisani – (grupo 01)

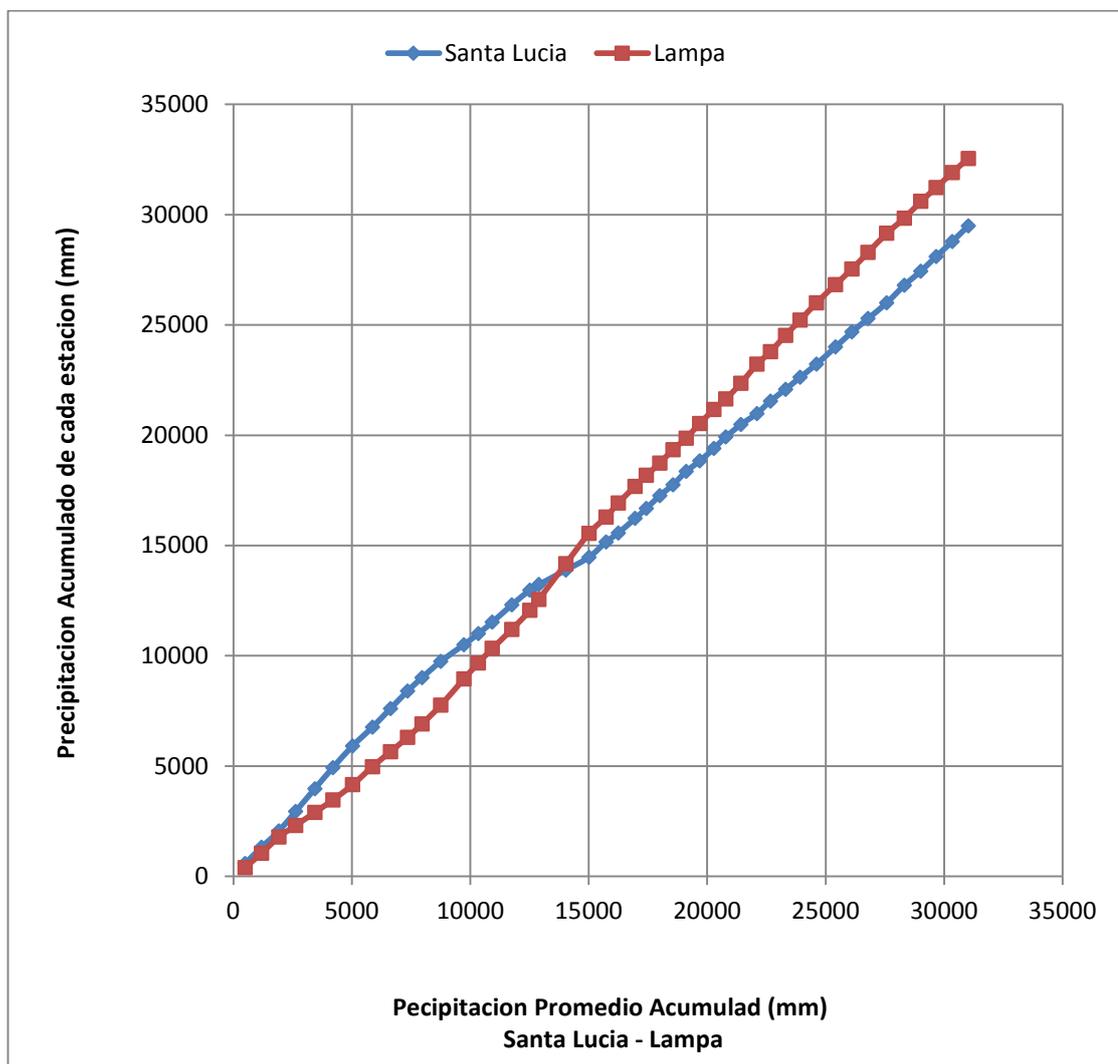


En el cuadro 18, se presentan los datos de precipitación promedio total anual acumulada de las estaciones Santa Lucía y Lampa, y la información de precipitación total anual acumulada de cada estación. En el gráfico 12, se muestran los diagramas de doble masa de las series de precipitación total mensual de las estaciones Santa Lucía y Lampa; en ella se puede observar que las líneas de doble masa de las dos estaciones presentan quiebres; en consecuencia es necesario realizar el análisis estadístico.

Cuadro 18: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones santa lucia y lampa. (grupo 02)

Año	PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)		PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)		
	Santa Lucia	Lampa	PROMEDIO	Santa Lucia	Lampa
1966	581.4	403.3	492.4	581.4	403.3
1967	735.6	647.0	1183.7	1317.0	1050.3
1968	740.6	733.3	1920.6	2057.6	1783.6
1969	881.9	522.7	2622.9	2939.5	2306.3
1970	1034.0	592.4	3436.1	3973.5	2898.7
1971	953.2	566.3	4195.9	4926.7	3465.0
1972	990.2	688.0	5035.0	5916.9	4153.0
1973	843.8	820.1	5866.9	6760.7	4973.1
1974	850.2	677.5	6630.8	7610.9	5650.6
1975	784.4	655.0	7350.5	8395.3	6305.6
1976	611.8	600.6	7956.7	9007.1	6906.2
1977	741.5	855.9	8755.4	9748.6	7762.1
1978	757.0	1195.0	9731.4	10505.6	8957.1
1979	505.7	719.7	10344.1	11011.3	9676.8
1980	513.1	657.4	10929.3	11524.4	10334.2
1981	784.0	859.0	11750.8	12308.4	11193.2
1982	671.6	861.7	12517.5	12980.0	12054.9
1983	249.1	505.9	12895.0	13229.1	12560.8
1984	656.4	1620.7	14033.5	13885.5	14181.5
1985	586.2	1368.1	15010.6	14471.7	15549.6
1986	690.3	739.8	15725.7	15162.0	16289.4
1987	403.4	638.0	16246.4	15565.4	16927.4
1988	660.6	751.3	16952.3	16226.0	17678.7
1989	449.4	500.2	17427.1	16675.4	18178.9
1990	582.8	551.7	17994.4	17258.2	18730.6
1991	493.1	616.1	18549.0	17751.3	19346.7
1992	601.8	516.9	19108.4	18353.1	19863.6
1993	476.6	664.6	19679.0	18829.8	20528.2
1994	570.1	636.6	20282.3	19399.8	21164.8
1995	519.6	482.7	20783.5	19919.5	21647.5
1996	565.0	709.4	21420.7	20484.5	22356.9
1997	500.6	857.7	22099.9	20985.1	23214.6
1998	563.3	568.3	22665.6	21548.4	23782.9
1999	527.2	744.1	23301.3	22075.6	24527.0
2000	546.7	686.6	23917.9	22622.2	25213.6
2001	602.9	787.2	24613.0	23225.1	26000.8
2002	772.8	828.5	25413.6	23997.9	26829.3
2003	679.7	702.6	26104.8	24677.6	27531.9
2004	607.1	748.3	26782.5	25284.7	28280.2
2005	718.7	870.6	27577.1	26003.4	29150.8
2006	792.5	692.2	28319.5	26795.9	29843.0
2007	641.2	753.1	29016.6	27437.1	30596.1
2008	660.4	623.6	29658.6	28097.5	31219.7
2009	688.6	688.3	30347.1	28786.1	31908.0
2010	701.8	633.2	31014.6	29487.9	32541.2

Grafica 12: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones santa lucia y lampa. (grupo 02)

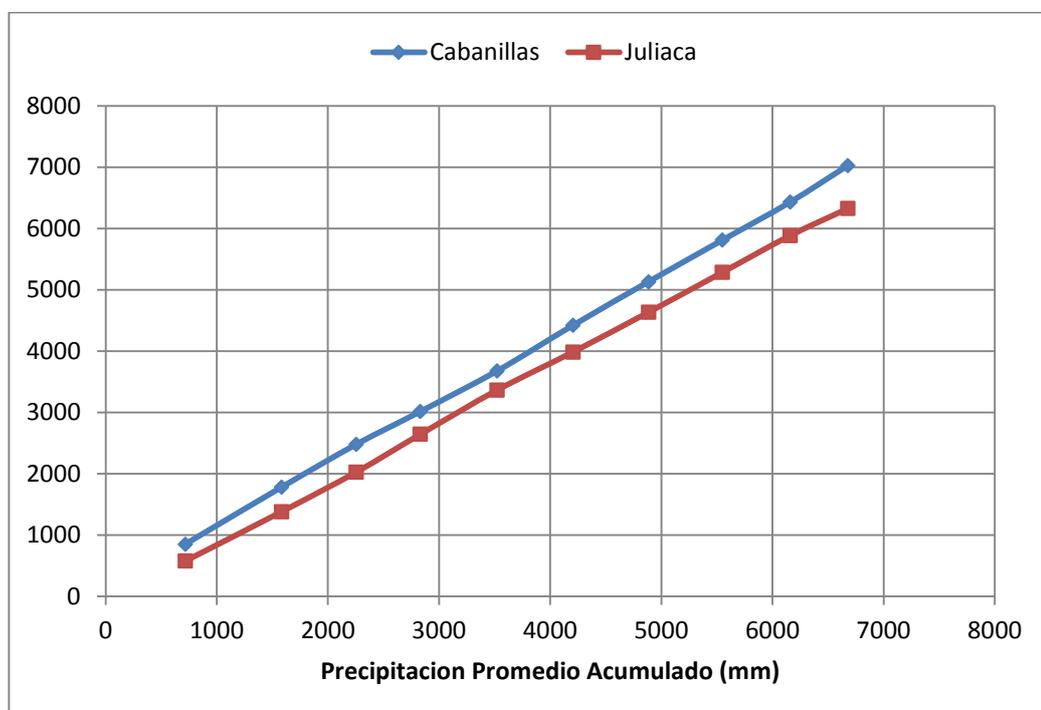


En el cuadro 19, se presentan los datos de precipitación promedio anual acumulada de las estaciones Cabanillas y Juliaca y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación. En el gráfico 13, se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones Cabanillas y Juliaca; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las dos estaciones estudiadas no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Cabanillas y Juliaca son consistentes, no es necesario realizar el análisis estadístico.

Cuadro 19: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones cabanillas y juliaca. (grupo 03)

PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)			PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)		
Año	Cabanillas	Juliaca	PROMEDIO	Cabanillas	Juliaca
2001	852.4	578.0	715.2	852.4	578.0
2002	929.0	802.2	1580.8	1781.4	1380.2
2003	698.0	646.1	2252.9	2479.4	2026.3
2004	537.3	618.8	2830.9	3016.7	2645.1
2005	662.1	720.8	3522.4	3678.8	3365.9
2006	743.6	621.3	4204.8	4422.4	3987.2
2007	710.3	647.8	4883.9	5132.7	4635.0
2008	678.6	650.7	5548.5	5811.3	5285.7
2009	620.4	599.6	6158.5	6431.7	5885.3
2010	596.9	441.6	6677.8	7028.6	6326.9

Grafica 13: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones cabanillas y juliaca. (grupo 03)



c. Análisis estadístico

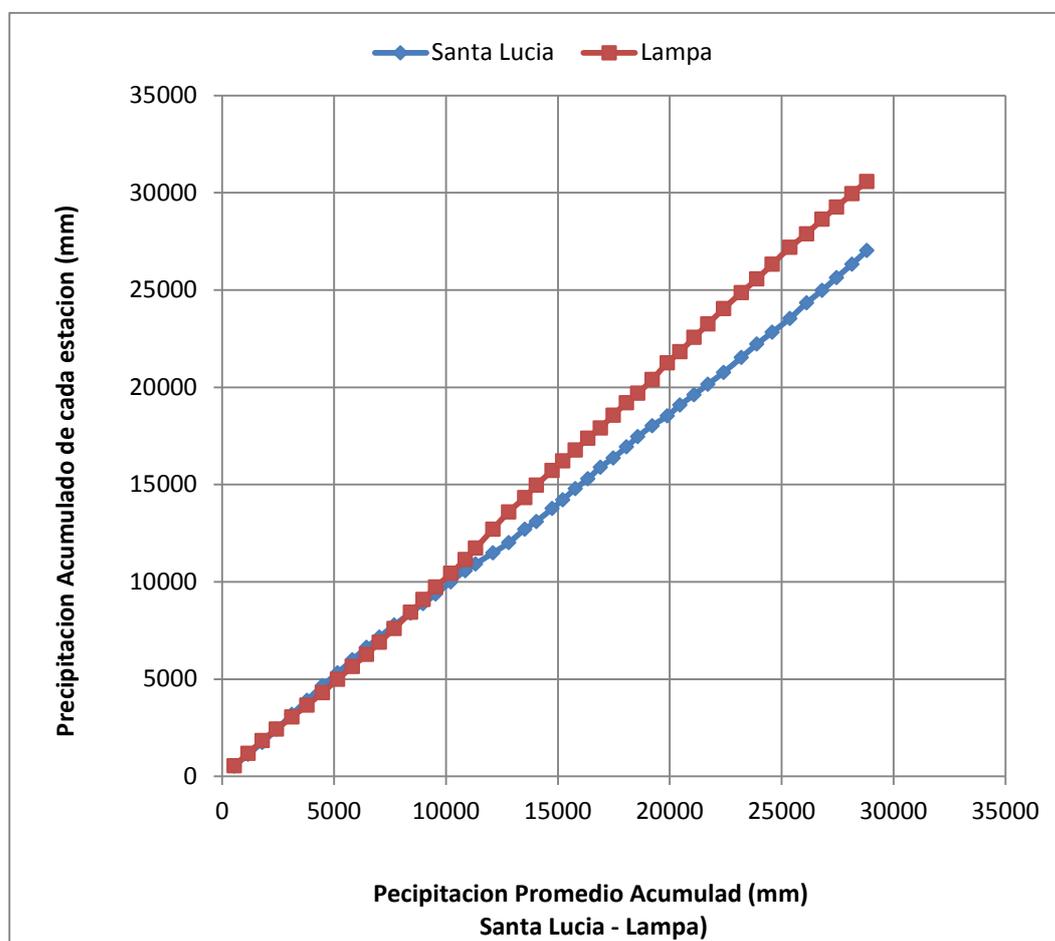
Como en los diagramas de doble masa de las estaciones Santa Lucía y Lampa presentan quiebres, luego de aplicar la metodología para realizar el análisis estadístico indicada en el capítulo anterior, se obtiene los siguientes resultados.

Cuadro 20: Resultados del análisis estadístico

Parámetro	Estación Lampa		Estación Santa Lucía	
	1er periodo	2do periodo	1er periodo	2do periodo
N datos	20	25	20	25
Media	777.5	679.7	723.6	600.6
Varianza	90233.5	11082.9	34771	9959.1
Sp	214.6		144.6	
Sd	64.38		43.39	
T calculado	1.52		2.83	
T tabular	1.68		1.68	
Conclusión	No existe salto en la media		Existe salto en la media	
F calculado	8.14		3.49	
F tabular	2.12		2.12	
Conclusión	Existe salto en la Desv. Est.		Existe salto en la Desv. Est.	

Analizando los resultados del análisis estadístico que se presentan en el cuadro 20, se puede observar que existen saltos en la media y en la desviación estándar en ambas series; en consecuencia se tienen que corregir los datos de ambas series; como el primer periodo es el más corto, se corrige este periodo para las series de las estaciones Santa Lucía y Lampa, cuyos resultados se presentan en el cuadro 7-16 del Anexo. En la gráfica 14, se muestra el análisis de doble masa con los datos corregidos para las estaciones de Santa Lucía y Lampa, en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las dos estaciones estudiadas no presentan quiebres; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones anuales de las estaciones Santa Lucía y Lampa son consistentes.

Grafica 14: Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Santa Lucia y Lampa con datos corregidos.



4.2. De la Generación de caudales medios mediante el modelo LUTZ SCHOLZ

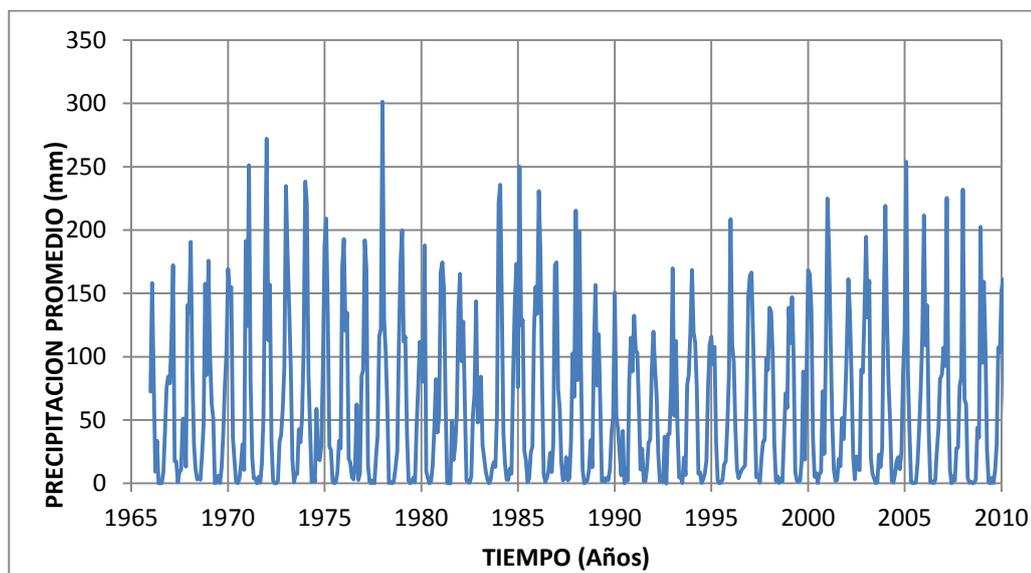
4.2.1. Precipitación media mensual de la cuenca

En el Cuadro 21, se presenta el promedio multianual de la precipitación total mensual (periodo 1966 a 2010) correspondiente a observatorios de Pampahuta, Quillisani, Santa Lucia, Cabanillas, Lampa y Juliaca, y en la grafico 15, se muestra el histograma de la precipitación media mensual multianual de la cuenca del rio Coata, en ella se puede observar que el comportamiento de las precipitaciones son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 301.4 mm.

Cuadro 21: Precipitación media mensual (mm) multianual de la cuenca del río
Coata

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Total
1966	72.5	158.2	80.9	9.3	33.5	0.0	0.1	0.2	9.2	40.9	75.8	84.4	565.0
1967	79.0	112.2	172.2	17.5	17.5	0.8	9.3	10.4	51.0	51.1	13.1	140.8	674.9
1968	134.5	190.7	88.6	31.1	11.1	3.2	5.2	3.0	21.8	46.4	157.6	85.4	778.5
1969	175.9	101.0	63.4	51.1	0.0	0.9	6.0	0.4	12.5	38.8	76.3	103.4	629.8
1970	169.3	150.8	155.0	36.4	17.6	1.1	0.2	3.1	14.4	30.8	10.6	191.4	780.8
1971	124.4	251.2	78.9	20.5	3.9	3.8	0.0	5.2	0.5	15.2	52.1	171.5	727.1
1972	272.2	113.1	156.8	32.8	2.1	0.2	0.1	1.8	32.6	38.5	58.7	91.7	800.6
1973	234.7	180.8	138.9	91.0	18.7	0.7	7.2	7.5	42.6	32.3	51.5	106.6	912.5
1974	238.4	220.4	86.6	43.1	1.0	6.5	1.3	58.7	19.5	18.3	29.5	92.4	815.7
1975	187.3	209.0	133.7	29.4	26.0	1.5	0.0	1.2	9.0	33.5	27.4	170.7	828.9
1976	192.9	120.3	134.7	19.3	16.5	4.8	3.0	15.1	62.3	2.6	8.3	84.9	664.6
1977	89.3	191.8	169.4	14.5	1.0	0.0	2.2	0.0	21.3	38.3	116.3	121.7	766.0
1978	301.4	129.7	103.8	61.8	0.2	1.2	0.1	1.5	11.2	25.8	109.7	173.8	920.1
1979	199.7	112.0	115.7	40.6	2.1	0.0	2.4	4.7	0.9	44.7	76.0	111.9	710.7
1980	97.0	80.3	188.0	9.6	4.0	0.0	1.6	14.2	43.4	82.1	40.1	53.8	614.3
1981	167.0	174.6	153.5	64.2	0.3	0.0	0.2	49.1	18.5	29.8	55.5	136.9	849.8
1982	165.4	96.3	127.8	62.1	2.4	0.9	0.5	5.7	53.5	70.9	143.7	47.9	777.2
1983	50.3	84.4	30.0	20.0	9.4	3.5	0.0	2.7	12.3	16.6	13.0	56.0	298.1
1984	221.8	235.7	142.1	39.2	15.3	2.8	2.8	11.7	7.6	83.0	139.4	173.2	1074.4
1985	99.2	250.2	124.8	129.1	25.8	18.3	0.9	3.9	24.2	29.1	120.2	155.2	980.9
1986	133.7	230.8	181.2	83.0	7.5	1.1	4.0	9.8	24.1	8.9	32.3	172.2	888.8
1987	174.6	74.7	58.8	16.2	2.4	4.5	20.7	2.4	3.9	33.3	102.7	68.5	562.8
1988	215.3	81.6	198.9	91.0	11.0	0.0	0.8	2.6	10.8	34.1	12.7	103.2	762.2
1989	156.7	77.1	117.7	61.5	1.5	4.4	1.0	4.4	2.7	11.5	40.3	53.0	531.6
1990	151.0	52.9	42.9	24.0	6.5	41.4	0.0	11.1	2.0	81.8	115.1	88.3	616.8
1991	132.4	105.1	102.9	59.1	11.0	27.4	2.0	1.6	11.9	32.2	34.6	90.3	610.5
1992	119.8	91.5	69.7	24.0	1.7	3.4	0.9	36.8	-0.2	38.6	39.0	76.8	502.1
1993	169.7	53.3	112.5	43.2	4.5	5.9	0.4	20.4	6.6	77.6	85.8	119.6	699.7
1994	168.4	119.3	111.1	75.1	7.7	8.7	0.3	3.4	7.8	18.3	75.7	109.4	705.2
1995	115.7	94.1	107.8	32.6	2.4	0.0	0.7	3.0	14.9	17.4	46.4	87.1	522.0
1996	208.5	109.8	95.9	42.5	11.0	4.0	8.0	11.1	12.4	14.2	66.3	147.3	731.0
1997	163.9	166.5	115.6	58.8	4.9	6.3	0.6	19.8	32.9	34.1	98.7	89.5	791.6
1998	138.8	135.1	100.6	31.3	1.8	5.6	0.4	3.8	1.6	38.1	71.1	59.5	587.7
1999	133.9	110.7	147.1	98.3	9.0	2.0	1.1	2.1	18.2	88.3	18.6	86.6	716.0
2000	168.2	165.1	138.0	35.5	5.2	8.1	0.3	7.6	8.9	72.7	23.4	104.0	737.1
2001	225.0	183.6	112.0	47.4	10.3	1.9	2.7	19.2	13.5	51.5	35.0	64.4	766.5
2002	106.7	161.3	133.0	82.1	21.3	3.1	21.2	11.7	10.5	89.8	87.5	134.4	862.6
2003	194.8	130.9	159.9	19.9	7.7	3.9	0.2	0.6	22.8	13.0	27.5	137.8	719.0
2004	219.2	131.7	78.8	47.5	2.0	0.7	7.1	17.6	20.9	11.3	24.6	85.5	646.7
2005	119.8	253.9	90.4	41.6	1.5	0.0	0.3	0.6	15.8	41.4	74.5	117.1	757.0
2006	211.6	109.1	140.5	40.5	0.7	1.6	0.0	2.7	25.0	42.6	82.2	86.0	742.3
2007	107.2	92.6	225.5	65.8	10.5	0.1	5.5	2.2	27.9	28.0	76.8	84.0	726.0
2008	231.9	66.4	62.5	4.3	0.6	1.3	0.0	0.7	3.1	43.9	36.1	202.5	653.2
2009	95.0	159.0	109.1	26.4	0.9	0.0	4.5	0.3	10.0	30.5	107.2	103.7	646.6
2010	152.5	161.2	70.5	31.0	11.7	1.5	0.8	3.6	8.3	28.9	47.1	126.0	643.1
Prom.	161.9	139.6	118.4	44.6	8.1	4.2	2.8	8.9	17.4	38.9	63.0	110.0	717.7

Grafica 15: Histograma de precipitación media mensual (mm)multianual de la cuenca del rio Coata,



4.2.2. Temperatura media mensual en la cuenca

En el Cuadro 22, se presenta los valores de las temperaturas media promedio mensual de las estaciones Pampa Huta, Santa Lucia, Cabanillas, Lampa y Juliaca, los mismos se ubican en la cuenca del rio Coata; para el período que varían de 1966-2010, la variación de la temperatura es de 3.8°C para el mes de julio y de 9.4°C para el mes de diciembre. El promedio anual es de 7.3 °C. En el Anexo 1, se presentan las series históricas de las temperaturas medias de las cinco estaciones mencionadas

Cuadro 22: Temperatura media mensual (°C) – Periodo (1966-2010)

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Prom.
Pampa Huta	6.4	6.4	6.2	5.1	2.9	1.1	0.6	1.6	3.2	4.7	5.5	6.2	4.2
Santa Lucia	9.1	8.8	8.8	7.3	4.8	3.2	2.9	3.8	5.7	7.3	8.5	9.2	6.6
Cabanillas.	10.3	10.2	10.1	9.6	8.3	7.1	6.7	7.9	9.2	10.1	10.7	10.7	9.2
Lampa	10.0	9.8	9.7	8.6	6.4	5.0	4.7	5.9	7.6	8.7	9.6	10.0	8.0
Juliaca.	10.6	10.8	10.3	9.2	6.6	4.7	4.2	5.5	7.7	9.4	10.4	10.8	8.4
Promedio	9.3	9.2	9.0	8.0	5.8	4.2	3.8	5.0	6.7	8.1	8.9	9.4	7.3

4.2.3. Evapotranspiración potencial

La información de evaporación total en Tanque clase A registradas en las estaciones Pampa Huta, Santa Lucia, Cabanillas, Lampa y Juliaca, se presentan en el cuadro 23, en ella se puede apreciar que varía de 105.2 a 154.2 mm/mes.

Cuadro 23: Evaporación total (mm) en Tanque clase A

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Pampa Huta	112.7	102.0	106.4	105.2	109.0	100.6	109.1	126.4	140.3	156.1	150.9	133.7
Santa Lucia	120.5	115.1	126.5	122.7	121.6	111.7	110.6	118.6	124.5	143.8	153.4	133.2
Cabanillas.	114.6	103.5	113.7	129.2	154.2	149.1	155.0	152.0	163.0	166.9	166.3	150.9
Lampa	114.3	106.2	101.2	92.6	93.0	86.2	95.5	113.5	128.5	143.8	143.9	136.9
Juliaca.	122.0	99.2	107.6	94.9	98.5	87.7	96.2	119.6	131.2	158.5	156.3	141.4
Promedio	116.8	105.2	111.1	108.9	115.3	107.1	113.3	126.0	137.5	153.8	154.2	139.2

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método del Tanque clase A, se presenta en el cuadro 24; para ello se ha considerado el promedio de la evaporación total registradas en las estaciones Pampa Huta, Santa Lucia, Cabanillas, Lampa y Juliaca.

Cuadro 24: Resultados de la evapotranspiración potencial.(mm/mes)

Parámetro	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Evaporación total (mm)	116.8	105.2	111.1	108.9	115.3	107.1	113.3	126	137.5	153.8	154.2	139.2
Coefficiente del tanque.	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Evaporación potencial (mm)	93.4	84.2	88.9	87.1	92.2	85.6	90.6	100.8	110.0	123.1	123.3	111.4
ETP anual (mm)	1190.7											

4.2.4. Coeficiente de escurrimiento

Los resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento mediante los métodos de Turc, se presenta en el cuadro 25.

Cuadro 25: Resultados del coeficiente de escurrimiento

Parámetro		Valor
Temperatura Media Anual (°C)	T	7,30
Coeficiente de Temperatura	L	502,00
Déficit de Escurrimiento (mm/Año)	D	418,30
Coeficiente de Escurrimiento-Metodo de Turc.	C	0,42

Considerando las ecuaciones para determinar el coeficiente de escurrimiento mediante el método de la Misión Alemana, los resultados se presentan en el Cuadro 26.

Cuadro 26: Resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento –
Método de la Misión Alemana

Parámetro		Valor
Precipitación Total Anual Promedio (mm/año)	P	717.70
ETP (mm/año) Método Tanque clase A	ETP	1190.70
Coeficiente de Escurrimiento	C	0,34

Los valores de coeficiente de escurrimiento(C) calculados mediante el método de Turc y el método empírico para la sierra del Perú, varía de 0.42 a 0.34, respectivamente. Estos valores nos servirán de referencia, para iniciar la calibración del modelo; sin embargo el verdadero valor se encontrara luego de la calibración del modelo.

4.2.5. Precipitación efectiva

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

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

Cuadro 27: 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

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

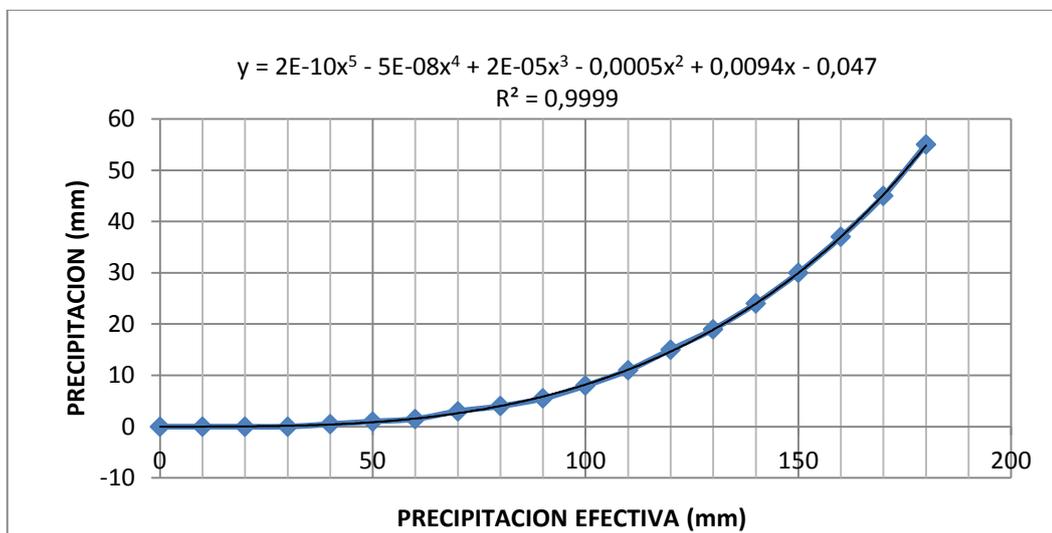
En las gráficas 16, 17 y 18, se muestran las curvas que relacionan la precipitación efectiva y la precipitación total, mediante ecuaciones polinomiales de quinto orden.

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 el siguiente cuadro.

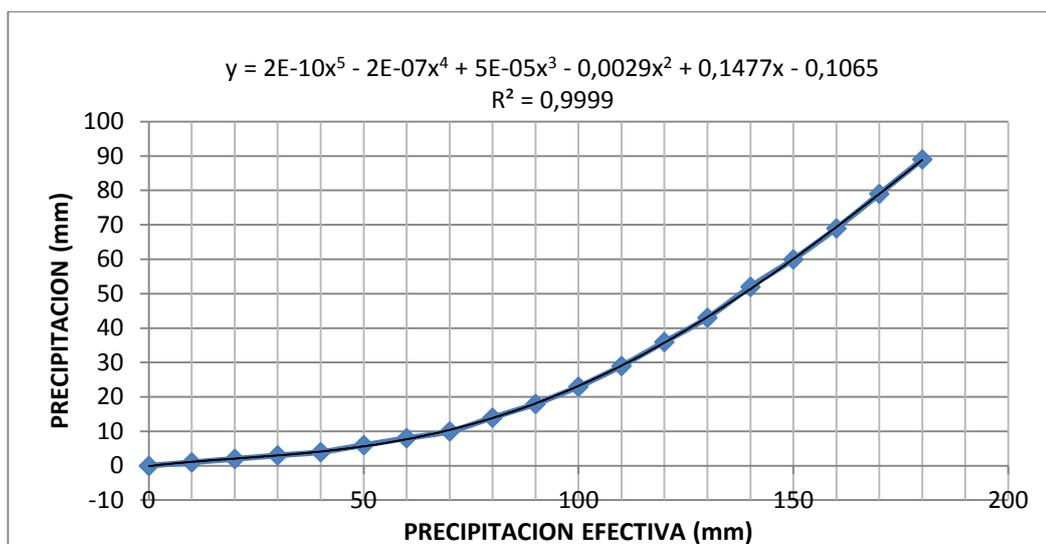
Cuadro 28: Coeficientes de regresión para las curvas de precipitación efectiva

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

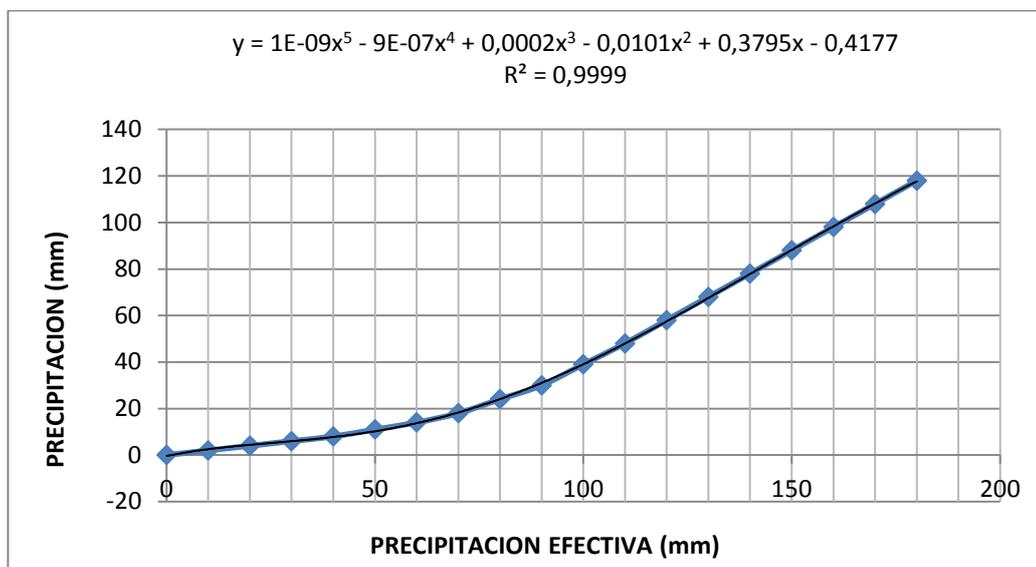
Grafica 16: Ecuación polinómica de la precipitación efectiva de la curva I



Gráfica 17: Ecuación polinómica de la precipitación efectiva de la curva II



Gráfica 18: Ecuación polinómica de la precipitación efectiva de la curva III



Los Resultados de la estimación de la precipitación efectiva mensual se presentan en el cuadro 29.

Cuadro 29: Resultados de la precipitación efectiva mensual (mm)

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL			
		P Total mm/mes	Efectiva		
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes
1	2	3	4	5	6
Enero	30	161.91	44.8	137.9	92.5
Febrero	28	139.56	34.6	111.0	73.7
Marzo	31	118.39	25.1	81.3	53.8
Abril	30	44.55	4.4	10.8	7.6
Mayo	31	8.08	0.9	2.1	1.5
Junio	30	4.15	0.5	1.0	0.7
Julio	31	2.82	0.3	0.6	0.4
Agosto	31	8.87	1.0	2.3	1.7
Setiembre	30	17.44	1.8	4.1	3.0
Octubre	31	38.91	3.8	8.9	6.4
Noviembre	30	63.03	7.2	20.2	13.9
Diciembre	31	110.02	21.5	69.7	46.2
AÑO		717.7	146.0	449.8	301.4
Coeficientes		0.42	0.488	0.512	1.000

4.2.6. Retención de la cuenca

Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento del are será 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 459 Km², aproximadamente. El gasto anual de la retención (R), es de 41 mm/año.

4.2.7. Coeficiente de agotamiento

Considerando que la zona en estudio se encuentra en una zona con vegetación escasa, poco desarrollada (Puna), cuencas con agotamiento rápido y mediana retención, a partir de las formulas empíricas propuesto en la metodología, se obtiene que el coeficiente de agotamiento tiene un valor de a 0.0086.

4.2.8. Relación de caudales

Considerando el coeficiente de agotamiento y el número de los días del mes, la relación de caudales (b_0), a partir de la formula empírica propuesto en el capítulo anterior, se obtiene un valor de $b_0 = 0.773$.

4.2.9. Gasto de la retención

Los resultados de la contribución mensual de la estación seca, estimados con las formulas empíricas correspondientes, se presenta en el cuadro 30. No se considera los meses húmedos como son: noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo.

Cuadro 30: Resultados del gasto de la retención mensual (mm/mes)

MES	N°	Gasto	
		bi	Gi (mm/mes)
		7	8
Enero	30		
Febrero	28		
Marzo	31		
Abril	30	0.77	11.15
Mayo	31	0,59	8.62
Junio	30	0,46	6.66
Julio	31	0,35	5.15
Agosto	31	0,27	3.98
Setiembre	30	0,21	3.08
Octubre	31	0,16	2.38
Noviembre	30		
Diciembre	31		
AÑO		2.84	41,00

4.2.10. Abastecimiento de la retención

Los resultados del cálculo de la lámina de abastecimiento durante la estación lluviosa y no lluviosa para la zona en estudio, se presenta en el cuadro 31. Para la calibración se ha modificado los coeficientes de abastecimiento en (%) de cada mes.

4.2.11. Generación de caudales mensuales para un año promedio – (Generar y validar los caudales medios mensuales para la cuenca del río Coata, para un periodo extendido)

Los resultados de la generación de caudales mensuales para un año promedio se presentan en el cuadro 32. En ella se observa una variación de 10.23 m³/s a 166.20 m³/s, que corresponden a los meses de Julio y Febrero respectivamente, obteniéndose un valor anual promedio de 47.88 m³/s. Los mismos que están en

función de la precipitación efectiva mensual, gasto de la retención y abastecimiento mensual.

Cuadro 31: Resultados del Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes)

MES	N°	Abastecimiento	
		ai	Ai
			mm/mes
		9	10
Enero	30	0,80	32,00
Febrero	28	-0,20	-8.20
Marzo	31	-0,45	-18.50
Abril	30	0.00	0.00
Mayo	31	0,00	0,00
Junio	30	0,00	0,00
Julio	31	0,00	0.00
Agosto	31	0,00	0.00
Setiembre	30	0,00	0.00
Octubre	31	0,00	0,00
Noviembre	30	0,20	5,00
Diciembre	31	0,70	6.20
AÑO		1.00	41.00

En el Cuadro 33, se presenta la serie histórica de caudales medios mensuales aforados en el río Coata, para un periodo de registro de 1966 al 2010, la variación durante el año es de 6.64 a 171.50 m³/s y se tiene un caudal promedio anual de 50.5 m³/s.

Luego de calibrar el modelo a partir del coeficiente de abastecimiento, en la grafico 19, se muestra la comparación de los caudales generados y los caudales aforados en el río Coata.

Cuadro 32: Resultados de la generación de caudales mensuales para el año promedio.(m3/s).

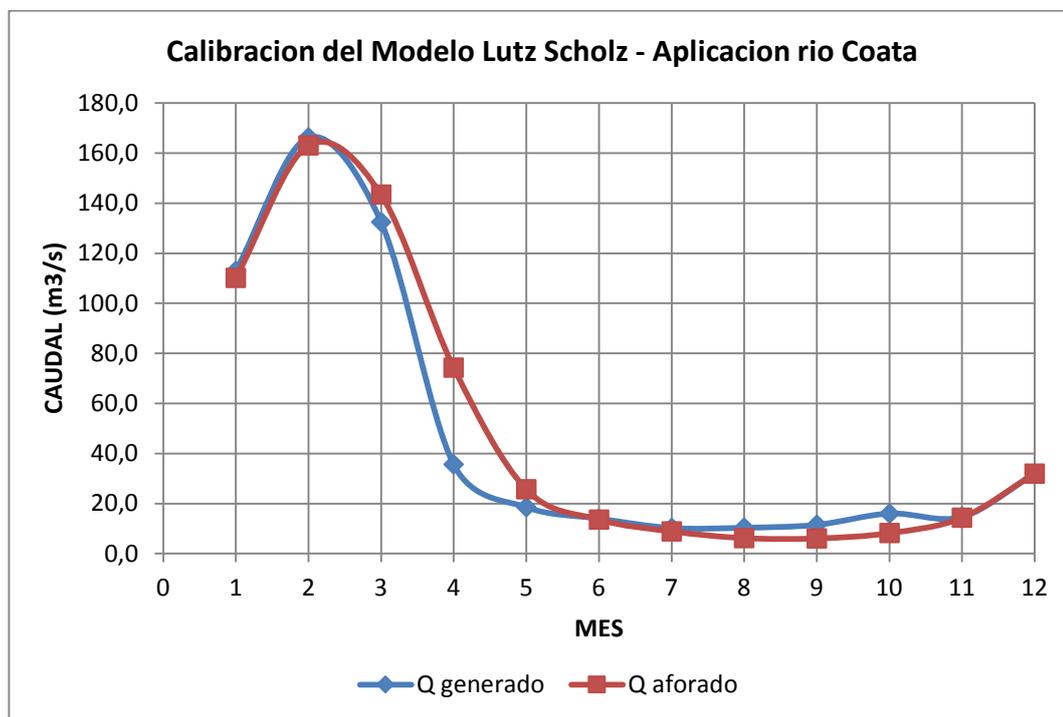
MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL						CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
		P Total mm/mes	Efectiva			PE mm/mes	Gasto bi	Gi mm/mes	Abastecimiento		mm/mes	m3/s	
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes				ai	Ai mm/mes			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Enero	30	161.91	44.8	137.9	92.5			0.800	32.8	59.7	112.98		
Febrero	28	139.56	34.6	111.0	73.7			-0.200	-8.2	81.9	166.20		
Marzo	31	118.39	25.1	81.3	53.8			-0.450	-18.5	72.3	132.46		
Abril	30	44.55	4.4	10.8	7.6	0.773	11.15			18.8	35.59		
Mayo	31	8.08	0.9	2.1	1.5	0.598	8.62			10.1	18.57		
Junio	30	4.15	0.5	1.0	0.7	0.462	6.66			7.4	14.00		
Julio	31	2.82	0.3	0.6	0.4	0.357	5.15			5.6	10.23		
Agosto	31	8.87	1.0	2.3	1.7	0.276	3.98			5.6	10.34		
Setiem.	30	17.44	1.8	4.1	3.0	0.213	3.08			6.1	11.50		
Octubre	31	38.91	3.8	8.9	6.4	0.165	2.38			8.7	16.03		
Noviem.	30	63.03	7.2	20.2	13.9			0.150	6.2	7.7	14.67		
Diciem.	31	110.02	21.5	69.7	46.2			0.700	28.7	17.5	32.03		
AÑO		717.7	146.0	449.8	301.4	2.844	41.0	1.000	41.0	301.4	47.88		
Coefficientes		0.42	0.488	0.512	1.000								

Cuadro 33: Serie de caudales medios mensuales (m3/s)- Estacion Puente
Unocolla.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1966	52.35	43.10	81.20	20.45	7.65	4.90	3.35	2.11	1.50	1.98	9.85	29.65
1967	10.20	31.70	151.00	31.90	12.50	7.20	4.90	3.50	3.40	6.50	2.60	14.60
1968	45.30	162.00	90.60	32.80	14.60	8.00	4.50	3.60	2.20	2.50	18.50	22.70
1969	60.60	81.30	26.30	24.80	7.80	3.60	2.10	1.30	1.20	1.80	1.60	14.50
1970	59.70	197.70	140.20	54.90	21.80	8.30	4.30	2.90	2.10	2.00	1.70	15.80
1971	59.90	396.50	171.10	47.50	17.60	8.50	4.20	3.10	1.90	1.50	1.60	27.50
1972	174.00	82.60	96.90	91.20	25.80	13.70	5.50	3.10	2.40	1.60	5.30	41.40
1973	101.60	200.90	172.60	86.90	36.40	14.70	8.30	3.40	4.10	7.60	4.10	18.20
1974	146.10	312.90	147.60	73.40	37.30	18.50	12.80	13.40	12.80	6.20	5.70	17.60
1975	115.00	294.20	243.10	74.30	35.70	18.70	10.50	4.40	2.40	4.00	2.10	32.20
1976	186.20	160.60	195.90	89.70	28.20	17.20	10.60	6.40	14.40	17.10	5.40	3.60
1977	43.70	59.20	275.20	96.20	22.60	10.40	5.40	2.40	1.90	1.30	4.40	6.50
1978	242.90	167.80	151.90	105.10	43.70	20.60	6.70	2.70	1.50	1.10	1.50	23.90
1979	153.90	117.30	132.60	22.10	7.90	4.00	2.20	1.30	1.50	2.10	3.30	7.60
1980	36.42	41.29	131.71	63.26	20.10	14.37	10.44	7.43	6.35	32.01	15.54	16.19
1981	98.34	164.74	177.15	86.51	24.50	15.83	11.00	8.69	6.94	8.87	1.18	10.65
1982	140.06	41.29	134.37	35.96	14.38	9.99	5.41	4.06	4.61	0.00	72.20	25.20
1983	139.62	18.15	69.03	43.71	20.10	14.86	11.00	7.85	6.74	9.73	4.13	13.42
1984	139.17	370.16	187.76	87.62	27.13	10.96	6.53	4.90	4.99	0.00	4.13	15.73
1985	99.24	223.08	152.94	130.78	66.27	30.45	14.35	8.69	8.29	12.30	49.39	103.97
1986	174.61	208.62	65.05	156.61	71.11	20.22	14.90	10.79	8.88	15.73	10.75	27.97
1987	268.83	53.35	73.34	37.81	17.90	14.37	11.00	7.43	5.96	2.87	10.75	13.65
1988	15.60	22.20	20.10	11.50	6.60	5.30	11.00	11.00	11.50	11.50	6.50	8.70
1989	202.10	155.70	170.30	168.70	39.20	24.00	18.30	19.10	10.90	6.80	7.10	7.40
1990	139.70	84.60	74.90	39.30	12.40	20.20	13.70	7.90	5.30	15.30	96.30	72.30
1991	142.50	148.50	121.90	83.00	35.20	23.20	13.60	9.00	8.20	6.00	6.30	8.50
1992	20.30	15.00	30.70	8.70	6.70	6.00	5.70	6.70	6.20	5.20	21.00	67.80
1993	160.40	44.80	142.50	50.40	35.80	23.40	10.70	6.50	6.40	10.60	37.30	83.90
1994	46.29	107.84	139.34	95.36	27.57	14.86	8.76	6.16	5.38	0.00	15.90	30.97
1995	40.46	76.98	134.04	52.56	19.22	13.40	8.76	6.16	5.58	0.00	4.13	23.81
1996	21.10	30.90	167.10	143.70	40.40	20.70	14.40	7.20	6.20	5.90	15.10	119.40
1997	280.00	491.00	254.80	108.80	44.10	24.80	19.70	7.20	13.60	13.00	19.20	14.70
1998	72.70	142.00	81.80	37.70	13.60	7.90	7.20	5.40	7.60	24.30	32.80	43.30
1999	30.60	130.80	260.20	197.30	47.50	14.20	7.60	6.50	24.20	57.40	49.30	46.90
2000	110.90	270.34	166.21	46.29	22.30	15.35	9.32	7.00	5.38	14.87	2.66	19.19
2001	217.68	216.81	168.86	119.35	30.65	16.32	9.88	7.43	6.35	6.30	4.86	15.27
2002	148.14	451.17	253.10	113.81	31.53	15.83	12.67	7.85	6.16	21.73	20.32	50.38
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
2004	129.74	238.51	96.23	55.89	20.54	14.37	11.00	8.69	6.55	2.02	5.23	22.89
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
2006	116.73	279.02	251.77	201.63	34.61	17.30	12.11	8.69	6.35	7.16	13.70	30.97
2007	75.93	39.08	131.22	52.62	22.01	3.38	1.44	2.49	4.93	4.79	20.07	45.01
2008	143.09	116.82	82.84	19.18	6.45	1.63	1.52	1.26	0.83	0.89	1.56	44.32
2009	52.83	69.10	142.71	45.24	15.04	4.52	6.43	4.78	4.19	5.05	10.16	68.10
2010	126.76	209.80	200.30	51.94	13.13	4.01	2.11	2.93	2.30	5.37	6.21	31.97

Fuente: SENAMHI – 2010.

Grafica 19: Comparación de caudales calculados y aforados, luego de la calibración para el año promedio del río Coata



Al realizar la correlación entre los datos generados y los datos registrados, se obtiene un coeficiente de correlación de 0.95, esto nos indica que la calibración del modelo de generación de descargas medias para el río Coata mediante del modelo Lutz Scholz es apropiado.

4.3. Generación de caudales para periodos extendidos

4.3.1. Precipitación efectiva de la cuenca

Para la generación de caudales para periodos extendidos, primero se tiene que determinar la precipitación efectiva a partir de la precipitación media mensual para la cuenca del río Coata, Los resultados se presentan en el Cuadro 34.

4.3.2. Números aleatorios

En el presente trabajo se generó los números aleatorios normalmente distribuidos con media igual a cero y desviación estándar igual a 1. En el Cuadro 35, se presentan la información empleada.

Cuadro 34: Precipitación efectiva mensual (mm) generada para la cuenca del río coata - Periodo 1966 a 2010

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1966	21.9	88.0	27.3	0.8	2.7	4.3	4.2	4.2	0.8	5.2	24.0	29.7
1967	26.0	50.2	100.1	0.0	0.0	3.8	0.8	0.6	9.7	9.7	0.2	73.3
1968	68.0	116.5	32.7	2.0	0.4	2.7	1.9	2.8	0.3	7.5	87.4	30.4
1969	103.3	41.7	16.3	9.7	4.3	3.8	1.6	4.0	0.3	4.4	24.3	43.5
1970	97.6	81.7	85.2	3.6	0.0	3.7	4.2	2.7	0.1	1.9	0.5	117.1
1971	59.8	171.7	26.0	0.1	2.4	2.5	4.3	1.9	4.0	0.0	10.2	99.5
1972	191.2	50.9	86.8	2.5	3.2	4.2	4.2	3.3	2.4	4.3	13.7	34.8
1973	156.4	107.6	71.7	34.3	0.0	3.9	1.3	1.2	5.9	2.3	9.9	45.8
1974	159.8	143.3	31.2	6.1	3.7	1.5	3.6	13.7	0.1	0.0	1.6	35.4
1975	113.4	133.0	67.4	1.6	0.9	3.4	4.3	3.6	0.8	2.7	1.1	98.9
1976	118.4	56.6	68.2	0.1	0.0	2.0	2.8	0.0	15.7	3.0	1.0	30.1
1977	33.1	117.4	97.7	0.1	3.7	4.3	3.1	4.3	0.2	4.2	53.4	57.7
1978	218.8	64.1	43.8	15.4	4.2	3.6	4.2	3.5	0.4	0.8	48.2	101.5
1979	124.6	50.1	52.9	5.1	3.2	4.3	3.0	2.1	3.8	6.8	24.1	49.9
1980	38.7	26.9	114.1	0.7	2.3	4.2	3.4	0.1	6.2	28.2	4.9	11.1
1981	95.6	102.2	84.0	16.8	4.1	4.3	4.2	8.8	0.0	1.7	12.0	70.1
1982	94.2	38.2	62.5	15.6	3.0	3.8	4.0	1.7	10.9	20.8	75.7	8.2
1983	9.3	29.7	1.7	0.1	0.8	2.6	4.3	2.9	0.3	0.0	0.2	12.2
1984	144.5	157.3	74.3	4.6	0.0	2.9	2.9	0.4	1.2	28.7	72.1	101.0
1985	40.3	170.7	60.2	63.6	0.8	0.0	3.8	2.4	0.6	1.5	56.5	85.4
1986	67.4	152.8	108.0	28.7	1.2	3.7	2.3	0.7	0.5	0.9	2.3	100.1
1987	102.3	23.3	13.7	0.0	3.0	2.2	0.1	3.0	2.4	2.6	43.0	19.4
1988	138.7	27.8	123.8	34.4	0.5	4.2	3.8	2.9	0.5	2.9	0.2	43.3
1989	86.7	24.8	54.5	15.2	3.5	2.2	3.7	2.2	2.9	0.4	5.0	10.6
1990	81.8	10.6	6.0	0.5	1.5	5.4	4.3	0.5	3.2	27.9	52.4	32.5
1991	66.3	44.8	43.1	13.9	0.5	1.1	3.2	3.4	0.3	2.3	3.0	33.8
1992	56.1	34.7	20.1	0.5	3.4	2.6	3.8	3.7	4.4	4.4	4.5	24.6
1993	98.0	10.8	50.4	6.1	2.2	1.7	4.0	0.1	1.5	25.2	30.7	56.0
1994	96.9	55.7	49.3	23.5	1.2	0.9	4.1	2.6	1.1	0.0	23.9	48.0
1995	52.9	36.6	46.8	2.4	3.0	4.3	3.9	2.8	0.1	0.0	7.5	31.6
1996	132.4	48.3	37.9	5.8	0.5	2.4	1.1	0.5	0.3	0.1	18.0	78.8
1997	92.9	95.2	52.8	13.7	2.0	1.6	4.0	0.1	2.5	2.8	40.0	33.3
1998	71.6	68.5	41.3	2.0	3.3	1.8	4.0	2.4	3.4	4.2	21.0	14.1
1999	67.6	49.0	78.5	39.7	0.8	3.2	3.7	3.2	0.0	32.4	0.0	31.3
2000	96.7	94.0	70.9	3.3	1.9	1.1	4.1	1.2	0.9	22.0	0.4	43.9
2001	147.5	110.1	50.1	8.0	0.6	3.3	2.9	0.1	0.2	9.9	3.1	16.9
2002	45.9	90.6	66.8	28.1	0.2	2.7	0.2	0.4	0.5	33.5	31.9	68.0
2003	120.1	65.1	89.4	0.1	1.2	2.4	4.1	3.9	0.4	0.2	1.1	70.8
2004	142.2	65.7	25.9	8.0	3.2	3.9	1.3	0.0	0.2	0.4	0.6	30.5
2005	56.1	174.1	33.9	5.5	3.5	4.3	4.1	3.9	0.0	5.4	23.2	54.0
2006	135.3	47.8	73.0	5.0	3.9	3.4	4.3	2.9	0.7	5.9	28.2	30.8
2007	46.3	35.5	148.0	17.7	0.6	4.2	1.8	3.2	1.2	1.2	24.6	29.4
2008	153.8	18.1	15.8	2.2	4.0	3.6	4.3	3.9	2.7	6.4	3.5	127.0
2009	37.2	88.7	47.8	0.9	3.8	4.3	2.2	4.1	0.6	1.8	46.3	43.7
2010	83.2	90.6	20.6	2.0	0.4	3.5	3.8	2.5	1.0	1.4	7.8	61.1

Cuadro 35: Números aleatorios generados con distribución normal

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1966	1.25	-0.81	-1.34	-0.54	0.85	0.44	0.08	0.90	0.21	-1.18	-1.54	-0.99
1967	-0.43	1.28	-0.87	0.30	0.83	0.38	1.11	-1.49	-3.63	0.98	0.53	-1.60
1968	-1.61	0.61	-0.55	-0.17	-0.04	-0.65	-1.93	1.51	0.00	0.18	-1.27	0.15
1969	-0.09	-0.05	-0.83	1.29	-0.31	1.81	2.25	-0.57	-0.75	-0.14	0.30	-0.32
1970	0.80	-0.36	-1.89	1.27	-0.37	-2.39	-1.54	0.18	0.30	-0.02	-0.80	1.75
1971	0.44	-0.40	-1.25	-1.42	1.20	1.23	1.39	0.82	0.00	-1.45	0.41	-0.29
1972	-0.27	-0.84	1.64	0.72	-1.71	-1.39	-0.51	-1.15	0.13	0.12	1.48	1.22
1973	-0.99	1.18	-0.53	-0.83	-2.49	-0.98	0.60	0.60	-0.79	0.81	0.58	-0.14
1974	-0.77	-0.39	1.73	0.95	-0.36	-1.51	-0.32	1.58	-0.75	0.09	0.71	0.15
1975	-0.72	0.79	-0.71	1.54	-0.62	-0.82	0.89	-1.69	3.33	0.15	0.38	0.25
1976	-0.68	0.06	-0.61	1.72	-0.55	0.39	-1.41	-0.19	0.70	1.06	0.32	-2.07
1977	0.02	-0.23	-1.56	2.29	0.45	-0.41	-0.36	0.07	-0.57	-0.18	-0.89	0.27
1978	-0.44	0.39	0.53	-0.04	-0.98	-0.68	0.21	1.95	0.18	2.41	-0.55	-0.24
1979	-2.04	-1.20	-0.39	-0.72	-0.71	-0.22	-1.26	-0.52	-1.36	-0.20	0.08	0.19
1980	-1.16	0.12	0.62	0.71	0.91	0.58	-0.17	-1.29	-0.42	-0.68	-0.01	0.28
1981	-0.03	0.18	0.48	-0.91	-1.53	-1.18	0.10	0.76	-1.03	0.60	-1.09	0.11
1982	-1.38	-1.49	-1.71	-0.29	-0.32	-1.02	2.31	1.22	-1.55	-0.45	-0.01	0.63
1983	0.87	0.00	-0.32	0.07	1.34	1.00	-0.44	0.98	0.79	-0.69	0.33	0.17
1984	-1.74	-0.98	-0.64	-1.38	-0.12	-0.55	-0.69	-0.32	0.74	0.75	0.48	1.26
1985	-0.84	-0.04	0.56	-1.35	-0.11	0.89	-2.03	-0.64	-1.14	-1.11	-0.19	0.22
1986	-1.72	1.16	-0.29	-0.17	0.28	-0.62	-2.03	-0.03	-0.17	0.87	-0.29	1.45
1987	1.16	-0.42	-0.31	-0.14	-0.51	1.16	0.05	-1.81	0.38	0.72	1.65	-0.21
1988	-0.17	-1.07	-0.94	1.04	-1.21	1.17	-0.37	-1.08	-2.07	-1.39	-1.76	-2.77
1989	-1.66	-0.02	2.19	-3.65	-0.76	1.02	2.06	-0.52	1.28	-0.40	0.63	0.45
1990	-0.48	0.21	-1.60	1.44	0.32	0.30	0.58	-0.86	-1.42	-0.34	-0.13	0.55
1991	1.48	0.10	1.31	-1.06	-0.09	-2.56	1.13	0.95	1.56	-1.11	-1.29	-0.66
1992	-0.04	-1.16	0.26	-1.36	-0.18	1.65	0.28	-0.46	-0.42	-0.05	-0.02	-0.17
1993	2.00	-0.69	-0.14	0.32	-0.17	1.24	0.12	-0.51	-1.05	1.60	1.05	-2.06
1994	2.09	0.66	0.42	-0.67	-0.54	-1.38	0.11	-0.44	0.55	-1.57	-0.60	-0.93
1995	-1.54	0.94	-0.48	0.67	-0.74	-0.33	0.46	-0.15	0.01	-0.32	-0.75	0.81
1996	0.40	-0.07	-0.69	1.09	-0.64	1.01	0.90	1.16	-0.39	-0.73	0.44	-1.05
1997	1.11	-0.05	0.34	-0.95	-0.19	1.01	1.08	-0.66	-1.27	1.51	-1.18	-0.23
1998	0.83	0.97	1.10	-1.44	-0.62	-0.06	1.24	0.74	1.50	-1.79	-1.02	2.12
1999	1.32	0.22	0.42	0.03	0.90	0.42	-1.17	0.34	-1.86	-0.85	-0.60	1.93
2000	2.08	-1.12	-0.15	0.41	0.52	-1.48	0.24	2.49	-0.56	3.12	-0.78	-0.35
2001	0.90	-0.24	-0.19	2.33	0.63	0.88	-1.35	-0.45	0.56	0.79	-1.61	-0.23
2002	-0.52	-0.02	-0.65	-1.52	0.52	-2.59	1.27	0.88	0.50	0.40	-1.41	-0.11
2003	-0.16	-1.08	-0.87	-0.37	-0.76	-0.75	0.51	0.20	-0.39	0.49	0.33	-0.93
2004	-0.18	-1.25	1.74	0.49	0.65	-1.50	-0.65	0.74	0.82	-1.06	-0.94	0.95
2005	-0.28	-0.05	1.22	-0.60	-0.64	0.85	0.28	-0.77	0.84	0.89	0.54	-0.38
2006	0.09	0.12	-1.12	0.15	1.10	-0.30	-0.73	0.39	-1.31	-1.15	0.32	-1.96
2007	0.49	-1.00	0.02	-0.63	-0.79	2.05	-0.70	-0.85	1.75	0.57	1.06	-1.96
2008	-1.25	-1.39	-0.76	0.64	0.53	-2.76	0.50	-0.78	1.00	-1.96	0.46	-0.11
2009	-2.01	-0.26	-0.77	0.80	2.32	1.48	0.81	-0.19	0.04	0.67	1.09	-0.39
2010	1.48	1.28	2.19	2.29	1.34	1.81	2.31	1.95	3.33	2.41	1.65	1.75

4.3.3. Descargas medias mensuales generadas

Para determinarlos parámetros B1, B2, B3, 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 el siguiente cuadro:

Cuadro 36: Datos de la variable dependiente e independiente

Q_t	Q_{t-1}	PE
59.66	17.48	92.46
81.91	59.66	73.71
72.28	81.91	53.83
18.79	72.28	7.65
10.14	18.79	1.52
7.40	10.14	0.74
5.58	7.40	0.43
5.64	5.58	1.66
6.07	5.64	3.00
8.75	6.07	6.37
7.75	8.75	13.90
17.48	7.75	46.18

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

Coefficientes de la regresión lineal múltiple:	$b_1 = - 1.169$
Coefficientes de la regresión lineal múltiple:	$b_2 = 0.4196$
Coefficientes de la regresión lineal múltiple:	$b_3 = 0.6269$
Error estándar de la regresión múltiple:	$S = 8.6823$
Coefficiente de correlación múltiple:	$r^2 = 0.9243$

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 el Cuadro 37, se presenta la serie de descargas media mensuales (mm) generadas para cuenca del río Coata.

Cuadro 37: Descargas medias mensuales generados (mm) – Cuenca coata

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	59.7	81.9	72.3	18.8	10.1	7.4	5.6	5.6	6.1	8.7	7.7	17.5
1966	22.9	61.7	38.6	14.2	8.5	6.2	4.2	5.4	2.4	0.3	10.3	19.4
1967	22.2	42.7	77.4	32.0	14.3	8.1	5.4	2.1	0.4	7.4	3.3	42.4
1968	55.4	96.6	58.5	24.2	9.2	2.8	3.4	5.6	0.2	4.1	52.3	40.2
1969	80.2	58.5	31.6	21.3	9.7	9.6	9.2	3.9	1.3	1.8	15.5	31.8
1970	75.3	80.8	81.6	38.4	14.0	1.3	1.6	1.6	0.2	0.1	2.7	77.5
1971	69.9	134.8	68.7	24.3	13.4	9.0	8.6	5.6	5.1	2.5	7.2	63.6
1972	144.7	89.4	94.7	41.8	14.3	4.2	2.0	1.0	2.4	2.8	12.1	28.7
1973	106.5	113.8	90.3	56.2	16.5	5.8	3.5	2.5	3.1	3.5	7.9	30.5
1974	110.0	133.9	78.7	38.0	16.2	3.0	1.6	11.8	1.7	0.2	1.6	22.1
1975	77.5	116.6	88.3	40.6	14.9	5.3	5.9	0.5	9.5	4.9	2.5	62.5
1976	97.6	75.4	71.8	33.1	11.4	5.8	0.4	1.4	12.8	8.6	3.8	14.4
1977	25.7	82.7	91.0	42.6	20.1	9.0	3.7	3.2	1.4	1.6	30.9	48.6
1978	155.3	105.1	71.7	38.5	15.3	5.9	4.4	7.5	2.0	5.9	30.2	74.6
1979	103.3	70.7	60.8	25.8	10.0	5.2	0.1	1.1	0.1	2.7	15.2	37.0
1980	35.8	31.0	84.9	36.6	17.8	10.3	4.9	2.1	6.1	17.4	9.2	10.3
1981	63.0	89.8	90.3	45.1	16.7	5.7	4.1	7.9	1.2	1.8	4.5	44.9
1982	73.5	50.0	54.9	31.0	12.9	4.2	8.6	6.4	3.7	12.4	51.4	27.1
1983	18.1	25.1	9.7	3.1	3.8	4.5	2.4	4.0	2.8	1.7	0.9	7.3
1984	88.3	132.1	99.3	40.1	15.4	5.8	1.4	1.1	3.8	20.2	53.7	87.7
1985	58.9	130.5	92.7	74.4	30.3	13.7	2.1	0.3	2.2	2.0	34.6	67.4
1986	65.3	124.8	118.2	66.0	28.0	11.4	0.2	0.7	3.5	3.0	0.8	65.4
1987	93.2	51.5	28.3	10.4	3.8	4.6	1.0	3.2	3.2	3.5	31.2	23.6
1988	95.3	53.7	96.7	63.5	22.9	13.9	6.1	0.7	0.0	2.7	4.1	21.1
1989	58.0	38.7	54.5	22.5	8.7	6.3	8.7	2.6	6.3	0.8	3.8	8.2
1990	52.4	28.0	10.5	7.0	3.5	4.4	4.7	0.9	0.7	15.8	38.0	36.5
1991	59.2	52.0	50.8	26.3	10.0	2.4	4.5	5.1	3.7	0.8	2.0	19.3
1992	42.0	35.4	26.9	7.2	3.5	5.9	4.4	1.9	3.1	2.8	2.8	15.0
1993	71.3	33.9	44.3	22.0	9.1	6.7	4.4	0.5	0.1	18.5	28.3	40.9
1994	81.7	69.6	59.9	37.1	13.9	1.9	2.5	0.4	1.6	4.2	14.1	32.6
1995	42.0	41.7	44.5	20.6	7.6	3.9	4.0	1.9	0.6	1.7	2.5	21.6
1996	91.9	67.5	49.2	25.7	8.4	6.3	4.3	3.7	0.7	2.5	12.2	50.9
1997	81.1	92.4	71.5	35.2	14.4	8.3	7.4	0.4	0.8	4.6	23.0	28.8
1998	57.8	68.3	56.0	20.2	7.9	3.1	5.6	4.5	5.9	0.3	9.7	16.8
1999	51.4	51.7	70.7	53.5	23.9	11.9	3.3	3.0	0.6	17.4	4.7	25.0
2000	74.9	86.5	79.2	35.1	16.0	2.7	3.1	6.8	0.8	20.4	5.8	27.9
2001	105.2	111.4	76.5	41.5	18.1	10.6	1.9	1.4	4.7	8.9	0.7	9.2
2002	30.2	68.2	67.8	41.3	17.5	1.7	2.7	2.3	1.0	21.2	24.4	51.4
2003	95.3	77.1	85.1	33.7	11.9	3.5	4.1	3.5	0.4	0.3	0.4	41.2
2004	104.8	81.0	53.2	27.4	13.9	3.5	0.4	0.8	2.4	2.5	2.0	21.1
2005	42.2	125.6	75.7	32.6	13.2	9.1	5.9	1.9	4.6	6.3	17.3	39.0
2006	100.2	71.1	71.8	32.4	17.5	7.6	3.0	2.8	0.7	0.1	17.3	20.7
2007	37.7	34.5	106.1	53.0	19.6	14.6	4.4	0.6	9.9	5.1	18.9	20.5
2008	100.9	49.2	27.6	13.3	8.2	2.1	3.6	0.9	3.8	0.2	2.2	79.1
2009	50.5	75.0	58.4	25.8	17.6	12.5	7.4	4.0	4.5	3.5	31.9	38.7
2010	70.8	88.4	54.1	28.2	14.1	11.3	11.5	9.9	12.1	10.6	12.1	46.4

Considerando el área de drenaje de la cuenca de 4908.4 Km² hasta el punto de aforo, y el número de días de cada mes, en el cuadro 39, se presenta la serie de descargas media mensuales (m³/s) generadas para cuenca del río Coata.

En las Grafico 20, se muestra la comparación de los histogramas de caudales generados y caudales aforados en el puente Unocolla, para el periodo de 1966 al 2010; en ellas se puede observar que existen similitud en su comportamiento a través del tiempo, para su validación se realiza la prueba de consistencia de las medias y la prueba de consistencia de la desviación estándar.

4.3.4. Test estadístico

Los resultados de las pruebas estadísticas t y F, se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 38: Consistencia de la media y desviación estándar de la serie de caudales generado y caudales aforados – cuenca coata.

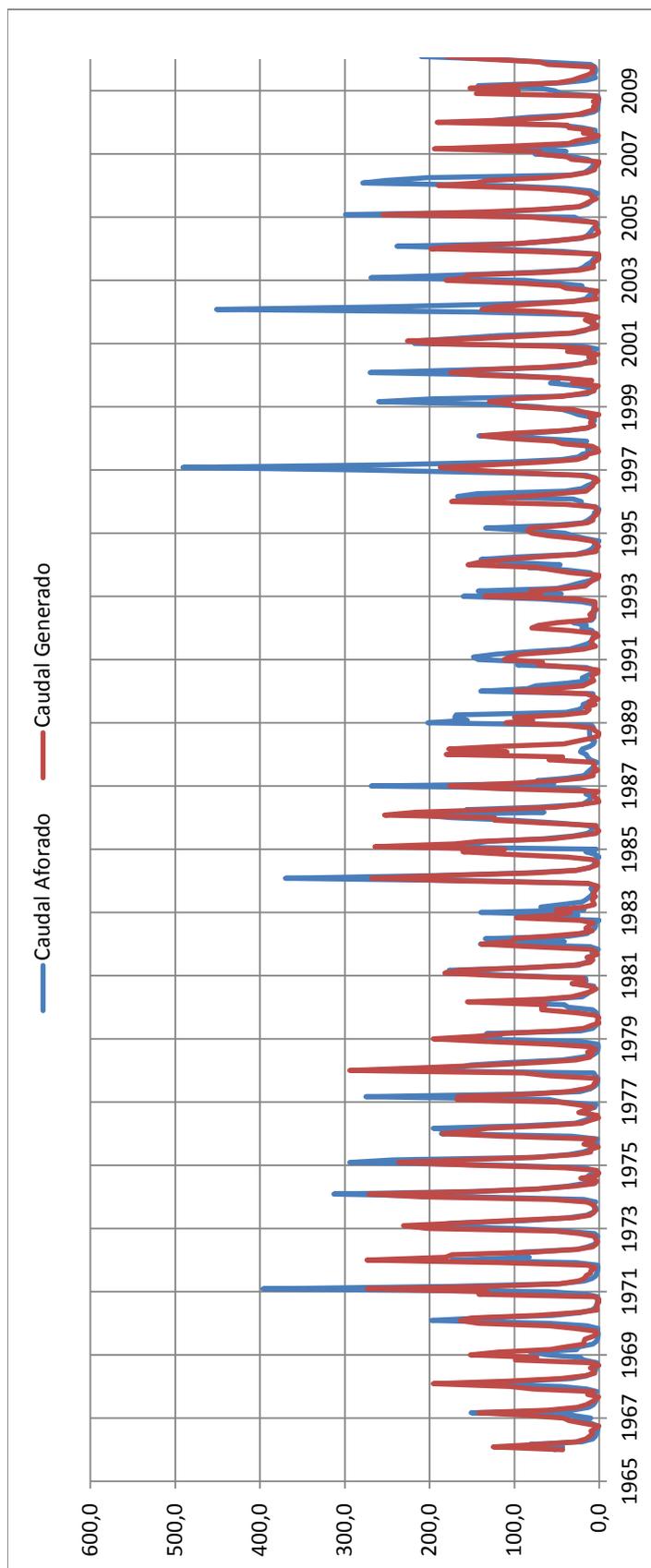
Parámetro	Q generado	Q aforado
Media	52.90	50.38
Desviación Estándar.	62.03	72.41
Variancia	3847.27	5242.555
Nº datos	540,00	540,00
T calculado.	0,61	
T tabular	1,64	
F calculado	1,16	
F tabular	1,17	

De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que la media de los caudales generados son iguales estadísticamente a la media de los caudales aforados, puesto que el valor de T calculado (0.61) es menor que el valor de T tabular (1.64); y la desviación estándar de los caudales generados son estadísticamente iguales a la desviación estándar de los caudales aforados, dado que el valor de F calculado (1.16) es menor que F tabular (1.17).

Cuadro 39: Serie de descargas media mensuales (m³/s) generadas para
cuenca del rio coata

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1966	43.31	125.11	70.76	26.96	15.62	11.66	7.79	9.89	4.58	0.52	19.54	35.59
1967	42.13	86.62	141.88	60.66	26.12	15.32	9.84	3.85	0.76	13.60	6.34	77.63
1968	104.89	195.92	107.29	45.89	16.78	5.35	6.23	10.31	0.41	7.44	99.04	73.64
1969	151.96	118.72	57.96	40.26	17.77	18.17	16.90	7.07	2.39	3.26	29.38	58.36
1970	142.57	163.89	149.60	72.68	25.74	2.51	2.93	2.98	0.32	0.10	5.11	142.10
1971	132.37	273.59	125.96	46.09	24.60	16.99	15.76	10.23	9.68	4.58	13.73	116.48
1972	274.04	181.48	173.52	79.25	26.23	7.87	3.63	1.83	4.51	5.15	22.96	52.50
1973	201.76	230.92	165.44	106.49	30.21	11.07	6.48	4.58	5.84	6.42	14.93	55.93
1974	208.25	271.65	144.25	71.88	29.74	5.63	2.88	21.70	3.22	0.37	3.06	40.41
1975	146.67	236.56	161.83	76.82	27.38	9.98	10.76	0.92	17.98	8.92	4.68	114.48
1976	184.89	153.03	131.53	62.73	20.91	11.00	0.73	2.57	24.18	15.77	7.26	26.32
1977	48.59	167.70	166.82	80.60	36.82	16.98	6.73	5.95	2.58	2.94	58.42	89.06
1978	294.13	213.30	131.34	72.82	27.95	11.09	8.09	13.79	3.73	10.86	57.23	136.65
1979	195.71	143.51	111.33	48.85	18.28	9.83	0.18	2.02	0.27	4.92	28.87	67.76
1980	67.85	62.90	155.51	69.24	32.62	19.53	8.97	3.85	11.46	31.94	17.39	18.90
1981	119.31	182.12	165.48	85.35	30.53	10.81	7.49	14.44	2.27	3.35	8.55	82.35
1982	139.09	101.51	100.63	58.63	23.73	7.99	15.81	11.78	7.04	22.65	97.43	49.60
1983	34.29	50.84	17.69	5.89	7.04	8.44	4.31	7.30	5.24	3.12	1.70	13.31
1984	167.23	268.11	182.03	75.92	28.17	10.95	2.60	2.02	7.14	37.01	101.61	160.66
1985	111.47	264.69	169.80	140.81	55.49	25.87	3.84	0.55	4.18	3.67	65.58	123.55
1986	123.57	253.14	216.62	125.02	51.23	21.60	0.39	1.28	6.65	5.41	1.53	119.82
1987	176.44	104.54	51.85	19.61	7.05	8.72	1.74	5.86	6.03	6.45	59.10	43.24
1988	180.43	108.93	177.26	120.18	41.93	26.23	11.26	1.21	0.03	4.95	7.76	38.62
1989	109.93	78.51	99.83	42.61	15.87	11.88	15.94	4.78	12.01	1.45	7.18	14.94
1990	99.21	56.75	19.26	13.25	6.35	8.30	8.69	1.65	1.33	28.94	71.97	66.81
1991	112.15	105.51	93.08	49.86	18.29	4.54	8.32	9.41	7.08	1.47	3.79	35.32
1992	79.51	71.88	49.31	13.60	6.49	11.17	8.00	3.46	5.78	5.06	5.23	27.49
1993	135.09	68.75	81.19	41.69	16.59	12.60	8.09	0.92	0.11	33.87	53.65	74.97
1994	154.76	141.27	109.86	70.28	25.42	3.66	4.52	0.80	3.10	7.70	26.76	59.81
1995	79.57	84.51	81.53	39.03	13.92	7.45	7.39	3.50	1.07	3.12	4.67	39.61
1996	173.97	136.92	90.25	48.72	15.40	11.88	7.90	6.84	1.38	4.58	23.11	93.19
1997	153.49	187.48	131.04	66.57	26.35	15.67	13.54	0.76	1.59	8.35	43.54	52.77
1998	109.40	138.66	102.67	38.19	14.44	5.93	10.29	8.17	11.11	0.55	18.32	30.78
1999	97.36	104.80	129.62	101.26	43.83	22.47	6.09	5.58	1.14	31.81	8.88	45.88
2000	141.88	175.53	145.19	66.53	29.34	5.11	5.68	12.51	1.51	37.42	10.93	51.20
2001	199.18	226.04	140.23	78.64	33.24	20.12	3.47	2.57	8.98	16.32	1.28	16.77
2002	57.19	138.47	124.25	78.13	32.07	3.16	4.93	4.24	1.98	38.89	46.16	94.24
2003	180.51	156.35	156.03	63.88	21.86	6.71	7.52	6.36	0.76	0.55	0.81	75.46
2004	198.49	164.37	97.54	51.80	25.43	6.65	0.73	1.39	4.54	4.58	3.79	38.58
2005	79.84	254.75	138.69	61.72	24.15	17.19	10.75	3.48	8.80	11.55	32.77	71.53
2006	189.81	144.35	131.51	61.42	32.11	14.40	5.44	5.19	1.33	0.15	32.79	37.98
2007	71.42	70.05	194.51	100.31	35.83	27.57	8.04	1.19	18.68	9.33	35.81	37.61
2008	191.03	99.81	50.50	25.17	14.99	3.98	6.59	1.68	7.17	0.37	4.16	144.97
2009	95.72	152.21	107.09	48.89	32.25	23.58	13.51	7.41	8.55	6.35	60.45	70.91
2010	133.99	179.30	99.08	53.48	25.91	21.34	21.01	18.06	22.98	19.37	22.92	85.00

Grafica 20: Histograma de caudales generados y caudales aforados del rio coata – periodo 1966 – 2010



CONCLUSIONES

Las conclusiones de la presente investigación son las siguientes:

- ✓ Al realizar el análisis de consistencia de la información pluviométrica, se puede concluir que la serie histórica de la precipitación media mensual y anual registradas en las estaciones Pampa Huta, Quillisani, Cabanilla y Juliaca, son consistentes y homogéneos porque no presentan saltos en el histograma y en el análisis de doble masa la línea de doble masa es una recta, mientras que para las series pluviométricas registradas en estaciones Lampa y Santa Lucía, no son homogéneos, se tuvo que corregir la información.
- ✓ La precipitación media mensual de la cuenca del río Coata; para el periodo de 1966 al 2010, es de 717.70 mm obtenido mediante el método de promedio aritmético, considerando 06 estaciones meteorológicas que se ubican dentro de la cuenca.
- ✓ La evapotranspiración potencial anual calculada mediante el método de Tanque clase A, en la cuenca del río Coata es de 1190.70 mm., considerando los registros de evaporación total en las estaciones Pampa Huta, Santa Lucía, Cabanilla, Lampa y Juliaca.
- ✓ En la determinación del coeficiente de escurrimiento para la cuenca del río Coata, mediante la fórmula de Turc y la ecuación validada para la región de la sierra del sur de Perú (Misión Alemana), existen diferencias en los resultados cuyos valores son de 0.42 y 0.34, respectivamente.
- ✓ 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 Unocolla, se obtiene un coeficiente de correlación del 95 %.
- ✓ De los resultados de la prueba estadística de consistencia de la media se puede concluir que estadísticamente la media de los caudales generados son iguales a la media de los caudales aforados del río Coata, puesto que el valor de T calculado (0.61) es menor que el valor de T tabular (1.64); y la desviación estándar de los caudales generados son estadísticamente iguales a la desviación estándar de los caudales aforados, dado que el valor de F calculado (1.16) es menor que F tabular (1.17).

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

RECOMENDACIONES

A partir del estudio realizado se recomienda:

- Motivar a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, la aplicación de modelos matemáticos, para solucionar la problemática en el área de hidrología e hidráulica, motivo de trabajos de investigación.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación, van a servir como referencia a las posteriores investigaciones con otros fines.
- Usar la metodología y el Modelo hidrológico de Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales de otras cuencas de la Región Puno.
- Realizar estudios de determinación de caudales medios mensuales mediante modelos estocásticos y realizar comparaciones con los resultados obtenidos en esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRE N., M. 1992 "Análisis y Aplicación de Modelos Matemáticos para la Generación de Caudales en Cuencas de la Región". Cusco.
2. APARICIO MIJARES, F.J. 1989. "Fundamentos de Hidrología de Superficie". Primera edición. Editorial Limusa. México. Pag. 203, Pag. 206 – 208, Pag. 252..
3. Absalón Vásquez V., Lorenzo Ch., 1992 "El riego" Tomo I.
4. COAQUIRA A, R. 1998. "Análisis de precipitaciones máximas de 24 horas". PRORRIDRE. Puno. Perú. Pag. 10.
5. CUTIPA L, E. 1999. "Aplicación de Modelos Hidrológicos en el Análisis de Máximas Avenidas del Río Grande Ilave – Puno". Tesis de Ing. Agrícola. UNAP. Puno. Perú.
6. CLARK, R.T. 1973 "Mathematical Models in Hydrology". FAO Rome.
7. CHEREQUE M, W. 1989. "Hidrología" CONCYTEC Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú. Pág 146.
8. CHOW, V. T.2000. "Hidrología Aplicada". Mc Graw-Hill Interamericana. Santafé de Bogotá. Colombia. Pag. 8, Pag. 9, Pag. 495.
9. FLEMIN, G. 1979. "Deterministic models in hydrology". FAO Rome.
10. GUEVARA e. 1991.Hidrología "Una Introducción a la Ciencia" EGN Comunicaciones.ValenciaVenezuela.357pág.
11. Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana. 1980 " Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones – Plan Meris II"
12. LINSLEY Jr.,R.K.;KOHLER,M.A.&PAULHUS,J.L.H. 1949. Applied Hydrology, New York ,McGraw-Hill --Book Company.
13. LUTZ SCHULZ. 1980. Generación de Caudales Mensuales en al Sierra del Perú. Plan Meris II. Cuzco–Perú. 50 pág.
14. LINSLEY, R.K. &Franzini J.B. 3ra Impresión "Ingeniería de los Recursos Hidraulicos" CECSA
15. MEJÍA, A. 2001. "Hidrología Aplicada". CIP. FIA. UNALM. Lima. Perú. Pag.69.
16. MONSALVE g. 1994. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.. 359 pág.
17. NANÍA S, L. 2003. "Métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales". Apuntes de clase de hidrología superficial y subterránea. Universidad de Granada. Pag.1, Pag. 10.

18. NANÍA S, L. 2003. "Métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales". Apuntes de clase de hidrología superficial y subterránea. Universidad de Granada. Pag.1, Pag. 10.
19. PAOLI, CAICK, MORRECI. 2002. "Consistencia en la determinación de crecidas de diseño por transformación lluvia – caudal y análisis de frecuencia (estudio de caso)". Vol. XVI. Ing. Hidráulica. México. Pag. 87-97.
20. PONCE V. M. 1989. "Engineering Hydrology – Principles and Practices". Prentice Hall. San Diego State University. EE. UU.
21. SALAS, J. 1976 "Modelos de Simulación Estocástica". CIDIAT, Mérida.
22. SCHOLZ, L. 1980, "Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana". Plan Meris II. Cusco
23. SCHULZE, R.E 1994 "Hydrological Models". IHE Delft.
24. SANTAYANA V.S. 1990. "Ingeniería de Recursos Hídricos" Departamento de Recursos Agua y Tierra de UNALM Lima – Perú.
25. US ARMY OF HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. 2001. "Hydrologic Modeling System HEC-HMS". Technical Reference Manual. Editor Arlen D. Feldman.
26. VILLON M. 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Lima–Perú.436pág.
27. VILLON M. 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Lima–Perú. 380pág.
28. TARAZONA, N. 2005. Generación de descargas mensuales en Sub Cuencas de la Cuenca del río Santa utilizando el método de Lutz Scholz. Tesis de grado en Ingeniería Agrícola. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria – La Molina. 345 p.
29. TICONA, O. 2012. Generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo Lutz Scholz para la Sub Cuenca del río Azángaro. Tesis de grado en Ingeniería Agrícola. Puno, Perú: Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. 145 p.
30. TITO, L. 2010. Calibración del modelo Lutz Scholz en la Sub Cuenca del río Ayaviri. Tesis de grado en Ingeniería Agrícola. Puno, Perú: Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. 98 p.

ANEXO

INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA

CUADRO 7-01: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI -

PUNO

DISTRITO: SANTA INFORMACION: TEMP.

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: LAMPA **LUCIA** MEDIA

ESTACION: CO. S/N LAT: 15°42' LONG: 70°36' ALT: 4050

SANTA LUCIA

ANOS	ENE	FEB	MAR	ABRL	MAY	JUN	JUL	AGT	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
2001	9.1	8.8	8.8	7.3	5.8	3.3	2.4	3.4	6.0	7.2	8.5	8.2	6.6
2002	8.6	8.9	8.7	7.5	6.0	4.3	2.9	4.0	5.5	7.3	8.1	8.9	6.7
2003	9.0	9.1	8.3	7.1	5.1	2.1	2.5	3.1	4.5	6.7	8.3	9.9	6.3
2004	9.3	9.0	9.0	7.4	3.5	2.6	2.9	4.2	5.8	7.1	8.8	9.5	6.6
2005	8.6	8.8	9.1	6.9	4.7	1.7	3.2	2.8	5.4	7.3	8.2	9.4	6.3
2006	8.8	9.4	8.9	7.4	3.7	3.0	2.1	4.6	5.2	7.3	9.5	9.6	6.6
2007	9.9	9.8	9.6	8.3	6.8	6.8	4.7	6.1	7.9	8.2	7.7	9.0	7.9
2008	9.4	6.0	8.2	6.5	3.2	3.1	1.9	3.1	4.5	7.4	8.3	8.9	5.9
2009	8.9	8.5	8.1	7.1	4.8	2.2	3.3	3.1	6.3	7.5	9.2	9.3	6.5
2010	9.0	10.0	9.3	7.3	4.8	3.2	2.9	3.8	5.7	7.3	8.5	9.2	6.8
MEDIA	9.1	8.8	8.8	7.3	4.8	3.2	2.9	3.8	5.7	7.3	8.5	9.2	6.6

Fuente: SENAMHI-2010

CUADRO 7-02: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

INFORMACION: T.

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: LAMPA **DISTRITO: PARATIA** MEDIA

ESTACION: CO. 110762 LAT: 15°29'00.7" LONG: 70°40'32.8" ALT. 4400

PAMPAHUTA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1966	7.4	7.0	6.5	4.3	2.8	1.6	0.9	2.0	3.2	4.8	5.9	6.5	4.4
1967	6.4	6.5	6.1	4.0	3.4	2.0	0.4	1.7	3.7	4.4	4.5	5.0	4.0
1968	5.8	6.0	5.1	3.9	2.3	0.7	0.2	0.8	2.5	4.4	5.6	5.8	3.6
1969	6.1	6.8	6.4	4.4	3.6	1.2	0.9	0.7	3.4	4.3	5.7	6.3	4.2
1970	6.2	6.4	5.5	4.9	3.7	2.0	0.7	1.7	3.2	4.8	5.3	5.7	4.2
1971	6.4	5.4	5.9	4.4	1.4	0.6	-0.6	0.8	2.0	2.7	4.0	5.6	3.2
1972	5.9	5.9	5.9	5.2	2.2	0.2	1.3	1.2	3.9	4.8	6.7	6.4	4.1
1973	7.2	6.7	6.8	5.8	4.0	1.4	0.8	1.6	3.5	5.7	5.9	5.8	4.6
1974	6.0	6.1	5.7	4.8	2.0	0.5	1.3	1.0	3.4	4.4	5.0	5.2	3.8
1975	5.5	6.2	5.8	5.0	3.1	1.0	-1.2	0.8	3.0	3.3	4.8	6.2	3.6
1976	6.1	6.4	6.5	4.2	2.1	0.5	0.7	1.4	4.3	3.8	3.9	6.7	3.9
1977	7.2	6.5	6.7	4.9	1.7	-0.4	1.3	1.0	3.8	5.0	6.2	6.5	4.2
1978	6.2	7.1	5.9	5.8	2.4	1.1	-0.4	2.2	2.9	4.2	6.1	6.6	4.2
1979	6.1	7.0	7.1	5.2	2.3	2.1	0.8	1.4	3.6	6.0	6.7	6.8	4.6
1980	7.3	6.9	6.7	5.4	2.6	1.4	1.8	2.3	4.1	6.2	6.4	5.9	4.8
1981	7.3	7.1	6.7	5.0	2.6	-0.3	0.6	2.3	3.1	5.4	7.0	7.1	4.5
1982	6.8	7.1	6.9	5.5	2.4	0.3	0.8	1.7	3.8	5.9	7.0	6.9	4.6
1983	8.3	8.0	7.8	7.0	3.9	1.5	1.2	3.7	4.4	5.1	5.3	7.0	5.3
1984	6.4	6.5	7.2	6.0	5.0	2.1	1.5	2.9	2.4	6.6	6.7	6.7	5.0
1985	6.8	6.9	6.7	6.2	4.6	3.1	0.3	2.7	4.5	4.5	5.6	6.4	4.9
1986	6.8	6.5	6.1	6.2	2.2	1.5	-0.6	1.8	3.8	3.8	6.4	6.9	4.3
1987	7.2	6.6	6.5	5.5	3.4	1.4	1.4	2.3	3.6	5.6	6.7	7.5	4.8
1988	7.5	7.4	7.0	6.3	4.3	0.9	1.4	2.4	5.1	5.1	4.9	7.0	4.9
1989	6.3	6.4	6.3	5.8	3.5	2.2	0.5	2.3	3.5	5.3	5.1	6.5	4.5
1990	6.5	6.0	5.9	5.6	3.3	1.9	0.5	2.1	2.9	6.5	7.1	7.0	4.6
1991	6.8	7.2	6.8	5.7	3.2	0.8	0.2	1.6	4.0	4.7	5.4	5.6	4.3
1992	6.2	6.4	6.5	4.8	3.0	2.0	0.5	0.6	3.0	4.9	4.8	6.6	4.1
1993	6.4	5.8	5.8	6.0	4.2	1.1	0.8	1.8	3.7	6.2	7.3	8.0	4.8
1994	7.5	7.1	6.5	6.6	4.4	1.4	1.3	2.5	4.6	3.6	5.9	6.5	4.8
1995	6.6	6.2	6.0	5.0	2.9	0.9	1.5	2.8	3.7	5.1	5.3	5.2	4.3
1996	6.2	6.3	6.1	5.5	3.4	0.9	-0.1	2.1	3.3	4.6	5.0	5.5	4.1
1997	5.8	5.7	5.4	4.0	2.6	0.6	1.2	1.9	4.2	4.9	6.0	7.0	4.1
1998	7.7	7.9	6.9	5.5	2.2	1.8	0.8	1.4	2.1	4.3	4.8	6.6	4.3
1999	5.4	5.8	6.0	5.3	3.2	0.7	0.7	1.6	2.0	4.1	4.0	5.5	3.7
2000	5.9	5.4	5.4	4.2	3.2	-0.2	-1.0	1.2	2.0	3.4	3.8	4.9	3.2
2001	5.4	5.7	5.5	4.3	2.8	1.1	0.1	0.6	3.2	4.2	5.3	5.1	3.6
2002	5.6	5.4	5.7	4.3	3.4	2.1	0.8	1.6	3.0	4.4	5.0	5.7	3.9
2003	6.3	6.0	5.2	4.2	2.2	-0.6	0.0	0.2	0.9	2.8	3.8	5.4	3.0
2004	5.2	5.5	5.7	4.1	0.9	-0.8	-0.2	1.1	2.1	3.4	4.5	5.7	3.1
2005	5.9	5.5	5.6	4.4	1.2	-1.1	0.2	-0.5	1.8	3.5	3.9	5.3	3.0
2006	4.8	5.4	5.5	3.6	0.8	0.2	-0.6	-1.6	1.8	3.9	5.6	5.6	2.9
2007	6.0	6.0	5.6	5.4	3.9	2.3	0.8	2.3	3.5	4.4	4.7	5.8	4.2
2008	5.8	5.8	5.0	4.4	1.5	1.0	0.1	0.7	2.1	5.1	5.9	6.1	3.6
2009	6.4	6.1	5.5	5.1	3.6	1.1	1.6	1.1	4.0	4.8	6.8	6.3	4.4
2010	6.9	7.4	7.0	6.3	4.2	3.2	1.0	2.4	3.4	4.9	5.2	6.6	4.9
MEDIA	6.4	6.4	6.2	5.1	2.9	1.1	0.6	1.6	3.2	4.7	5.5	6.2	4.2

Fuente: SENAMHI-2010

CUADRO 7-03: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

PROVINCIA: SAN DISTRITO: INFORMACION:
 DEPARTAMENTO: PUNO ROMAN CABANILLAS TEMP. MEDIA
 ESTACION: CO. 110780 LAT: 15°38'20.6" LONG: 70°20'46.2" ALT. 3900

CABANILLAS

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1966	10.8	10.4	9.5	8.9	7.1	6.3	6.1	8.3	9.2	10.7	10.7	11.1	9.1
1967	10.9	10.2	9.4	8.7	7.8	7.4	6.3	7.0	8.6	9.3	11.1	8.9	8.8
1968	9.5	9.4	8.5	8.0	6.7	6.1	5.7	7.1	8.1	9.9	9.7	10.5	8.3
1969	10.3	10.0	9.6	9.6	8.0	6.4	6.1	7.6	8.4	9.7	10.4	11.6	9.0
1970	10.0	10.0	9.1	9.0	7.9	6.9	6.0	7.4	8.8	10.4	10.4	10.5	8.9
1971	10.8	9.2	10.0	9.0	6.9	6.3	5.7	6.5	8.2	8.1	9.5	9.8	8.3
1972	8.9	8.9	9.2	8.9	7.2	6.1	7.1	7.5	8.9	9.7	11.0	10.6	8.7
1973	10.5	10.6	10.6	10.3	8.6	5.9	6.6	7.3	8.6	10.8	11.6	11.1	9.4
1974	9.6	9.6	9.5	9.4	7.8	6.7	7.0	6.7	8.5	9.8	10.5	10.8	8.8
1975	9.3	9.8	9.7	10.2	9.0	7.1	6.0	7.6	8.7	8.8	10.9	9.9	8.9
1976	9.5	9.8	9.9	8.2	7.7	5.9	6.6	7.3	8.6	9.9	10.0	11.3	8.7
1977	11.5	10.4	10.0	9.7	7.6	6.0	7.6	8.0	9.5	10.7	11.1	11.1	9.4
1978	10.9	11.4	10.9	10.9	8.0	7.3	6.1	7.0	9.0	9.8	10.9	10.7	9.4
1979	10.3	11.4	10.7	10.6	8.1	7.7	7.0	7.4	9.6	10.1	11.6	10.8	9.6
1980	12.1	11.4	11.2	10.1	8.4	8.2	8.2	8.0	9.9	10.3	10.8	10.2	9.9
1981	10.9	10.0	9.9	9.4	8.7	7.2	7.9	9.0	9.9	10.1	10.9	10.6	9.5
1982	10.6	10.6	10.4	9.3	9.4	7.9	7.5	8.8	9.4	10.2	10.1	10.4	9.6
1983	10.8	10.5	10.8	11.0	9.6	8.6	8.4	9.6	10.0	10.0	10.6	11.4	10.1
1984	10.7	10.6	10.6	9.8	9.3	8.3	9.0	8.5	9.2	9.7	9.6	9.8	9.6
1985	10.1	10.0	10.2	10.0	9.6	8.0	7.3	8.4	9.5	9.7	9.5	9.9	9.4
1986	10.4	10.0	10.4	9.4	6.9	6.9	5.2	7.5	8.7	9.7	10.6	9.8	8.8
1987	10.2	10.1	10.4	10.3	8.0	7.3	6.4	7.7	9.8	10.4	11.2	12.2	9.5
1988	10.5	10.7	10.2	9.9	9.0	7.0	6.5	8.4	9.8	10.2	11.0	10.8	9.5
1989	9.6	9.4	9.5	9.2	7.9	7.3	6.2	7.2	7.8	9.5	9.6	10.6	8.7
1990	9.5	9.6	9.6	9.4	8.1	5.9	5.6	8.0	8.3	8.8	9.3	9.0	8.4
1991	9.1	9.2	9.4	8.9	7.8	5.5	6.9	7.9	8.3	9.0	9.9	9.7	8.5
1992	9.2	9.8	9.6	9.3	8.0	7.8	6.3	6.8	9.0	9.2	9.5	10.4	8.7
1993	9.6	9.7	9.8	9.6	8.1	6.2	7.2	7.0	9.3	10.0	10.7	10.9	9.0
1994	9.6	9.5	9.0	9.1	8.0	6.1	6.2	6.9	8.6	9.8	10.9	10.2	8.7
1995	10.6	10.7	9.7	9.4	8.1	7.0	6.2	8.8	9.6	11.2	11.3	10.2	9.4
1996	10.7	10.2	10.7	9.9	8.8	6.9	6.3	8.5	9.4	11.1	10.2	10.2	9.4
1997	9.8	9.6	9.2	8.5	7.9	7.5	7.1	7.4	9.6	10.8	11.3	12.6	9.3
1998	12.3	12.6	12.3	11.2	9.0	8.0	7.4	9.4	10.3	11.3	11.4	12.0	10.6
1999	10.8	10.1	10.2	11.0	8.8	7.1	7.3	8.0	8.9	9.5	10.9	11.5	9.5
2000	10.2	9.8	10.3	9.6	8.8	7.4	6.4	8.2	9.7	9.9	11.0	10.2	9.3
2001	9.5	9.8	9.7	9.4	8.6	7.5	6.9	10.9	11.9	10.5	10.1	7.3	9.3
2002	11.1	10.5	10.5	10.0	8.8	8.0	6.5	7.9	9.5	10.2	11.0	11.2	9.6
2003	10.9	11.0	10.2	9.8	8.9	6.5	7.2	7.8	8.9	10.6	11.5	11.9	9.6
2004	10.4	10.7	11.2	10.4	8.8	7.0	6.9	7.6	9.8	11.5	12.2	12.2	9.9
2005	11.6	10.4	11.1	10.7	8.8	7.0	8.0	7.9	9.6	10.5	10.3	10.8	9.7
2006	9.6	10.7	10.5	9.3	7.4	6.9	5.6	8.5	9.7	10.8	11.3	11.3	9.3
2007	10.0	10.7	9.9	9.7	9.5	8.3	7.3	9.8	9.0	10.7	10.7	10.6	9.7
2008	9.8	10.1	9.5	9.8	7.8	7.6	6.8	8.2	9.5	10.7	11.6	10.5	9.3
2009	10.3	10.1	9.9	9.2	8.9	7.3	5.1	8.0	10.3	11.3	11.8	11.9	9.5
Media	10.3	10.2	10.1	9.6	8.3	7.1	6.7	7.9	9.2	10.1	10.7	10.7	9.2

Fuente: SENAMHI-2010.

**CUADRO 7-04: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA -
SENAMHI - PUNO**

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: LAMPA INFORMACION: T. MEDIA
 ESTACION: 110779 CO. LAT: 15°21'24.4" LONG: 70°22'14.6" ALT. 3892

LAMPA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1966	10.2	10.1	8.9	7.6	6.0	4.2	3.6	5.7	7.8	9.9	9.6	10.1	7.7
1967	10.1	9.5	9.2	7.6	6.7	4.6	4.1	5.4	7.9	8.4	9.3	8.3	7.5
1968	9.1	9.3	8.5	7.6	6.1	4.4	3.8	5.5	7.0	9.2	9.3	9.4	7.6
1969	9.7	9.8	9.9	9.0	6.8	4.7	4.3	4.2	7.0	8.3	10.1	10.2	7.9
1970	9.9	9.6	8.9	8.5	6.7	5.8	4.8	5.4	7.3	8.8	9.7	10.0	7.6
1971	9.8	9.0	9.1	7.9	5.2	4.9	3.6	5.4	6.4	6.8	8.4	9.3	7.5
1972	9.0	9.0	9.5	8.7	5.8	4.1	5.2	5.8	8.1	9.4	10.7	10.0	8.2
1973	10.8	10.4	9.8	9.6	7.4	4.9	4.5	6.4	7.4	9.8	10.1	9.6	8.0
1974	9.2	9.8	9.0	8.4	6.1	4.9	5.3	4.9	7.3	8.3	8.7	8.9	7.4
1975	8.6	9.6	9.0	8.1	6.1	4.4	2.8	5.4	7.6	6.9	8.2	8.9	7.2
1976	8.9	9.1	9.3	6.5	5.0	5.6	4.7	5.2	7.6	7.5	8.1	8.9	7.4
1977	10.0	9.7	9.6	8.8	3.8	4.0	5.0	4.9	7.6	8.3	9.7	9.3	7.5
1978	9.9	9.7	9.5	8.2	5.9	4.8	3.3	5.9	6.3	7.4	9.5	9.8	7.5
1979	9.4	10.0	9.9	7.8	5.2	5.7	4.2	4.8	6.3	8.0	9.4	9.2	7.8
1980	10.0	9.6	9.5	8.0	6.8	5.3	6.3	6.1	8.8	9.0	9.4	8.8	8.2
1981	9.9	9.5	9.1	8.7	6.8	5.0	6.2	7.6	8.1	8.4	10.1	9.7	8.1
1982	9.5	9.4	9.3	7.6	5.1	4.4	6.0	7.6	8.7	7.8	10.2	10.0	8.1
1983	9.2	7.4	9.9	8.7	6.8	6.1	7.0	6.9	8.3	7.6	9.3	10.8	8.1
1984	9.4	9.4	10.4	8.8	7.2	6.0	5.3	7.4	6.2	8.5	9.0	8.7	7.9
1985	9.3	8.8	8.6	8.5	7.4	5.8	3.5	6.1	8.7	8.4	8.7	9.1	7.8
1986	9.9	9.2	9.3	9.3	6.0	5.0	3.7	5.6	8.0	7.9	10.1	10.7	8.1
1987	10.9	9.8	9.9	8.9	7.1	5.3	5.0	5.9	7.4	8.9	10.7	11.0	8.3
1988	10.8	10.5	10.5	9.5	7.1	4.5	4.6	5.7	8.5	8.6	9.0	10.2	8.2
1989	9.9	9.4	9.8	8.8	6.5	5.8	4.7	5.9	7.5	8.8	8.7	10.4	8.2
1990	10.2	10.1	9.8	8.8	7.3	5.3	4.8	6.7	7.7	10.0	10.8	10.2	8.4
1991	10.5	10.4	10.6	9.1	6.6	4.4	5.4	6.5	8.3	9.4	9.2	9.5	8.0
1992	9.9	9.5	9.3	8.3	6.4	5.7	4.4	4.7	6.8	8.4	8.4	9.8	7.8
1993	9.6	8.6	9.3	8.8	6.6	4.4	5.0	5.5	7.4	9.0	10.3	10.9	8.0
1994	10.2	9.8	9.6	9.3	6.4	4.1	4.8	5.8	7.6	8.5	10.2	10.6	8.1
1995	10.9	10.1	9.5	8.3	6.2	4.5	5.4	6.8	8.0	9.3	9.6	9.4	8.1
1996	10.0	10.1	9.9	8.9	6.9	4.5	4.2	6.5	7.5	9.0	9.5	10.2	8.1
1997	10.0	9.5	9.1	7.4	6.1	4.1	4.8	5.9	8.2	9.3	10.1	11.7	8.5
1998	12.5	12.5	11.7	10.0	6.4	5.9	5.5	6.7	7.6	9.3	9.8	10.7	8.7
1999	10.5	10.3	10.2	9.2	7.2	4.9	5.4	6.5	7.7	9.1	8.9	10.3	8.3
2000	10.3	9.9	9.9	8.6	7.1	5.3	4.3	6.6	7.9	8.8	9.6	9.6	8.3
2001	9.9	10.0	9.7	8.8	6.8	5.4	4.9	5.8	8.6	9.6	10.7	10.2	8.6
2002	10.5	10.6	10.2	9.3	7.6	6.1	4.8	6.1	8.3	10.0	10.6	10.7	8.4
2003	10.5	10.8	9.9	8.7	6.8	4.3	5.0	5.5	6.8	7.9	9.1	10.8	8.0
2004	9.8	9.6	9.7	9.0	5.5	4.1	4.4	5.7	7.2	8.8	10.0	11.3	8.1
2005	10.8	10.2	10.8	9.8	6.4	3.7	5.2	5.0	7.9	9.6	9.8	10.1	8.3
2006	9.7	10.6	10.7	9.2	5.7	5.3	4.1	6.5	7.1	9.5	10.9	10.7	8.6
2007	10.9	11.1	9.9	9.6	7.8	6.2	5.4	7.0	8.8	9.6	9.3	9.8	8.2
2008	10.0	9.7	9.3	7.8	5.1	5.3	4.2	5.4	7.0	9.4	8.8	9.7	7.8
2009	9.6	9.6	9.1	8.2	6.6	4.1	5.4	5.2	8.1	9.4	10.6	10.5	8.0
Media	10.0	9.8	9.7	8.6	6.4	5.0	4.7	5.9	7.6	8.7	9.6	10.0	8.0

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-05: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: ROMAN DISTRITO: JULIACA MEDIA
 ESTACION: CO. S/N LAT: 15°26'39.2" LONG: 70°12'28.0" ALT. 3861

JULIACA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
2001	10.5	10.6	10.1	8.8	7.2	4.8	3.6	4.8	7.8	8.1	10.5	10.0	8.0
2002	10.5	10.4	10.0	9.3	7.4	5.9	3.2	5.4	6.5	8.9	10.0	10.4	8.2
2003	10.5	10.8	10.2	8.2	6.9	3.6	3.9	4.1	5.2	7.2	8.2	10.2	7.4
2004	10.2	10.3	10.4	9.2	5.2	3.3	3.1	5.4	7.8	9.4	10.1	11.0	8.0
2005	10.6	10.1	10.0	9.4	5.8	3.2	4.4	4.4	7.7	9.3	10.1	10.6	8.0
2006	9.9	10.9	11.3	9.5	6.1	5.1	4.1	7.0	7.9	10.2	11.1	11.4	8.7
2007	11.3	11.5	10.3	10.0	8.1	6.2	5.6	6.9	8.9	9.9	9.9	11.0	9.1
2008	10.5	10.7	9.8	8.5	5.6	4.9	4.1	5.6	7.6	10.3	11.5	11.1	8.4
2009	10.6	10.4	10.1	8.9	6.8	3.8	5.2	5.3	8.6	10.5	12.1	11.7	8.7
2010	11.7	11.8	11.1	9.9	7.4	6.6	5.0	6.6	8.5	10.3	10.4	10.8	9.2
Media	10.6	10.8	10.3	9.2	6.6	4.7	4.2	5.5	7.7	9.4	10.4	10.8	8.4

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-06: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: LAMPA DISTRITO: PARATIA INFORMACION: RELATIVA EN % HUMEDAD
 ESTACION: 110762 CO. LAT: 15°29'00.7" LONG: 70°40'32.8" ALT: 4400

PAMPAHUTA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1970	88	88	93	87	75	72	69	60	69	59	58	82	75
1971	86	91	85	75	64	65	54	57	54	48	60	78	68
1972	89	82	87	76	63	60	55	57	63	63	71	75	70
1973	87	87	85	83	70	59	59	56	66	64	67	73	71
1974	87	85	78	77	60	59	59	68	58	56	55	69	68
1975	81	85	81	72	68	67	56	53	60	54	52	77	67
1976	81	75	78	61	60	53	56	54	64	40	41	63	61
1977	65	78	78	55	49	46	49	39	52	52	65	60	57
1978	82	68	67	67	51	50	40	49	42	47	62	71	58
1979	74	71	74	60	48	49	43	38	33	52	52	67	55
1980	58	64	77	53	44	41	45	35	48	58	44	52	52
1981	73	75	69	57	40	35	38	50	41	44	45	56	52
1982	68	58	68	54	40	33	35	37	43	46	60	38	48
1983	50	50	50	59	57	58	55	36	71	71	63	77	58
1984	45	39	36	40	35	34	37	45	55	49	50	44	42
1985	58	65	68	62	55	50	41	30	45	41	46	48	51
1986	50	56	52	60	43	42	41	34	41	38	47	61	47
1987	66	55	57	55	52	49	51	47	45	57	59	56	54
1988	67	66	71	68	61	46	47	44	56	52	54	67	58
1989	71	72	75	70	63	61	69	58	52	68	62	60	65
1990	69	65	63	57	47	64	53	53	45	56	59	61	58
1991	66	62	69	67	58	61	61	61	59	57	68	64	63
1992	79	65	56	49	43	52	69	62	32	56	63	62	57
1993	71	59	68	64	37	55	31	39	38	58	63	65	54
1994	66	70	67	69	37	44	58	52	52	46	66	68	58
1995	67	69	72	65	59	40	49	56	62	41	65	50	58
1996	60	64	54	56	55	47	41	40	51	36	44	55	50
1997	64	64	61	53	43	46	50	45	40	38	43	50	50
1998	72	71	65	52	53	45	54	41	40	34	60	57	54
1999	53	78	80	74	61	60	42	40	39	56	36	47	56
2000	67	69	65	51	45	49	51	43	52	52	51	66	55
2001	88	80	78	71	61	56	55	54	58	57	56	61	65
2002	71	82	76	76	64	54	65	60	56	68	62	68	67
2003	73	76	78	68	63	59	57	55	58	55	58	66	64
2004	80	73	60	70	57	59	60	59	57	52	55	64	62
2005	67	61	69	64	58	58	54	54	28	55	59	67	58
2006	75	70	40	68	47	58	56	59	59	65	67	64	61
2007	71	72	77	68	60	56	59	53	64	58	61	61	63
2008	80	73	70	59	59	60	59	56	55	61	55	72	63
2009	69	73	72	74	59	58	59	54	56	50	61	68	63
2010	74	75	67	61	57	62	52	50	50	54	49	69	60
MEDIA	71	70	69	64	54	53	52	50	51	53	56	63	59

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO7-07: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DISTRITO: SANTA INFORMACION: HUMEDAD RELATIVA

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: LAMPA **LUCIA** EN %

ESTACION: CO. S/N LAT: 15°42' LONG: 70°36' ALT: 4050

SANTA LUCIA

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABRL	MAY	JUN	JUL	AGT	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
2001	71	70	73	67	66	72	66	66	66	56	56	65	66
2002	71	84	81	76	63	62	70	68	67	68	65	67	70
2003	71	45	83	67	62	66	66	66	64	63	66	68	66
2004	74	75	74	76	64	66	68	68	63	57	67	70	69
2005	72	78	73	68	60	61	61	62	62	64	67	75	67
2006	72	66	66	67	55	65	66	62	62	57	60	60	63
2007	61	63	68	63	54	56	61	58	56	56	61	63	60
2008	74	69	66	55	65	60	66	63	61	63	59	74	65
2009	71	78	74	64	62	60	63	63	61	59	69	70	66
MEDIA	71	70	73	67	61	63	65	64	62	60	63	68	66

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-08: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

PROVINCIA: SAN DISTRITO: INFORMACION: HUMEDAD RELATIVA
 DEPARTAMENTO: PUNO ROMAN CABANILLAS EN %
 ESTACION: CO. 110780 LAT: 15°38'20.6" LONG: 70°20'46.2" ALT. 3900

CABANILLAS

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1964	63	55	61	52	39	20	25	41	21	26	36	36	40
1965	53	59	59	51	31	94	93	92	94	86	58	75	70
1966	74	79	80	67	70	73	66	56	42	67	68	69	68
1967	55	68	81	58	48	51	72	62	63	58	51	68	61
1968	84	88	87	62	47	37	35	32	39	46	53	42	54
1969	67	68	69	59	48	48	47	46	68	50	53	56	57
1970	69	69	65	58	51	50	54	53	49	78	33	54	57
1971	53	66	50	48	40	41	40	44	33	32	45	50	45
1972	65	62	64	47	30	29	28	30	41	57	40	57	46
1973	65	63	63	55	45	25	31	38	44	33	37	43	45
1974	66	69	62	52	45	34	34	45	48	43	34	50	49
1975	61	65	67	51	48	43	39	41	45	46	35	59	50
1976	64	65	59	49	50	33	41	44	53	42	44	53	50
1977	52	63	67	44	37	38	42	45	47	50	51	55	49
1978	61	58	59	55	46	45	57	46	44	49	55	62	53
1979	67	64	64	53	43	40	42	46	42	43	46	58	51
1980	51	58	64	46	40	37	44	48	49	53	44	54	49
1981	67	69	71	63	47	55	55	50	48	50	55	56	57
1982	62	63	70	51	48	51	51	52	50	51	46	46	53
1983	51	53	40	46	43	54	50	48	55	50	48	54	49
1984	72	72	73	58	45	51	53	56	55	56	58	54	59
1985	54	61	63	60	56	58	44	52	55	55	61	62	57
1986	63	63	64	61	38	33	43	39	44	29	48	67	49
1987	78	58	62	48	35	43	42	34	25	34	46	35	45
1988	60	49	63	56	44	41	34	22	31	26	18	38	40
1989	61	61	64	60	45	43	38	37	33	44	31	27	45
1990	53	42	44	43	36	42	32	34	31	43	49	53	42
1991	49	59	53	52	35	42	42	36	38	31	30	42	42
1992	52	50	39	35	31	37	40	43	31	41	45	43	41
1993	61	52	62	58	42	38	39	40	35	55	61	58	50
1994	72	69	68	69	48	41	37	26	28	18	32	50	47
1995	53	49	61	41	28	29	23	24	33	20	37	43	37
1996	38	66	52	51	33	30	33	35	28	28	35	52	40
1997	62	65	59	50	33	25	29	34	36	29	39	37	42
1998	57	58	54	39	22	35	27	24	17	26	48	51	38
1999	62	72	74	70	51	42	35	29	32	49	23	45	49
2000	65	68	59	47	33	31	32	39	54	62	36	60	49
2001	64	64	74	68	55	52	50	58	42	41	50	52	56
2002	66	78	76	75	64	56	55	53	56	64	62	68	64
2003	75	72	75	65	56	52	54	51	58	54	55	63	61
2004	77	71	67	64	52	47	55	57	50	40	49	59	57
2005	61	76	67	61	54	50	44	38	44	45	51	59	54
2006	71	66	70	65	47	47	46	44	44	48	58	59	55
2007	68	66	74	66	47	47	46		55		43	56	57
2008	73	65	62	45	40	37	39	34	37	43	44	62	48
2009	64	69	63	56	45	39	38	37	35	40	52	55	49
MEDIA	63	64	64	55	44	43	43	43	44	45	46	53	51

Fuente: SENAMHI-2010

CUADRO 7-09: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO:

INFORMACION: HUMEDAD

PUNO

PROVINCIA: LAMPA **DISTRITO: LAMPA** RELATIVA

ESTACION: CO. 110779

LAT: 15°21'24.4"

LONG: 70°22'14.6"

ALT. 3892

LAMPA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1964	51	61	58	60	38	30	30	25	31	27	37	41	41
1965	57	61	60	56	38	35	33	26	36	49	25	46	44
1966	35	43	46	56	50	41	37	29	33	42	48	56	43
1967	54	65	70	52	49	39	47	46	58	51	36	63	53
1968	63	72	68	56	49	49	44	38	43	47	60	46	53
1969	66	70	76	81	67	49	34	32	41	35	28	45	52
1970	65	68	77	70	61	54	40	33	40	40	34	59	53
1971	63	74	64	52	41	39	52	43	34	35	40	55	49
1972	71	68	70	59	42	42	42	36	50	43	49	54	52
1973	71	72	72	69	53	49	49	43	59	51	49	54	58
1974	70	50	60	63	43	48	47	60	52	49	40	53	53
1975	68	73	72	57	56	51	49	42	43	43	37	66	55
1976	75	64	66	61	64	67		58	65	60	65	71	65
1977	74	78	81	77	73	80	76	75	78	79	80	81	78
1978	86	82	81	81	69	57	54	60	52	44	57	66	66
1979	72	66	70	61	54	47	53	46	49	51	52	56	56
1980	57	58	63	53	50	54	50	46	55	55	50	55	54
1981	63	66	75	70	70	49	49	56	59	60	50	50	60
1982	61	58	60	56	51	48	58	55	62	64	60	60	58
1983	62	68	55	60	51	46	77	67	45	39	28	47	54
1984	71	77	79	69	66	70	63	54	49	69	69	70	67
1985	70	71	75	73	68	69	64	57	58	56	62	69	66
1986	68	75	72	70	57	57	62	56	59	56	55	62	62
1987	68	74	69	66	56	49	47	45	40	48	58	53	56
1988	75	65	75	69	64	58	58	48	51	62	52	50	61
1989	68	70	67	64	51	55	51	53	50	51	54	59	58
1990	70	59	56	62	57	63	58	61	58	73	64	64	62
1991	67	63	68	68	67	80	54	58	61	55	51	73	64
1992	72	58	46	48	36	47	24	36	38	45	46	48	45
1993	59	53	58	55	46	39	35	35	32	37	48	53	46
1994	53	57	59	50	50	39	29	27	32	36	42	54	44
1995	55	56	63	46	44	41	39	35	42	33	44	49	46
1996	59	65	62	59	47	45	43	48	42	36	47	60	51
1997	55	71	67	66	50	40	42	51	50	56	50	48	54
1998	60	63	65	57	42	44	38	41	31	41	55	58	50
1999	69	76	78	75	70	42	45	43	43	52	36	48	56
2000	64	63	63	54	51	45	43	47	56	63	50	65	55
2001	77	76	76	68	64	60	58	58	59	58	54	61	64
2002	68	77	76	75	67	61	61	59	55	65	61	67	66
2003	75	75	77	70	63	56	55	53	54	55	56	62	63
2004	80	73	70	69	53	92	57	60	58	50	52	58	64
2005	62	72	66	61	54	50	55	50	53	58	61	66	59
2006	73	70	70	64	54	54	48	51	52	52	59	60	59
2007	67	61	69	66	59	57	56	49	63	51	54	62	60
2008	78	71	71	61	55	54	52	51	51	58	53	64	60
2009	70	73	75	71	56	50	56	48	50	49	59	63	60
MEDIA	66	67	68	63	55	52	49	48	49	51	50	58	56

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-10: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

PROVINCIA: SAN INFORMACION: HUMEDAD RELATIVA
 DEPARTAMENTO: PUNO ROMAN DISTRITO: JULIACA EN %
 ESTACION: CO. S/N LAT: 15°26'39.2" LONG: 70°12'28.0" ALT. 3861

JULIACA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
2001	81	84	84	71	72	71	56	57	67	71	65	74	71
2002	79	83	82	63	69	65	48	42	61	73	70	72	67
2003	83	84	85	78	75	77	63	71	74	75	68	69	75
2004	88	81	81	78	69	76	79	73	74	62	66	72	75
2005	77	82	79	77	79	70	71	73	71	72	73	76	75
2006	84	83	86	84	73	69	68	67	67	70	76	75	75
2007	82	78	85	82	76	73	75	71	76	70	68	74	76
2008	85	84	84	80	79	78	76	74	67	76	72	82	78
2009	83	87	86	81	76	75	60	69	67	71	72	76	75
2010	80	85	82	75	72	67	63	64	66	67	63	77	72
2011	77	82	83	75	74	71	62	67	67	69	68	77	72
MEDIA	82	83	83	77	74	72	65	66	69	71	69	75	74

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-11: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO:

INFORMACION:

EVAPORACION

PUNO

PROVINCIA: LAMPA **DISTRITO: PARATIA** TOTAL

ESTACION:

CO. LAT:

110762

15°29'00.7"

LONG: 70°40'32.8"

ALT. 4400

PAMPAHUTA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1966	136.2	96.5	117.4	123.0	101.0	90.0	103.0	144.0	158.2	161.4	135.2	135.4	125.1
1967	143.2	88.5	99.6	109.8	99.7	104.6	105.1	115.3	118.8	138.3	173.0	129.2	118.8
1968	112.5	102.3	103.8	108.2	107.0	98.4	101.8	124.5	134.1	152.2	114.2	124.9	115.3
1969	103.6	107.6	107.1	97.4	106.5	97.0	99.4	128.0	136.7	165.8	176.3	150.4	123.0
1970	94.9	96.5	88.6	86.7	98.1	99.9	117.0	134.9	140.7	153.5	189.0	125.8	118.8
1971	115.7	90.4	114.2	111.9	114.2	107.9	115.5	130.7	171.3	167.2	172.9	125.6	128.1
1972	105.3	112.6	105.5	110.6	105.8	101.0	125.5	135.9	140.7	169.3	145.7	138.2	124.7
1973	102.1	101.4	108.2	90.8	95.1	98.4	100.3	128.1	117.3	130.9	137.4	144.5	112.9
1974	94.5	90.1	114.5	102.4	112.3	102.1	110.1	97.2	140.4	149.9	179.2	148.6	120.1
1975	111.0	83.7	102.7	109.6	90.6	96.9	109.0	128.8	146.2	157.5	157.5	118.3	117.7
1976	108.2	115.9	110.9	119.0	109.3	95.5	105.3	139.8	131.2	203.2	195.2	161.3	132.9
1977	164.3	94.0	103.9	131.6	123.3	104.0	158.0	158.0	153.9	161.5	135.9	149.0	136.5
1978	105.5	121.5	131.6	105.4	129.3	110.9	112.6	136.4	164.5	171.0	146.5	130.7	130.5
1979	115.8	137.6	105.9	117.3	125.8	122.5	124.9	141.0	182.7	164.3	161.3	128.5	135.6
1980	162.1	132.7	107.0	133.9	134.5	121.7	118.9	139.4	156.3	136.2	163.7	163.4	139.2
1981	122.7	106.6	130.7	113.3	143.6	121.9	128.2	124.2	146.8	169.3	164.1	142.2	134.5
1982	119.8	119.4	110.4	129.5	111.7	112.3	122.0	117.9	143.0	153.5	132.4	181.7	129.5
1983	177.1	144.9	166.8	140.1	128.1	105.3	121.0	157.6	172.2	194.8	257.9	181.6	162.3
1984	140.8	114.3	110.3	120.1	110.2	99.8	114.9	139.4	163.5	151.3	149.4	137.2	129.3
1985	143.3	113.9	124.1	117.2	111.9	95.1	111.0	130.3	146.2	177.8	137.9	120.1	127.4
1986	125.8	99.5	111.3	106.4	119.5	124.5	117.0	132.2	141.8	185.6	181.2	180.5	135.4
1987	135.7	138.0	148.2	131.4	139.6	122.4	131.7	153.4	184.5	194.4	153.5	186.5	151.6
1988	119.2	133.9	108.5	110.7	115.5	125.0	137.0	178.0	173.9	208.6	214.0	171.5	149.7
1989	127.8	123.5	112.8	105.7	125.0	110.7	112.2	137.8	179.6	170.9	168.8	193.1	139.0
1990	138.5	147.1	146.4	137.0	128.6	98.0	116.9	134.5	170.9	172.5	132.3	129.4	137.7
1991	134.6	121.3	121.3	114.8	122.3	115.6	119.0	138.5	152.8	160.0	150.5	128.5	131.6
1992	93.5	139.4	152.9	159.9	138.5	117.2	124.0	126.0	176.5	172.6	175.1	166.7	145.2
1993	112.2	130.5	108.8	119.5	132.6	106.0	120.5	132.1	156.1	152.7	125.5	123.1	126.6
1994	105.5	106.1	108.1	93.8	115.4	94.6	101.0	129.0	133.4	188.4	154.3	144.9	122.9
1995	142.4	124.5	111.9	108.8	117.6	126.0	125.0	154.6	142.3	190.1	163.2	149.8	138.0
1996	126.9	103.7	124.0	103.4	103.0	111.5	128.0	124.9	165.3	191.0	146.7	110.3	128.2
1997	98.6	91.0	104.4	104.4	114.1	112.5	116.3	113.2	119.4	146.6	136.4	129.2	115.5
1998	89.1	76.3	95.9	101.2	116.0	99.9	98.0	112.5	135.5	128.3	130.2	134.4	109.8
1999	98.6	74.9	74.5	74.5	88.3	90.5	90.4	104.5	113.9	104.9	142.9	122.2	98.3
2000	95.3	83.8	87.0	92.9	94.2	79.1	85.6	100.3	123.5	116.9	145.9	95.5	100.0
2001	77.8	73.8	75.9	77.4	83.7	73.7	80.3	97.7	114.7	122.1	125.6	113.3	93.0
2002	93.2	57.8	74.0	65.8	72.8	75.4	76.8	91.5	104.5	99.0	105.3	105.1	85.1
2003	96.1	86.2	75.0	79.9	83.5	79.4	98.0	105.8	104.3	122.6	139.0	127.4	99.8
2004	80.1	87.8	97.0	86.0	105.0	82.0	82.1	97.5	112.1	144.1	140.5	122.5	103.1
2005	108.3	73.5	93.1	93.3	94.8	90.4	103.4	112.4	120.8	119.7	126.5	109.0	103.8
2006	92.1	98.0	95.8	80.8	105.8	93.7	94.3	101.0	118.1	131.5	107.4	124.2	103.6
2007	106.9	96.6	94.6	88.6	94.2	100.1	104.7	125.7	100.8	137.2	138.1	111.5	108.3
2008	69.9	77.2	97.4	101.3	105.5	91.8	90.4	107.1	132.8	130.8	140.1	104.9	104.1
2009	98.5	74.3	87.9	89.5	92.8	90.5	102.0	111.9	122.2	144.8	123.6	119.6	104.8
2010	89.5	80.2	99.8	88.7	100.6	93.8	98.7	117.6	119.7	141.1	154.1	99.3	106.9
MEDIA	112.7	102.0	106.4	105.2	109.0	100.6	109.1	126.4	140.3	156.1	150.9	133.7	120.6

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-12: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO:

DISTRITO: SANTA

PUNO

PROVINCIA: LAMPA **LUCIA**

INFORMACION: EVAPORACION TOTAL

ESTACION: CO. S/N

LAT: 15°42'

LONG: 70°36'

ALT: 4050

SANTA LUCIA

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGT	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
2001	120.5	115.1	126.5	122.7	105.0	101.2	100.4	104.3	140.4	160.9	195.4	159.1	129.3
2002	122.7	87.5	113.7	101.0	109.7	108.0	99.0	115.6	125.4	143.2	163.8	141.8	119.3
2003	116.4	109.9	123.5	107.1	100.8	89.5	99.9	118.1	130.2	172.7	183.9	151.8	125.3
2004	115.4	119.0	139.0	122.6	131.9	110.0	106.0	105.1	120.9	134.9	180.6	134.0	126.6
2005	130.3	111.9	148.0	144.5	151.5	120.8	121.7	123.9	108.6	154.1	156.0	132.9	133.7
2006	121.2	118.0	130.9	136.9	122.8	112.9	119.9	118.1	138.5	143.2	142.5	144.5	129.1
2007	149.2	158.9	130.2	131.0	143.9	142.9	127.0	148.7	123.8	149.6	133.7	125.0	138.7
2008	115.6	143.7	140.6	132.9	116.2	113.4	114.0	122.0	118.1	114.7	119.4	100.9	121.0
2009	109.1	93.4	105.7	105.9	112.6	106.8	107.8	111.5	114.4	120.6	105.0	108.9	108.5
2010	104.5	93.9	107.0	122.7	121.6	111.7	110.6	118.6	124.5	143.8	153.4	133.2	120.5
MEDIA	120.5	115.1	126.5	122.7	121.6	111.7	110.6	118.6	124.5	143.8	153.4	133.2	125.2

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-13: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: ROMAN SAN DISTRITO: CABANILLAS INFORMACION: EVAPORACION TOTAL
 LAT: ESTACION: CO. 110780 15°38'20.6" LONG: 70°20'46.2" ALT. 3900

CABANILLAS

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1995	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	183.6	198.3	207.2	188.4	141.2
1996	135.0	138.2	157.5	176.7	185.9	183.8	185.0	163.8	183.0	233.3	185.8	177.1	175.4
1997	124.0	133.4	113.5	113.1	129.7	142.0	152.0	127.4	139.8	171.0	164.3	164.9	139.6
1998	115.0	133.0	151.3	163.9	160.0	128.0	153.0	173.5	206.0	186.7	184.6	177.0	161.0
1999	139.2	89.8	101.2	88.0	174.2	139.4	165.4	151.8	142.9	130.2	189.0	166.3	139.8
2000	121.6	91.7	106.1	133.1	151.6	147.8	157.4	151.5	183.8	144.3	164.5	133.4	140.6
2001	70.0	47.1	100.7	120.5	152.9	166.0	162.0	163.9	186.9	164.8	149.0	143.2	135.6
2002	133.7	88.0	72.5	89.2	140.9	146.2	143.4	132.9	153.4	172.2	164.5	166.1	133.6
2003	107.3	89.4	92.3	125.2	155.2	160.8	161.2	167.3	159.7	177.8	181.0	162.4	145.0
2004	95.0	116.2	114.0	144.8	171.8	152.0	139.5	135.6	161.4	182.9	171.8	149.3	144.5
2005	130.4	67.5	120.3	130.9	166.6	149.4	157.2	165.8	155.3	168.4	157.6	139.8	142.4
2006	79.5	103.4	93.2	115.8	156.3	148.1	172.1	158.3	155.2	156.2	143.8	124.0	133.8
2007	130.6	110.0	87.4	128.1	141.5	145.7	153.1	153.2	126.3	114.6	142.5	135.2	130.7
2008	85.2	112.0	139.0	147.3	157.4	152.4	158.5	160.8	155.2	145.7	157.5	123.7	141.2
2009	137.3	118.9	142.2	146.8	154.4	160.6	151.1	159.3	153.1	157.4	131.7	112.3	143.8
MEDIA	114.6	103.5	113.7	129.2	154.2	149.1	155.0	152.0	163.0	166.9	166.3	150.9	143.2

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-14: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO:

PUNO

PROVINCIA: LAMPA

DISTRITO: LAMPA

INFORMACION: EVAPORACION TOTAL

LAT:

ESTACION: CO. 110779 15°21'24.4"

LONG: 70°22'14.6"

ALT. 3892

LAMPA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1995	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	121.0	144.6	153.7	184.0	159.7	160.6	134.9
1996	142.7	194.9	115.1	102.3	101.5	104.0	109.8	125.5	164.3	187.9	144.0	136.6	126.0
1997	119.2	99.8	106.5	95.8	94.9	85.0	102.0	106.8	129.4	150.7	139.5	165.6	115.1
1998	132.8	111.2	105.8	95.4	101.0	82.8	89.0	117.0	131.2	134.9	133.9	132.1	109.8
1999	110.5	77.1	89.2	82.3	91.1	90.9	97.0	104.3	122.2	115.6	147.5	139.4	109.2
2000	105.7	129.0	99.5	103.1	92.2	86.1	100.3	119.1	132.4	113.8	161.5	110.4	106.6
2001	93.5	73.5	76.6	79.1	81.3	77.2	81.4	103.5	113.3	138.2	153.6	134.7	100.4
2002	128.1	85.5	91.3	75.1	78.8	67.8	77.6	98.8	124.1	118.9	128.7	127.8	105.0
2003	102.8	107.8	84.0	84.9	88.8	77.4	96.5	107.9	113.7	153.8	157.8	141.7	112.2
2004	127.5	103.1	114.7	91.7	92.9	81.0	90.5	103.2	105.3	158.0	151.0	156.6	112.8
2005	128.5	88.9	112.5	95.3	90.2	82.6	100.8	116.7	130.5	132.4	130.9	121.3	110.5
2006	102.1	108.6	114.8	87.3	95.5	71.6	86.1	111.1	130.3	143.4	128.1	141.9	110.3
2007	115.0	104.4	103.0	93.4	82.8	77.4	89.9	125.4	111.2	152.4	138.3	133.6	108.6
2008	81.9	95.7	93.4	93.2	85.8	89.3	85.6	109.3	138.4	136.4	154.3	117.3	109.8
2009	109.2	98.6	97.3	96.0	103.5	105.3	104.9	109.9	128.0	136.8	130.0	134.2	112.9
MEDIA	114.3	106.2	101.2	92.6	93.0	86.2	95.5	113.5	128.5	143.8	143.9	136.9	113.0

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-15: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: SAN ROMAN DISTRITO: JULIACA INFORMACION: EVAPORACION TOTAL
 LAT: ESTACION: CO. S/N 15°26'39.2" LONG: 70°12'28.0" ALT. 3861

JULIACA

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
2001	122.0	99.2	107.6	94.9	98.5	87.7	96.2	119.6	115.1	172.0	185.8	164.6	118.6
2002	149.2	86.2	116.8	83.3	102.6	84.0	100.2	118.1	136.0	139.2	141.5	125.2	117.0
2003	106.9	97.2	100.3	83.3	97.0	83.4	102.9	122.4	132.6	170.9	170.8	158.4	118.1
2004	112.4	97.7	113.7	91.2	106.8	76.7	90.3	106.0	120.5	161.0	168.2	163.4	116.2
2005	138.6	93.8	119.4	97.2	93.7	75.0	105.7	115.9	145.6	142.9	131.9	121.9	112.9
2006	102.7	101.9	111.8	86.6	88.4	92.8	87.4	118.3	118.0	156.8	124.9	139.3	113.0
2007	121.2	116.0	110.9	82.3	78.3	78.9	92.6	124.4	117.1	171.1	148.7	142.5	115.6
2008	100.5	98.5	104.2	107.6	97.2	87.0	89.9	115.2	144.2	155.8	162.3	127.4	117.2
2009	121.4	90.0	103.3	105.4	107.5	86.0	94.9	134.8	133.7	159.8	145.1	141.8	122.8
2010	127.8	117.1	104.4	115.9	115.5	102.1	99.9	121.6	149.3	155.5	184.1	129.2	123.2
2011	139.4	93.7	91.3	96.2	98.2	110.6	98.4	119.6	131.2	158.5	156.3	141.4	118.7
MEDIA	122.0	99.2	107.6	94.9	98.5	87.7	96.2	119.6	131.2	158.5	156.3	141.4	117.8

Fuente: SENAMHI-2010.

CUADRO 7-16: SERIE DE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL CORREGIDAS.

AÑO	Santa Lucia	Lampa
1966	524.6	548.5
1967	607.1	633.9
1968	609.8	664.2
1969	685.4	590.4
1970	766.8	614.8
1971	723.5	605.7
1972	743.3	648.3
1973	665.0	694.6
1974	668.4	644.6
1975	633.2	636.7
1976	540.8	617.7
1977	610.2	707.1
1978	618.5	826.0
1979	484.0	659.4
1980	488.0	637.6
1981	633.0	708.2
1982	572.8	709.2
1983	346.7	584.5
1984	564.7	975.2
1985	527.1	886.7
1986	690.3	739.8
1987	403.4	638.0
1988	660.6	751.3
1989	449.4	500.2
1990	582.8	551.7
1991	493.1	616.1
1992	601.8	516.9
1993	476.6	664.6
1994	570.1	636.6
1995	519.6	482.7
1996	565.0	709.4
1997	500.6	857.7
1998	563.3	568.3
1999	527.2	744.1
2000	546.7	686.6
2001	602.9	787.2
2002	772.8	828.5
2003	679.7	702.6
2004	607.1	748.3
2005	718.7	870.6
2006	792.5	692.2
2007	641.2	753.1
2008	660.4	623.6
2009	688.6	688.3
2010	701.8	633.2