

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS POR MODELOS
DETERMINÍSTICOS TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ EN LA CUENCA
DEL RÍO ZAPATILLA - ILAVE”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Br: JHONY REINERIO QUISPE SÁNCHEZ

PROMOCIÓN 2010

PUNO – PERÚ

2013

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS POR MODELOS
DETERMINISTICOS TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ EN LA CUENCA
DEL RÍO ZAPATILLA - ILAVE”**

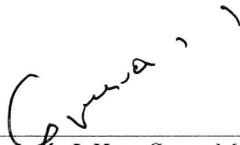
TESIS

**PRESENTADA A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÍCOLA

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO


Dr. José J. Vera Santa María

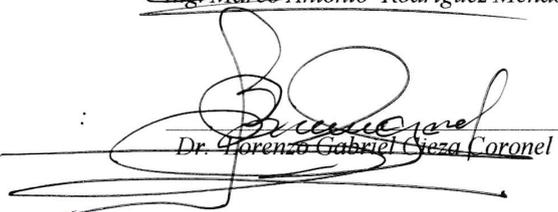
PRIMER JURADO


M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque

SEGUNDO JURADO


Ing. Marco Antonio Rodríguez Mendoza

DIRECTOR DE TESIS


Dr. Lorenzo Gabriel Cieza Coronel

PUNO - PERÚ

2013

**ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA: Modelamiento hidráulico
LÍNEA: Recursos Hídricos**

DEDICATORIA

Con especial cariño y eterna gratitud a mis queridos padres que me dieron la vida: Juan y Mauricia. Que desde el cielo infinito me protegen y guían, en caminar en la vida de la mano con la familia, el trabajo y el estudio.

Con inmensa gratitud y agradecimiento a mis hermanos Juana, Martha, José, Rosa, Cecilia y Nelly, por su incondicional e incomparable apoyo, quienes supieron alentarme en cada momento hasta lograr el objetivo de ser profesional.

A mis compañeros y amigos; quienes me brindaron apoyo y amistad incondicional.

Jhony R. Quispe Sánchez

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, nuestro padre celestial por inspirarme en el buen camino del bien y éxito, perseverar a pesar de las dificultades de la vida.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por permitirme ser profesional.
- A los docentes que laboraron en la Carrera Profesional de Ingeniería Agrícola, durante mi formación académica, por sus enseñanzas y consejos impartidos.
- Al Dr. Lorenzo Gabriel Cieza Coronel, por su apoyo como director, en el presente trabajo profesional.
- A los miembros del Jurado Calificador: Dr. José J. Vera Santa María, M.Sc. Oscar R. Mamani Luque y al Ing. Marco A. Rodríguez Mendoza.
- A todas las personas y amigos que de una u otra forma han contribuido en la ejecución de la presente tesis.

Jhony Reinerio.

RESUMEN

La cuenca del río Zapatilla por sus características hidrogeológicas está sometida a sufrir daños materiales en cualquier época de los meses de mayor precipitación. Por lo tanto el conocimiento de caudales medios en las sub cuencas del río Zapatilla es importante para tomar posibles alternativas y tener referencia en los futuros proyectos de ingeniería hidráulica.

El presente trabajo titulado “GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS POR MODELOS DETERMINISTICOS TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ EN LA CUENCA DEL RÍO ZAPATILLA - ILAVE” constituye un trabajo de investigación de comparar los caudales medios mensuales generados a través de los métodos TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ, con datos históricos aforados en el puente Zapatilla.

En el estudio de las precipitaciones de la cuenca del río Zapatilla, se emplearon 03 registros de precipitaciones pluviales y 01 registro de caudales medios mensuales. Se realizaron 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 utilizados por los modelos Hidrológicos Planteados TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ.

La cuenca del río Zapatilla se ha dividido en 03 sub cuencas como son CAMELLAQUE, CAMILLAQUI Y ZAPATILLA, con su respectiva área de influencia, y en cada una de ellas se determino la precipitación media mensual para el cual se utilizó el método del polígono de Thiessen, para así una vez ya obtenido las precipitaciones se procede a generar los caudales medios mensuales por los métodos ya mencionados y así poder calibrar estos dos modelos.

ÍNDICE

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.- JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3. ANTECEDENTES.....	2
1.4.- OBJETIVOS.....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3

CAPITULO II
REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ELEMENTOS METEOROLÓGICOS.....	4
2.1.1 La Atmósfera.....	4
2.1.2 Radiación.....	5
2.1.3 Humedad.....	6
2.1.4 Viento.....	6
2.1.5 Temperatura.....	7
2.2. DEFINICIÓN DE HIDROLOGÍA.....	7
2.2.1 EL CICLO HIDROLÓGICO Y SUS COMPONENTES.....	7
Esquema Tipo Físico.	8
Esquema de Tipo Geométrico.....	9
Esquema de Tipo Diagrama de Block.....	9
2.2.2 PRECIPITACIÓN.....	11
(1) La <i>elevación frontal</i> ,.....	11
(2) La <i>elevación orográfica</i> ,.....	11
(3) La <i>elevación convectiva</i> ,.....	12
2.2.3 INTERCEPCIÓN.....	12
2.2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	13
2.2.5 INFILTRACIÓN.....	13
2.2.6 ALMACENAMIENTO.....	14
2.2.5 ESCORRENTÍA.....	14
1. <i>Escorrimento superficial</i>	15
2. <i>Escorrimento subsuperficial</i>	15
3. <i>Escorrimento subterráneo</i>	15
2.2.8 BALANCE HÍDRICO MEDIO DE UNA CUENCA.....	16
a) <i>Balance hídrico en la superficie</i>	17
b) <i>Balance hídrico debajo de la superficie</i>	17
c) <i>Balance hídrico en la cuenca hidrográfica</i>	17
2.3 EL CICLO HIDROLÓGICO COMO SISTEMA.....	18
2.3.1 EL SISTEMA HIDROLÓGICO.....	19
(1) <i>El sistema del agua atmósfera</i> ,	19
(2) <i>El sistema del agua superficial</i> ,	19
(3) <i>El sistema del agua subsuperficial</i> ,.....	19
2.4 LA CUENCA HIDROLÓGICA.....	21
2.4.1 PRECIPITACIÓN.....	22
a.- Origen de la precipitación.....	22
b.- formas de la precipitación.....	22
c.- Clasificación de la Precipitación.....	23
1.- Precipitación de convección.	23
2.- Precipitación Orográfica.....	24
3.- Precipitación Ciclónica.....	24
d.- Calculo de la Precipitación media sobre una zona.....	25
1.- Promedio aritmético.....	25
2.- Polígono de Thiessen.....	25
3.- Isoyetas.....	27
2.4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	27

2.4.2.1	Conceptos de la Evapotranspiración.....	27
2.4.2.2	Métodos para el cálculo de la evapotranspiración.....	28
	• Método de Thornthwaite.....	28
	• Método de Blaney – Criddle.....	29
	• Método de Hargreaves.....	30
2.4.2.3	Análisis De Consistencia De La Información Hidrometeorológica.....	30
2.4.2.4	Análisis Visual De Hidrogramas.....	33
2.4.2.5	Análisis De Doble Masa.....	34
2.4.2.6	Análisis Estadístico.....	35
	1.- Análisis De Saltos.....	35
	2.- Análisis De Tendencias.....	40
	A.- Tendencia en la media.....	40
	B.- Tendencia en la desviación estándar.....	43
2.4.3	COMPLETACIÓN Y/O EXTENSIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	45
2.4.3.1	Ecuación De Regresión Lineal Simple.....	46
2.4.3.2	Procesos De Completación De Datos Por Regresión Lineal Múltiple.....	48
2.4.3.3	Extensión De Datos No Anuales.....	52
2.4.4	MODELO HIDROLÓGICO.....	53
2.4.5	MODELOS PRECIPITACIÓN – DESCARGA.....	54
2.6	MODELO HIDROLÓGICO DE TEMEZ.....	56
2.6.1	FORMULACIÓN TEÓRICA.....	57
	a.- Calculo del Excedente.....	57
	b.- Humedad en el Suelo y Evapotranspiración.....	57
	c.- Infiltración.....	58
	d.- Aportación Subterránea.....	58
	e.- Aportación Total.....	59
	f.- Parámetros del Modelo.....	59
2.6.2	VARIANTES DEL MODELO.....	60
	a.- Aportación Subterránea.....	60
	b.- Aportación Total.....	62
	c.- Parámetros del Modelo.....	62
	d.- Consideraciones sobre esta Variante.....	62
2.7	MODELO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ DE SERIES MENSUALES.....	63
	a.- Generalidades Del Modelo.....	63
	b.- Conceptos Básicos.....	64
2.7.1	Ecuación Del Balance Hídrico.....	65
2.7.2	Coefficiente De Escurrimiento.....	66
2.7.3	Precipitación Efectiva.....	68
2.7.4	Retención De La Cuenca.....	70
2.7.5	Relación Entre Descargas Y Retención.....	70
2.7.6	Coefficiente De Agotamiento.....	71
2.7.7	Almacenamiento Hídrico.....	72
2.7.8	Abastecimiento De La Retención.....	73
2.7.9	Determinación Del Caudal Mensual Para El Año Promedio.....	74
2.7.10	Generación Y Validación De Caudales Mensuales Para Periodos Extendidos.....	74
	2.7.10.1 Generación Con El Modelo Marcoviano De Primer Orden.....	75
	2.7.10.2 Restricciones Del Modelo.....	78

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.-	MATERIALES.....	79
	3.1.1.- Ubicación Del Ámbito De Estudio.....	79
	3.1.2.- Información Cartográfica.....	79
	3.1.3.- Información Hidrometeorologica.....	81
3.2.-	METODOLOGÍA.....	81
	3.2.1 Análisis Cartográfico De La Cuenca.....	81
3.3.-	PROCEDIMIENTO.....	89

3.3.1.- OBTENCIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA EXISTENTE.....	89
3.3.2.- ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA....	90
3.3.2.1.- Análisis Visual De Hidrogramas.....	90
3.3.2.2.- Análisis De Doble Masa.....	92
3.3.2.3.- Análisis Estadístico.....	92
3.3.3.- COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA FALTANTE....	92
3.3.4.- PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CUENCA.....	94
3.3.4.1.- Polígono De Thiessen.....	94
3.3.5.- GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES.....	96
3.3.5.1.- Modelamiento Hidrológico De Temez	96
3.3.5.2.- Modelamiento Hidrológico De Lutz Scholz	98
3.3.5.2.1 Generación y Validación de Caudales Mensuales para Periodos Extendidos.....	100
3.3.5.2.1.1 Generación con el Modelo Marcoviano de Primer Orden....	101

**CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1.- DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	105
4.2.- DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA.....	105
4.2.1.- Del Análisis Visual De Hidrogramas.....	105
4.2.2.- Del Análisis De Doble Masa.....	106
4.2.3.- Del Análisis Estadístico.....	110
4.3.- DE LA COMPLETACION Y EXTENCION DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA.....	111
4.4.- DEL CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CUENCA POR EL MÉTODO DEL POLÍGONO DE THIESSEN.....	112
4.5.- DE LA GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES.....	120
4.5.1.- Modelamiento Hidrológico De Temez.....	120
4.5.2.- Modelamiento Hidrológico De Lutz Scholz.....	125
4.5.2.1 Generación Y Validación De Caudales Mensuales Para Periodos Extendidos....	129
4.5.2.1.1 Generación Con El Modelo Marcoviano De Primer Orden.....	129
4.6.- COMPARACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES GENERADOS CON LOS HISTÓRICOS.....	137

**CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.- CONCLUSIONES.....	139
5.2.- RECOMENDACIONES.....	140
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	141
7.- ANEXO.....	142
7.1.- INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA ORIGINAL.....	143
7.2.- DATOS HISTÓRICOS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL PUNTO DE AFORO. (PUENTE ZAPATILLA).....	146
7.3.- CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PARA EL MÉTODO DE TEMEZ.....	147
7.4.- PARÁMETROS CALCULADOS Y GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS PARA EL MÉTODO DE LUTZ SCHOLZ PARA CADA SUB CUENCA.....	148

LISTA DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 2.1 Estructura aproximada de la atmosfera.....	5
Figura 2.2 El ciclo hidrológico y sus componentes.....	8
Figura 2.3 esquema tipo físico.....	9
Figura 2.4 esquema tipo diagrama block.....	10
Figura 2.5 zonas y procesos del agua subsuperficial.....	13
Figura 2.6 relación entre precipitación y escorrentía.....	15
Figura 2.7 modelo de balance hídrico simple.....	16
Figura 2.8 balance hídrico de la cuenca.....	17
Figura 2.9 el ciclo hidrológico como sistema.....	18
Figura 2.10 representación del sistema hidrológico global mediante diagrama de bloques.....	20
Figura 2.11 esquema del sistema hidrológico.....	20
Figura 2.12 Precipitación de convección.....	23
Figura 2.13 Precipitación orográfica.....	24
Figura 2.14 Precipitación ciclónica.....	24
Figura 2.15 Polígono de Thiessen.....	26
Figura 2.16 Serie con componente determinística transitoria en forma de salto.	31
Figura 2.17 Serie con tendencia lineal ascendente	32
Figura 2.18 Serie con componente determinística transitoria en forma de tendencia.	32
Figura 2.19 tipos de correlación.....	45
Figura 2.20 completacion de datos no anuales.....	49
Figura 2.21 Esquema Abstracto del ciclo hidrológico para el modelo matemático TEMEZ.....	56
Figura 2.22 a: Gasto y Abastecimiento de la Retención.....	64
Figura 2.22 b: Forma de producir la Escorrentía Generada en el modelo.....	65
Figura 3.1 Plano de Ubicación del área de estudio.....	80
Figura 3.3 Ubicación de las sub cuencas.....	88
Grafica 4.1 Diagrama de Análisis de Doble Masa.....	109
Grafica 4.1.a Diagrama de Análisis Doble Masa.....	109
Gráfica 4.2 Comparación grafica de caudales generados por el método de TEMEZ y los históricos.....	123
Grafica 4.3 Comparación grafica de caudales generados con el método de LUTZ SCHOLZ VS Históricos.....	137
Grafica 4.4 Comparación grafica de caudales generados VS históricos.....	138

LISTA DE CUADROS

Cuadro No 2.1 límite superior para la precipitación efectiva.....	69
Cuadro No 2.2 Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	69
Cuadro No 2.3 Almacenamiento Hídrico durante la Época de Lluvias (r %)......	74
Cuadro N° 2.4 ejemplo regresión múltiple.....	76
Cuadro N° 3.1 coordenadas de puntosa opuestos.....	79
Cuadro N° 3.2 resumen parámetros cuenca.....	87
Cuadro N° 3.3 estaciones pluviométricas.....	89
Cuadro N° 3.4 Temperatura y humedad.....	89
Cuadro N° 3.5 Datos históricos de la estación llave.....	90
Cuadro N° 3.6 formato DAT.....	93
Cuadro N° 3.7 formato SAL.....	93
Cuadro N° 3.8 ejemplo regresión múltiple.....	102
Cuadro N° 4.1 Precipitación promedio anual para el análisis de doble masa.....	107
Cuadro N° 4.2 Análisis de doble masa de precipitaciones medios mensuales.....	108
Cuadro N° 4.3 Análisis de consistencia Estadístico.....	110
Cuadro N° 4.4 Precipitación mensual completados y extendidos Juli.....	112
Cuadro N° 4.5 Precipitación mensual completados y extendidos llave.....	113
Cuadro N° 4.6 Precipitación mensual completados y extendidos chilligua.....	114
Cuadro N° 4.7 Análisis de consistencia Estadístico.....	115
Cuadro N° 4.8 Calculo de la Precipitación media mensual cuenca Zapatilla.....	117
Cuadro N° 4.9 Calculo de la Precipitación mensual sub cuenca Camellaque.....	118
Cuadro N° 4.10 Calculo de la Precipitación mensual sub cuenca Camillaqui.....	119
Cuadro N° 4.11 Gene. de caudales medios mensuales por el método de TEMEZ-Zapatilla.....	124
Cuadro N° 4.12 números aleatorios generados con distribución normal.....	131
Cuadro N° 4.13 precipitación efectiva generada cuenca del rio Zapatilla.....	133
Cuadro N° 4.14 Gene. de Caudales Medios mensuales por el Método de LUTZ SCHOLZ – Zapatilla (mm/mes).....	134
Cuadro N° 4.15 Gene. de Caudales Medios mensuales por el Método de LUTZ SCHOLZ – Zapatilla (m3/s).....	135
Cuadro N° 4.16 Parámetros del modelo hidrológico lutz scholz para la generación de caudales medios mensuales.....	136
Cuadro N° 4.17 Comparación de caudales lutz scholz y temez e históricos.....	138

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

En las Regiones de nuestro País las cuencas alto andinas no tienen una representatividad adecuada que permita caracterizar la hidroclimatología de un territorio de tan compleja diversidad microclimática. Desde un punto de vista hidrológico Cuando una cuenca no dispone de estaciones de aforo de caudales se utiliza diversos métodos para generarlas a partir de elementos meteorológicos y geográficos, todos ellos que permitan generar las descargas a nivel mensual.

La información histórica disponible de caudales medios mensuales en la estaciones de aforo existentes, son escasas dentro de una cuenca, las cuales nos sitúa en un punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal, las cuales no son totalmente confiables, puesto que en los periodos de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos se tiene conocimiento que se han realizado “estimaciones subjetivas” de datos de caudal, además de extrapolar en los periodos de máximo escurrimiento la curva altura-caudal.

Los modelos determinísticos temez y lutzsch ofrecen una metodología para calibrar los parámetros hidrológicos, presentan una serie de expresiones empíricas regionalizadas que en teoría permitirán estimar los valores de los caudales a escala mensual en cuencas sin estación de aforo.

Por lo tanto el conocimiento de la generación de caudales medios por modelos determinísticos temez y lutzsch en la cuenca del río Zapatilla es importante para tomar posibles alternativas y tener referencia en los futuros proyectos de ingeniería hidráulica.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación pretende 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.), así también la instalación de especies forestales; las que nos permitirán controlar los posibles desastres que pudieran ocurrir durante el tiempo en la zona donde se requiera. Los resultados de la aplicación de los modelos

determinísticos Temez y Lutz Scholz en las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

1.3 ANTECEDENTES

- El Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – PELT, realizó estudios hidrológicos del sistema hídrico Ramis (2,000), Huancané – Suches (2,001), determinándose los caudales y la disponibilidad hídrica desde el punto de vista hidrológico.
- Tesis “Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Coata”, Presentado por Leoncio Quispe Zapana y Alejandro Amanqui Amanqui (1988) donde llego a los resultados las descargas registradas en la estación hidrométrica del Puente Maravillas con 20 años de observación tiene un modulo medio anual de 41.123 m³/seg., un modulo máximo anual de 74.7 m³/seg. (año húmedo 1962/1963), y un modulo mínimo anual 5.30 m³/seg. (año seco 1956/1957); además determino el déficit de escurrimiento medio anual 457.7 mm/año y un coeficiente medio de escorrentía 39.5 %.
- El modelo determinístico TEMEZ fue utilizado para diferentes estudios como son, para la determinación de caudales medios en las siguientes estaciones que mencionamos a continuación bocatoma Azángaro, puente Coypa coypa y puente Lagunillas, ubicadas en las cuenca Ramis y Ilave, estos estudios fueron realizados con la Institución PRORRIDRE en el año 1998.
- El modelo determinístico LUTZ SCHOLZ fue utilizado para diferentes estudios como son, para la determinación de caudales medios en las siguientes estaciones que mencionamos a continuación en el Puente Ramis, Azangaro y Puente Ayaviri; estos estudios fueron realizados por Ministerio de Agricultura mediante INRENA que tuvo lugar estos estudios en el año 2003.
- Así también la autoridad nacional del agua (ANA), autoridad local del agua (ALA), programa regional de riego y drenaje (PRORRIDRE) y otros vienen utilizando el modelo lutz scholz para diversos trabajos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Generar caudales medios mensuales mediante modelos determinísticos TEMEZ y LUTZ SCHOLZ y realizar su calibración de los modelos antes mencionados, para la cuenca del río Zapatilla.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los parámetros de los modelos hidrológicos determinísticos TEMEZ y LUTZ SCHOLZ.
2. Calibrar los parámetros de modelos determinísticos TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ para la generación de caudales medios mensuales en la Cuenca del río Zapatilla.
3. Comparar los caudales medios mensuales generados por los modelos determinísticos TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ, para la validación y aplicación de un modelo determinístico.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

[Guevara P., 1991] La meteorología como ciencia que estudia la atmósfera, trata de establecer la interrelación que existe entre los parámetros del ciclo hidrológico tales como: viento, precipitación, temperatura, presión y humedad. Como una rama de la física, se refiere a la atmósfera como una mezcla de gases cuyas interrelaciones entre la presión, temperatura y volumen se rigen por las leyes de la termodinámica. También involucra consideraciones geográficas debido a que los factores como latitud, longitud, topografía y la ubicación de las masas de agua y tierra, afectan al carácter y distribución de las condiciones meteorológicas sobre la superficie terrestre. Todos estos factores determinan la magnitud de la precipitación y la respuesta de la cuenca, así como su distribución en el espacio y en el tiempo.

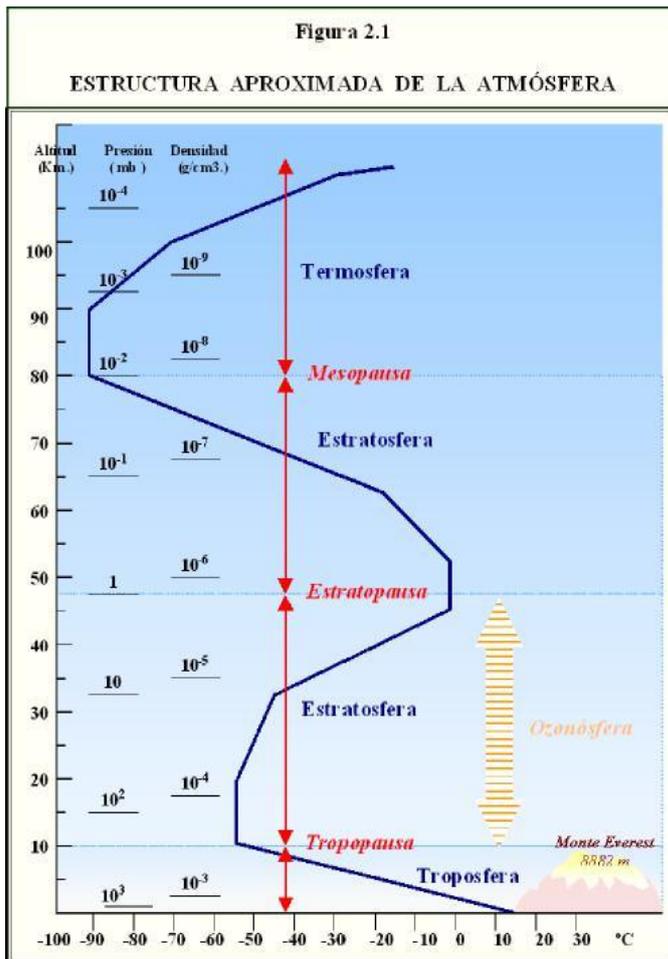
2.1.1 LA ATMÓSFERA.

[Mejía M., 2001] En forma general, la atmósfera está formada por una capa de 100 Km. de espesor sobre la tierra. Su estructura promedio se muestra en la figura 2.1 donde se puede notar que la presión y la densidad del aire decrecen rápidas y continuamente con el incremento de la altitud. La temperatura varía de una forma regional y característica y su perfil define las diferentes capas de la atmósfera.

Después de un decremento general de la temperatura a través de la tropósfera 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.

La atmósfera, capa gaseosa que envuelve la tierra, está constituida por una mezcla compleja de gases que varía en función del tiempo, de la localización geográfica, de la altitud y de las estaciones del año. De una manera simple se puede considerar el aire natural como constituido por tres partes principales: por el aire seco, por el vapor de agua y por las partículas sólidas en suspensión.

La presión atmosférica, es el peso de la columna de aire por unidad de área considerada desde el nivel de medición hasta el tope de la atmósfera; más específicamente la presión puede



ser considerada como la fuerza hacia abajo resultante de la acción de la gravedad sobre la masa de aire que queda sobre una unidad de área horizontal.

Para el hidrólogo, la tropósfera es la capa más importante debido a que contiene casi el 75 % del peso de la atmósfera y virtualmente toda su humedad. El meteorólogo, en cambio está cada vez más interesado en la estratósfera y mesósfera, ya que en estas capas se originan algunas de las perturbaciones que afectan la Tropósfera y la superficie de la tierra.

2.1.2 RADIACIÓN

[Guevara P., 1991] 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 cal/cm²/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 dispersa y absorbida por la atmósfera y la tierra; otra es reflejada por las nubes y la tierra. La proporción de radiación reflejada (por las nubes o la 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 10 y 30% y los océanos entre 6 y 8%. El albedo medio para la superficie terrestre es 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 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. Ésta diferencia también se presenta a lo largo del año para una misma localidad ocasionando variaciones en el clima no solo en relación a la altitud, sino también como el tiempo (estaciones climáticas).

2.1.3 HUMEDAD

[Guevara P., 1991] La fracción de la atmósfera conformada por el vapor de agua es muy pequeña comparada con los otros componentes pero es extremadamente importante ya que determina las condiciones meteorológicas prevalecientes (La precipitación se deriva de esta agua atmosférica). El contenido de humedad del aire es también un factor significativo en el proceso de evaporación local, Por lo tanto es necesario que el hidrólogo esté al corriente de lo que ocurre en la atmósfera y comprender los efectos termodinámicos de la humedad atmosférica.

En la mayoría de los casos de interés práctico, el vapor de agua se rige por la ley de los gases, la humedad atmosférica proviene de la evaporación y transpiración y el vapor de agua es transportado sobre los continentes mediante los sistemas de circulación atmosférica.

2.1.4 VIENTO

[Guevara P., 1991] El viento se origina por las diferencias de presiones y temperaturas y, se manifiesta como el movimiento de las masas de aire. Es un factor muy importante que se relaciona con otros parámetros hidrometeorológicos tal como: la evaporación, la precipitación y los fenómenos de difusión del vapor de agua, del calor y elementos contaminantes.

2.1.5 TEMPERATURA

[Aliaga A., 1985]. La temperatura es una consecuencia directa de la insolación y de la radiación, su determinación es fundamental para el cálculo de la evaporación. 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, es decir, un decremento de la temperatura con la altitud de $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Km}$. en la tropósfera y condiciones aproximadamente isotérmicas en la estratósfera. La tasa de variación de la temperatura con la altitud es denominada **gradiente vertical de temperatura**.

El estudio del gradiente vertical de temperatura es de gran interés ya que a través de él se puede medir 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: gradiente vertical de temperatura, distribución geográfica de la temperatura y variación de la temperatura con el tiempo.

2.2. DEFINICIÓN DE HIDROLOGÍA

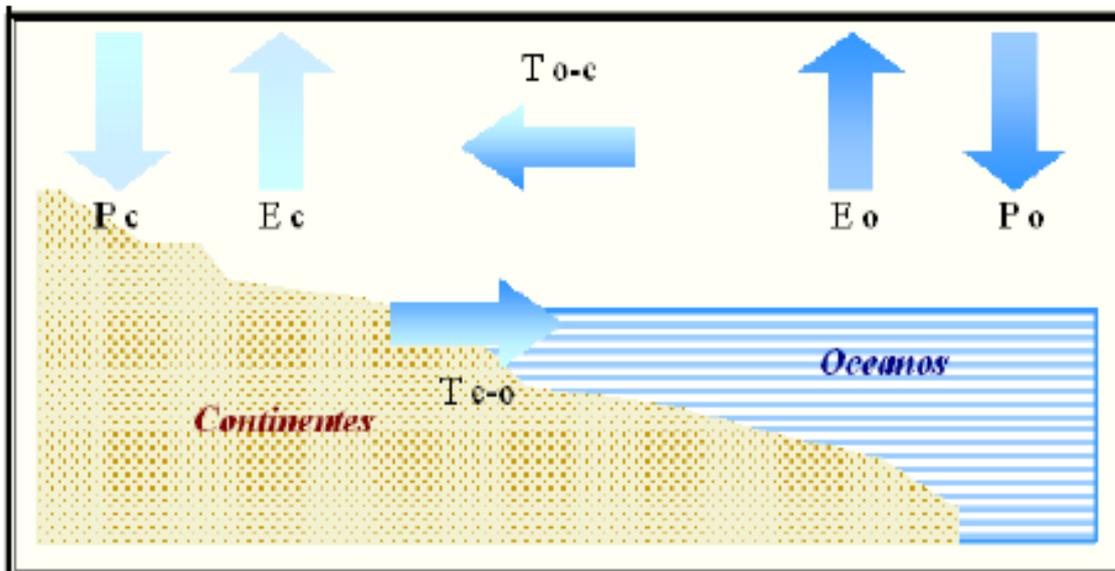
(Villón M., 2002). La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos.

[Aparicio F., 1997]. La hidrología versa sobre el agua de la tierra, su existencia y su distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia en el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua sobre la tierra.

2.2.1 EI CICLO HIDROLÓGICO Y SUS COMPONENTES

[Guevara P., 1991] Si se considera el sistema planetario tierra se observa sus tres estados gaseoso, líquido y sólido que se encuentra en la atmósfera, en la hidrósfera y en la litósfera. En este sentido se entiende por el ciclo del agua, al movimiento que éste realiza con o sin cambio en su estado y conserva la masa total como se sintetiza en la figura N° 2.2.

Figura 2.2 EL CICLO HIDROLÓGICO Y SUS COMPONENTES



P_c : Precipitación sobre los continentes

P_o : Precipitación sobre el océano

E_c : Evaporación de los continentes

E_o : Evaporación de los océanos

T_{o-c} : Transporte atmosférico de los océanos al continente

T_{c-o} : Transporte superficial y subterráneo de los continentes a los océanos

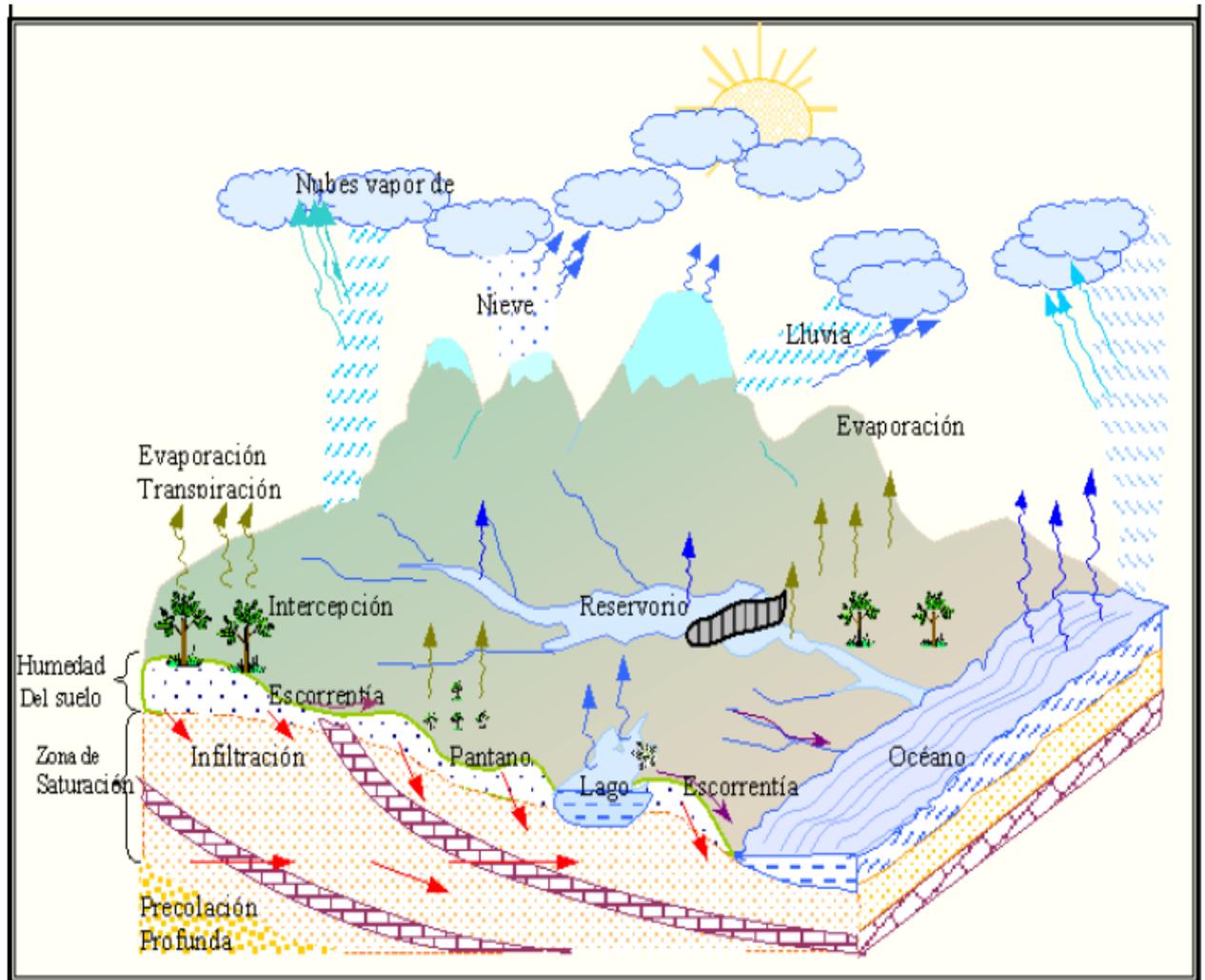
Del esquema global interesa analizar lo que sucede en la parte continental y dentro de ésta es necesario fijar sistemas de referencia (espacios o áreas) en los cuales se intentará explicar y, posteriormente relacionar y calcular los componentes del ciclo hidrológico. Estos sistemas de referencia son por lo general las cuencas hidrográficas término tan conocido como discutido.

La parte continental del ciclo del agua referido a una cuenca, ha recibido diferentes representaciones las cuales se han agrupado en tres esquemas tipos que son:

Esquema Tipo Físico.

Trata de considerar una porción de terreno natural donde se indica la existencia del relieve, cursos de agua, coberturas del suelo, perfil de suelos y acuíferos. Sobre este sistema actúa el estado atmosférico y como condición de borde generalmente se presentan las salidas a los 8 océanos o a otros cursos de agua. Figura 2.3

Figura 2.3 ESQUEMA TIPO FÍSICO



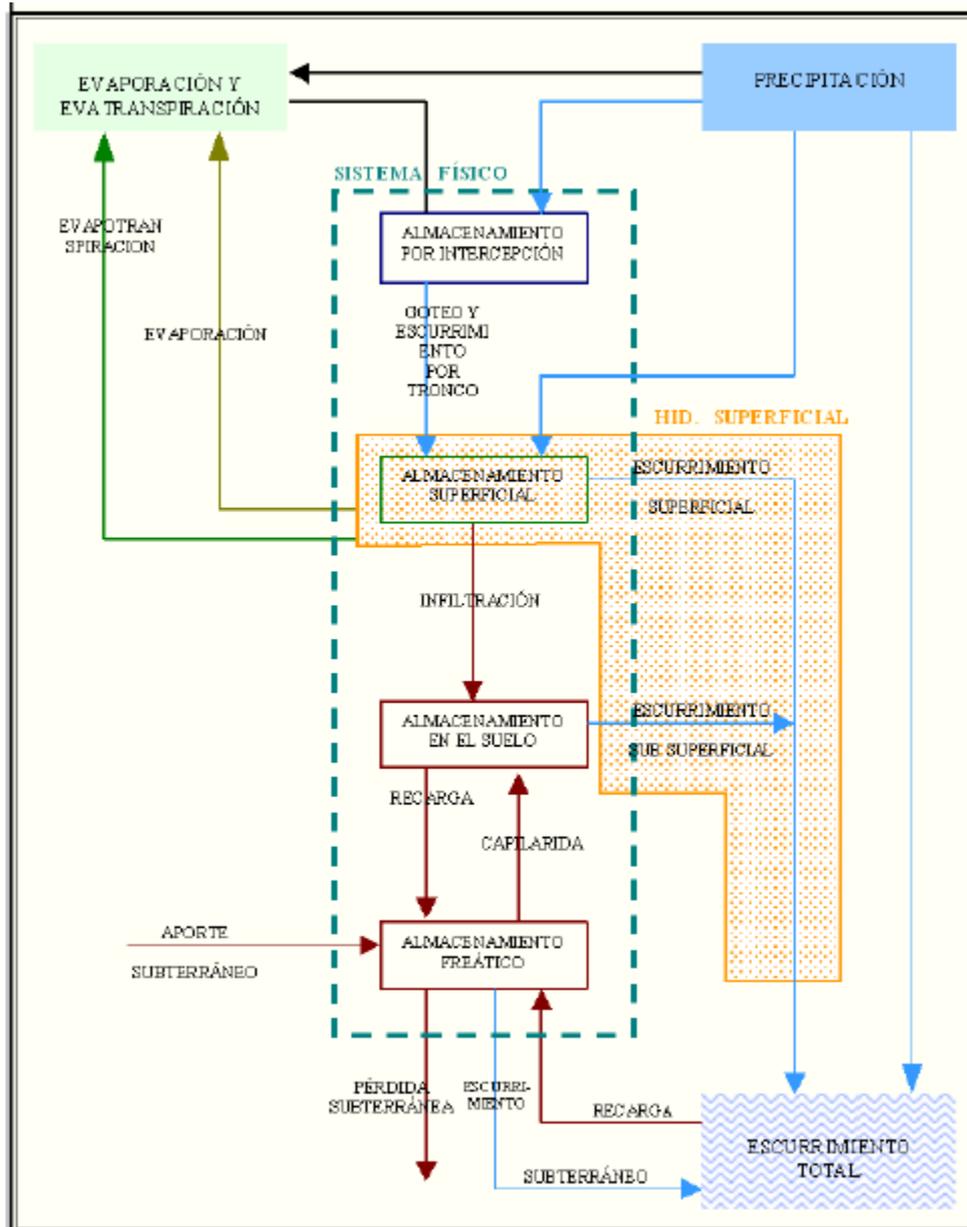
Esquema de Tipo Geométrico

Se basa en la repartición del agua en los distintos caminos que puede seguir a partir de una figura geométrica determinada (generalmente un círculo), asignando una porción de esta figura a cada camino.

Esquema de Tipo Diagrama de Block

Es el más reciente y surgió como un elemento de base para el planteo de modelos de transformación lluvia-escorrentía; el esquema sencillo presentado en la figura 2.4 parte de los siguientes supuestos:

Figura 2.4 ESQUEMA TIPO DIAGRAMA BLOCK



- El sistema es una cuenca con sus características de vegetación, suelos y subsuelos.
- Sobre esta cuenca actúan los fenómenos atmosféricos representados por el aporte de las precipitaciones y por la demanda de la atmósfera.
- El sistema físico reacciona ante la acción de la precipitación produciendo cambios internos representados por distintas formas de almacenamiento y transporte de agua, dando como resultado salidas del sistema representados por el escurrimiento y pérdidas hacia la atmósfera.

Sobre la cuenca pueden actuar aportes de otras cuencas y tener a su vez pérdidas por profundidad o hacia otras áreas, en este caso, es un sistema hidrológicamente no aislado.

Para una cuenca hidrológicamente aislada, las variables que actúan son las siguientes:

- Variable de entrada al sistema físico: precipitación (humedecimiento)
- Variable de salida del sistema físico: pérdidas por evaporación, evapotranspiración (desechamiento) y escurrimiento total.
- Variables de almacenamiento del sistema físico: almacenamiento por interceptación, almacenamiento superficial, almacenamiento del agua en el suelo y almacenamiento freático.
- Variables de transporte interno: goteo y escurrimiento por el tronco, infiltración, recarga y ascenso capilar.

Con las que se establecen equilibrios conforme al principio de la conservación de masa entre las entradas, salidas y variaciones del sistema considerado. Las relaciones cuantitativas que se establecen para representar a este equilibrio constituyen las formulaciones del BALANCE HÍDRICO.

2.2.2 PRECIPITACIÓN

[Guevara P., 1991]. 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, rocío), o sólida (nieve, granizo, escarcha). 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 condensación y luego otro proceso que cree las gotas de agua que deben precipitar.

[Chow V., 2000] La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de la masa de aire son:

- (1) La **elevación frontal**, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal.
- (2) La **elevación orográfica**, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena de montañas.

(3) La **elevación convectiva**, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostiene por el calor latente de vaporización liberado a medida que el vapor de agua sube y se condensa.

[Mejía M., 2001] La precipitación es una variable hidrológica que manifiesta claramente su carácter aleatorio, variando drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). La unidad de medida es el **milímetro de lluvia** que se define como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de un litro por metro cuadrado de superficie conocido como lámina de agua o altura de lluvia depositado sobre la superficie.

Desde el punto de vista de la ingeniería, son necesarios tres parámetros para definir completamente una precipitación: su duración, su intensidad y su frecuencia. **La duración D**, es el tiempo transcurrido entre el inicio y fin de la lluvia expresada en horas o minutos. **La intensidad I**, esta dado por la cantidad total de lluvia o lámina de agua dividida por la duración (cantidad de lluvia por unidad de tiempo), se mide en mm/h o mm/min. **La Frecuencia F**, es llamado periodo de recurrencia o de retorno (T) el periodo en años en el que una lluvia puede volver a ocurrir.

2.2.3 INTERCEPCIÓN

[Ibarra I., 1990] Es la precipitación depositada o retenida en la cobertura vegetal, no tiene mayor importancia en las avenidas grandes, sin embargo debido a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual. La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de la tormenta de manera que un alto porcentaje de lluvia durante las tormentas de corta duración es interceptada. Después que la vegetación está saturada y el almacenamiento por intercepción se completa, la cantidad de agua que alcanza el suelo es igual a la lluvia menos la evaporación a partir de la vegetación.

La capacidad de almacenamiento por intercepción es removida mediante la evapotranspiración (la cual puede ocurrir inclusive durante la lluvia) de manera que después que el almacenaje está lleno existe una intercepción continua igual a la evapotranspiración.

2.2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

[Guevara P., 1991] La evaporación es un factor meteorológico muy importante para todos los estudios de recursos hídricos pues afecta la producción hídrica de las cuencas, la capacidad de los embalses, la dimensión de las plantas de bombeo, el uso consuntivo de los cultivos y la producción de las reservas subterráneas.

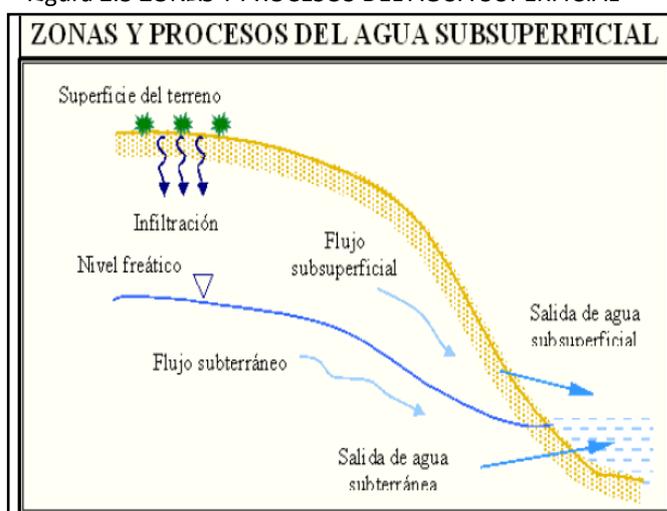
[Chereque M., 1991] La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico, hay evaporación en todo momento y desde toda superficie húmeda. Considerada como un fenómeno puramente físico la evaporación es el pasaje del agua al estado de vapor, sin embargo hay otra evaporación, la provocada por la actividad de las plantas y recibe el nombre de transpiración.

De modo general, la evaporación se puede estudiar por separado a partir de las superficies libres del agua (lagos, embalses, ríos, charcas), a partir de las nieves, a partir del suelo y a partir de las plantas (transpiración). También se puede estudiar la evaporación total en una cuenca sin tomar en cuenta las formas particulares que adopta, a esta evaporación total se llama **evapotranspiración** la cual resulta de la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación.

2.2.5 INFILTRACIÓN

[Chereque M., 1991] La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos (la infiltración y la percolación) están íntimamente ligados pues la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente llega a los cursos de agua. El agua del río, en general, puede estar formado de dos partes: Una parte de escorrentía (superficial y subsuperficial) que recibe el nombre de escorrentía directa y otra parte de agua subterránea que recibe el nombre de flujo base.

[Chow V., 2000] En la figura 2.5 se muestra en forma esquemática los procesos de flujo subsuperficial y las zonas en que ellos



ocurren. La **infiltración** de agua superficial en el suelo para convertirse en humedad del suelo, el **flujo subsuperficial** o flujo no saturado a través del suelo y, **el flujo de agua subterránea** o flujo saturado a través del suelo o roca.

2.2.6 ALMACENAMIENTO

[Chereque M., 1991] El agua subterránea es proveniente de la precipitación y se forma por infiltración o percolación de corrientes y lagos; la percolación directa es el proceso más efectivo de la recarga del agua subterránea donde la capa freática está más cerca de la superficie del terreno y puede fluir más tarde en forma de manantiales o llegar a las corrientes como escurrimiento y a los cauces como gasto base o gasto de agua subterránea.

El almacenamiento en el subsuelo es la principal fuente de humedad del perfil del suelo. Una parte del agua aquí almacenada percola hacia el almacenaje de agua subterránea profunda y se pierde de la fase superficial del ciclo hidrológico.

El almacenaje de depresiones, es definido como el agua que es retenida en pequeñas depresiones del terreno y que no se convierte en escurrimiento superficial, pero puede contribuir a ambos (infiltración y evaporación) dependiendo del tiempo que permanece en esas depresiones del terreno.

2.2.7 ESCORRENTÍA

[Villon M., 2002] El escurrimiento es otro componente del ciclo hidrológico y se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Si se analiza en un corte esquemático la superficie terrestre, se tiene que la precipitación cuando llega a la superficie se comparte de la siguiente manera:

- Una parte de la precipitación se infiltra; satisface la humedad del suelo de las capas que se encuentran sobre el nivel freático del agua, una vez que esta capa se satura el agua subterránea es recargada por la parte restante del agua que se infiltra (figura 2.5)
- Otra parte de la precipitación tiende a escurrir sobre la superficie terrestre, a la precipitación que ocasiona éste escurrimiento en exceso.
- Una pequeña proporción se pierde.

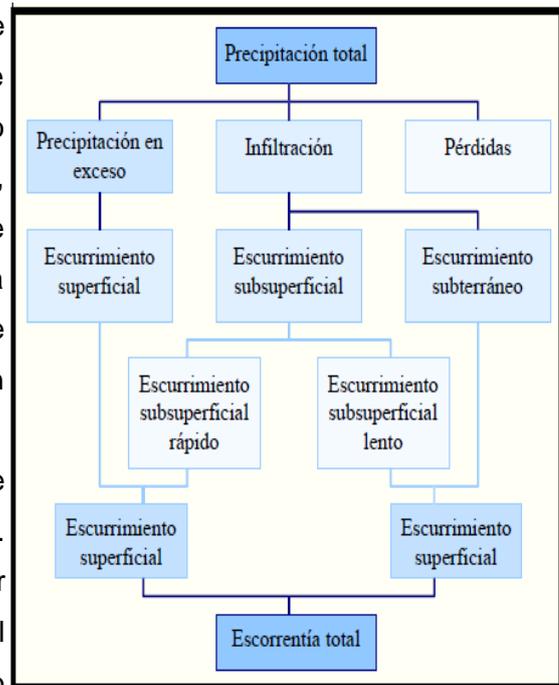
Figura 2.6 RELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA TOTAL

Con base en lo anterior, el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

4. **escurrimiento superficial**, es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato y, existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine; la parte de la precipitación total que da lugar a este escurrimiento se denomina precipitación en exceso.

5. **Escurrimiento subsuperficial**, es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total puede ser inmediato o retardado; Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que el escurrimiento superficial, en caso contrario como escurrimiento subterráneo.

6. **Escurrimiento subterráneo**, es aquel que proviene del agua subterránea la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra una vez que el suelo se ha saturado



El escurrimiento se clasifica en: escurrimiento directo cuando su efecto es inmediato y, escurrimiento base si su efecto es retardado.

El hecho de presentarse una precipitación no implica necesariamente que haya escurrimiento superficial y en algunos casos tampoco escurrimiento subterráneo, esto depende de una serie de factores.

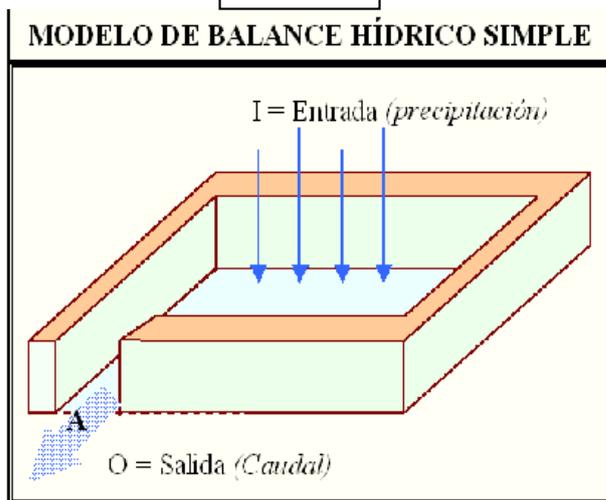
En la figura 2.6, se muestra un esquema donde se indica la relación entre la precipitación y escurrimiento total.

En la figura 2.6, se muestra un esquema donde se indica la relación entre la precipitación y escurrimiento total.

2.2.8 BALANCE HÍDRICO MEDIO DE UNA CUENCA

[Ibarra I., 1990] El cálculo del balance hídrico en una cuenca fluvial es siempre el principal objetivo; a partir del balance en cuencas fluviales se calculan los balances hídricos generales y se evalúan los recursos de agua para diferentes países, regiones y continentes

Los componentes principales del balance hídrico son: la precipitación, escorrentía, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas. Para calcular el balance hídrico de una cuenca con un gran río y con diferentes características fisiográficas, la cuenca puede subdividirse en secciones (Figura 2.7) para cada una de las que se realiza el balance hídrico. [Mejía M.,



2001] Para ilustrar la aplicación del balance hídrico en una cuenca hidrográfica se considera el sistema muy simple y muy restringido de la figura 2.7, éste sistema está constituido de una superficie plana e inclinada, completamente impermeable confinado en sus cuatro lados con una salida en el punto A; si una entrada de lluvia es aplicada al sistema, una salida designado como flujo superficial se desarrollará en A. El balance de agua en este sistema puede ser representado por la siguiente ecuación

hidrológica:

$$I - O = dS / dt$$

Donde "I" es la entrada por unidad de tiempo, "O" la salida por unidad de tiempo y, "dS / dt" la variación del almacenamiento dentro del sistema por unidad de tiempo. Existe la necesidad de que una altura mínima sea acumulada en la superficie para que haya escorrentía superficial, pero a medida en que la intensidad de lluvia aumenta la altura de agua retenida sobre la superficie aumenta. Una vez cesado la lluvia, el agua retenida sobre la superficie continuará fluyendo hasta dejar el sistema como caudal remanente. En este ejemplo toda la precipitación será eventualmente transformada en caudal siempre que sean depreciadas las pérdidas por evaporación durante la entrada.

[Mejía M., 2001] En la realidad, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica no es tan simple como el modelo presentado, (diversas pérdidas ocurren durante el proceso) el agua precipitada luego de llegara al suelo comienza a ser almacenada, pero la superficie del suelo

no es plana (como en el modelo anterior) ya que existe depresiones en el terreno, el agua allí acumulada eventualmente será evaporada o infiltrada en el suelo, no obstante alcanza los cursos de agua o se transforma en escorrentía, el agua continua sufriendo el proceso de evaporación que debe ser consideradas.

Otro proceso que ocurre desde el momento en que la precipitación toca el suelo es el de la infiltración ya que ningún suelo es impermeable y existen siempre pérdidas por infiltración; cuando el agua penetra en el suelo sigue diversos caminos quedando almacenada temporalmente en el suelo y luego percolando hacia capas profundas conformando el agua subterránea o movimiento lateral como flujo subterráneo la que puede aflorar nuevamente o fluir para otra cuenca. Considerando todos estos procesos, de una forma general, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica puede ser visualizado en la figura 2.8 y representado por las siguientes ecuaciones:

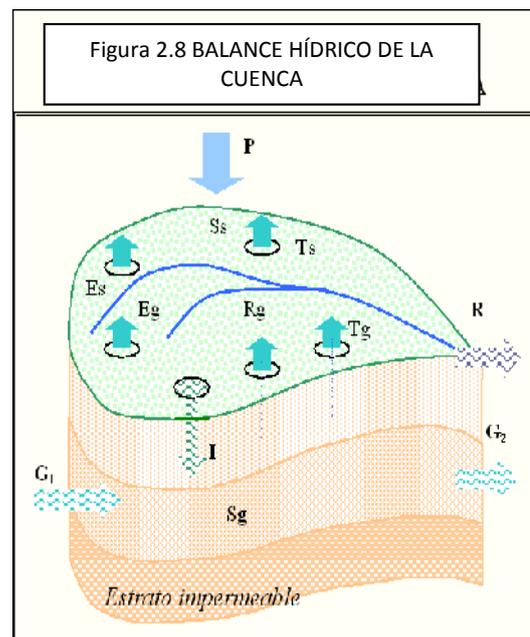


Figura 2.8 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA

a) **Balance hídrico en la superficie**

$$P - R + Rg - Es - Ts - I = Ss$$

b) **Balance hídrico debajo de la superficie**

$$I + G1 - G2 - Rg - Eg - Tg = Sg$$

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

$$P - R - (Es + Eg) - (Ts + Tg) - (G1 - G2) = (Ss + Sg)$$

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

P = Precipitación

E = evaporación

T = Transpiración

R = Escorrentía superficial

G = Flujo subterráneo

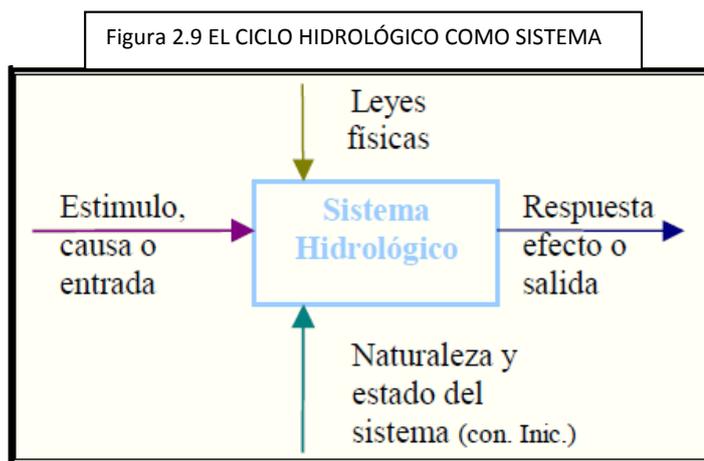
I = Infiltración

S = Almacenamiento

2.3 EL CICLO HIDROLÓGICO COMO SISTEMA

[Villon M., 2002] Un sistema es una estructura, mecanismo, esquema o procedimiento, real o abstracto, que relaciona en el tiempo y/o espacio una causa, entrada o estímulo de materia, energía o información con un efecto, salida o respuesta de materia, energía o información.

Se puede resumir simbólicamente los métodos de síntesis o análisis de sistemas hidrológicos considerando la figura 2.9:



Estos métodos permiten diferenciar claramente sistemas hidrológicos: **Hidrología física** (o científica) y **la investigación de sistemas hidrológicos** (Hidrología aplicada)

En **hidrología física** se relacionan diversas disciplinas del campo de las ciencias naturales para tratar de entender el funcionamiento de un sistema hidrológico. Permite efectuar descripciones cuantitativas completas excepto para sistemas de gran simplicidad o demasiado idealizados, sin embargo los conocimientos desarrollados han ejercido una profunda influencia sobre los métodos de investigación de sistemas hidrológicos y sobre las limitaciones e interpretaciones de los resultados obtenidos.

Los **métodos de investigación en sistemas hidrológicos** permiten la reconstrucción de eventos hidrológicos pasados y de predicción de variables hidrológicas, hay dos categorías:

- ✓ **Hidrología paramétrica:** Desarrollo de relaciones entre diferentes variables y uso de éstas para reconstruir o predecir series hidrológicas (ejemplo: relaciones precipitación-escorrentía).
- ✓ **Hidrología probabilística:** Serie de procesos matemáticos mediante los cuales se utiliza las características aleatorias y las propiedades estadísticas de las variables

hidrológicas, con el fin de establecer modelos probabilísticos de los procesos que permitan predicciones y, simular el comportamiento de los sistemas en estudio.

La hidrología moderna utiliza una combinación de estos métodos, que tienen dos características en común:

- (1) Dependen de datos y registros históricos de los valores de las variables (medición).
- (2) Se basan en la hipótesis de invariancia en el tiempo de los sistemas hidrológicos.

2.3.1 EL SISTEMA HIDROLÓGICO

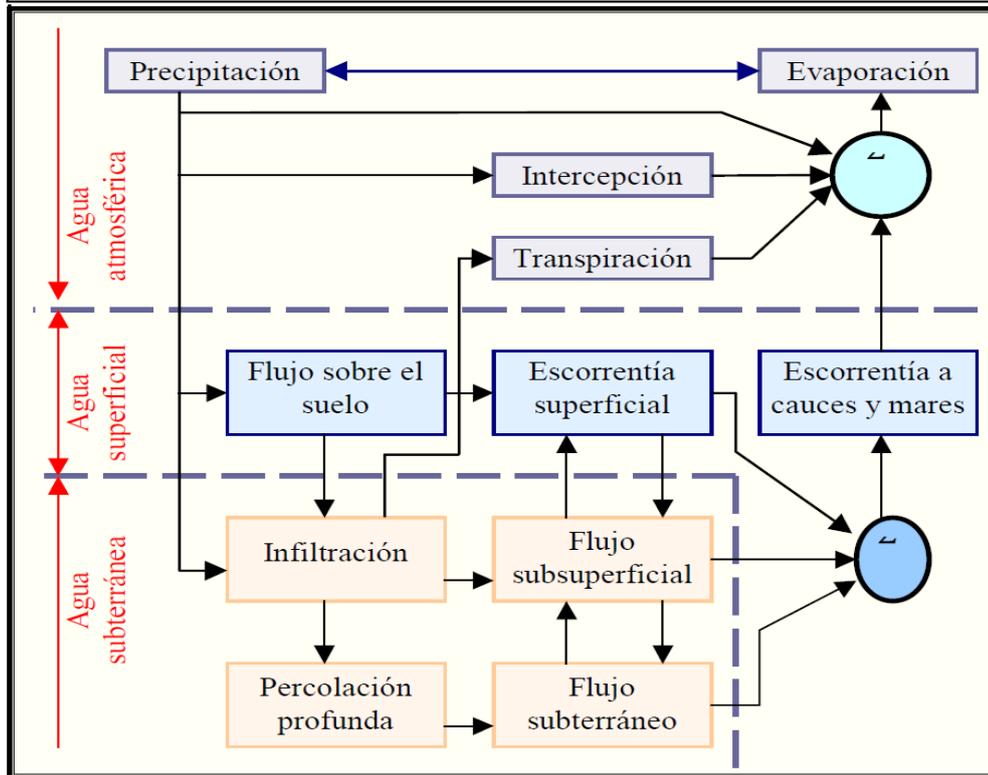
[Guevara P., 1991] Los fenómenos hidrológicos son muy complejos por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos, sin embargo a falta de una concepción perfecta se puede representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema.

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; estos componentes pueden reagruparse en subsistemas separadamente y combinar los resultados de acuerdo con las interacciones entre ellos.

En la figura 2.10 se presenta el ciclo hidrológico global como un sistema; las líneas punteadas dividen el sistema total en tres subsistemas:

- (1) **El sistema del agua atmósfera**, que contiene los procesos de precipitación, evaporación, intercepción y transpiración.
- (2) **El sistema del agua superficial**, con los procesos de escorrentía superficial, flujo sobre el suelo, flujo subsuperficial y subterráneo (hacia los cauces y océanos).
- (3) **El sistema del agua subsuperficial**, que contiene los procesos de infiltración, recarga del agua subterránea, flujo subsuperficial y 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.

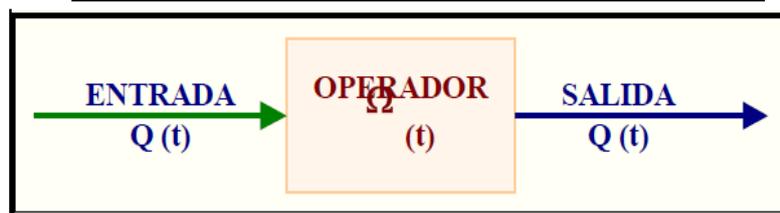
Figura 2.10 REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO GLOBAL MEDIANTE DIAGRAMA DE BLOQUES



[Guevara P., 1991] En la mayoría de los problemas prácticos, se consideran unos pocos procesos hidrológicos al mismo tiempo, lo mismo que sólo toman en cuenta una pequeña porción de la superficie terrestre. En la hidrología moderna se usa un concepto más restringido de sistema que el ciclo hidrológico global, se trata del concepto de **volumen de control**, similar al que se suele usar en la mecánica de fluidos. Como se sabe en dicho planteamiento no es necesario conocer el patrón de flujo dentro del volumen del control, sólo se tiene que conocer las propiedades del flujo en la superficie de control del límite del volumen de control.

Por analogía puede definirse a un sistema hidrológico como una estructura o volumen en el espacio, rodeado por un límite, al cual entran variables como agua y otras opera internamente sobre ellas produciendo variables de salida, que puede ser de la misma naturaleza que las de entrada pero de diferente magnitud. En la figura 2.11 se representa este concepto en forma esquemática.

Figura 2.11 ESQUEMA DEL SISTEMA HIDROLÓGICO



Un medio de trabajo ingresa al sistema interactúa con la estructura y otros medios para luego abandonar el sistema como salida. Como medios de trabajos operan procesos físicos, químicos y biológicos, los medios de trabajo más comunes incluidos en el análisis hidrológico son: agua, aire y energía calórica.

Debido a las dimensiones y complejidad de los sistemas hidrológicos, las aplicación de las leyes físicas producen sólo aproximaciones en los resultados, la mayoría de los procesos son además de naturaleza aleatoria; Por lo tanto el análisis estadístico juega un rol muy importante en el estudio hidrológico del sistema.

2.4 LA CUENCA HIDROLÓGICA

a.- Concepto de Cuenca

(Villón M., 2002). 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.

(Aparicio, F., 1995). Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

b.- Características de la Cuenca y los Cauces

(Aparicio, F., 1995). A continuación se describe las características de la cuenca y los cauces de mayor importancia por sus efectos en la relación precipitación-escorrentía.

El parte aguas es una línea imaginaria formado por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal delimitada por el parte aguas.

(Aparicio, F., 1995). La corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por las salidas de la misma. Nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y si la corriente principal. Las

cuencas corresponden a las corrientes tributarias o a los puntos se llaman cuencas tributarias o sub cuencas.

2.4.1 PRECIPITACIÓN

(Villón M., 2002). La precipitación, es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de:

- Lluvias
- Granizadas
- Garúas
- Nevadas

a.- Origen de la precipitación

Una nube está constituida por pequeñísimas gotas de agua, que mantienen estables gracias a su pequeño tamaño, algunas características de las gotitas de las nubes son:

- Diámetro aproximado de las gotitas 0.02 mm
- Espaciamiento entre gotitas 1 mm
- Masa 0.5 a 12 gr/m³

b.- formas de la precipitación

- **Llovizna**, pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0.1 y 0.5 mm, las cuales tienen velocidades de caída muy bajas.
- **Lluvia**, gotas de agua con diámetro mayor 0.5 mm.
- **Escarcha**. capa de hielo por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire.
- **Nieve**, compuesta de cristales de hielo blanco translúcido. principalmente de forma compleja.
- **Granizo**, precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas, pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular, su diámetro varía entre 5 y 125 mm. (Villón M., 2002).

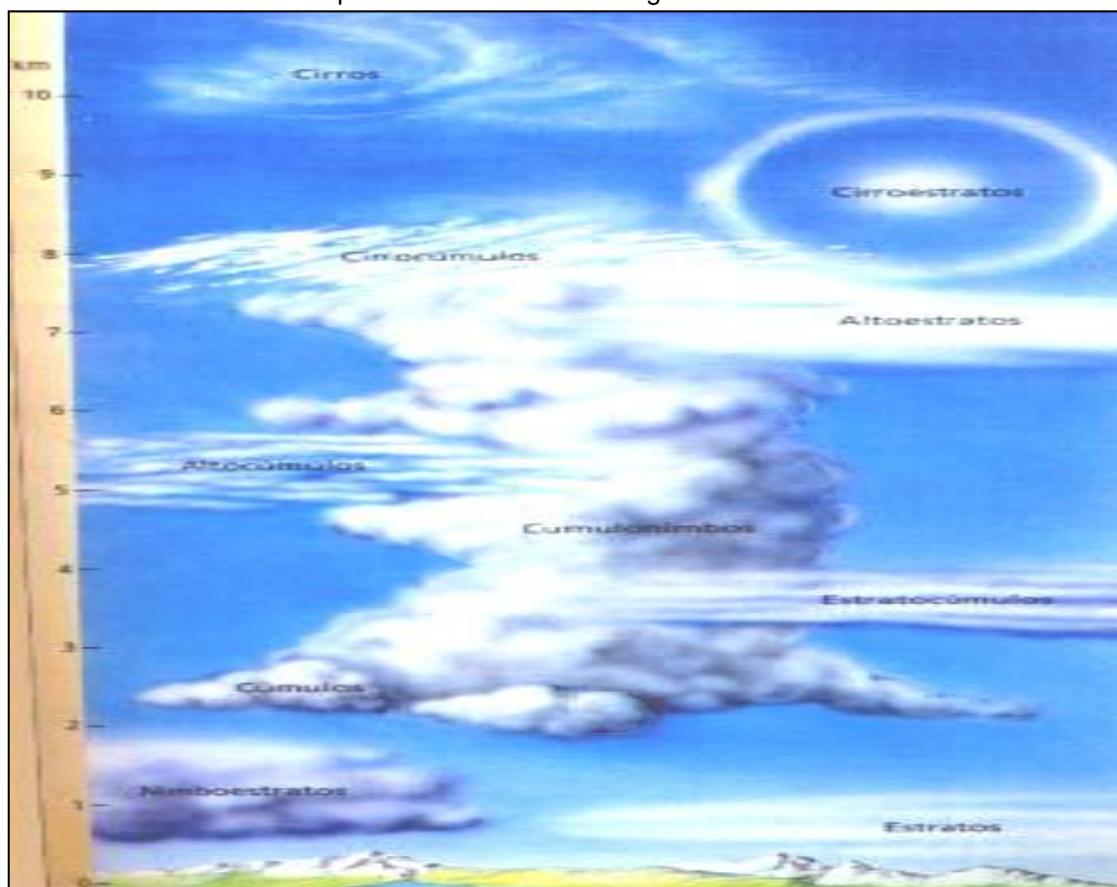
c.- Clasificación de la Precipitación

1.- Precipitación de convección.

(Villón M., 2002). En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua, que por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. En el curso de su ascenso, se enfrían según el gradiente adiabático seco ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$). o saturado ($0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

Las masas de vapor se acumulan en los puntos llamados células de seguir elevándose hasta llegar a las convección fig 2.12. A partir de este punto, estas masas pueden encontrar condiciones que provocan la condensación y la precipitación. Generalmente viene acompañada de rayos y truenos. Son precipitaciones propias de las regiones tropicales, donde las mañanas son muy calurosas, el viento es predominancia de movimiento vertical del aire.

Precipitación de convección. Fig. 2.12



2.- Precipitación Orográfica

(Villón M., 2002) Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación.



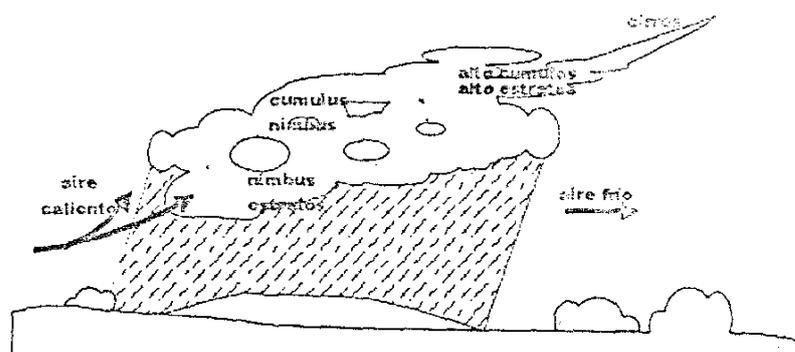
Las lluvias orográficas se producen cuando el aire se ve obligado a ascender por una elevación del terreno.

Precipitación orográfica figura 2.13

3.- Precipitación Ciclónica

Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión (figura 2.14).

(Villón M., 2002). Todas estas formas de originarse las lluvias, en la naturaleza se presentan combinadas, de modo que una lluvia determinada puede provenir de cualquiera de las formas o de la combinación de ellas.



Precipitación ciclónica fig. 2.14

d.- Calculo de la Precipitación media sobre una zona

(Villón M., 2002). Para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado.

1.- Promedio Aritmético

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots(2.01)$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media de la zona o cuenca.

P_i = Precipitación de la estación i.

n = Numero de estaciones de la zona o cuenca.

(Villón M., 2002). La precisión de este criterio depende de la cantidad de estaciones disponibles, de la forma como están localizadas, y de la distribución de la lluvia estudiada. Es el método más sencillo, pero solo da buenos resultados cuando el número de pluviométricos es grande.

2.- Polígono de Thiessen

Este método consiste en lo siguiente:

- Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí (líneas discontinuas en la figura 2.15). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- Trazar líneas rectas que bisecan los lados de los triángulos (líneas rectas continuas en la figura 2.15). Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
- Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los Polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.

- (Villón M., 2002) La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i \dots\dots\dots(2.02)$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media.

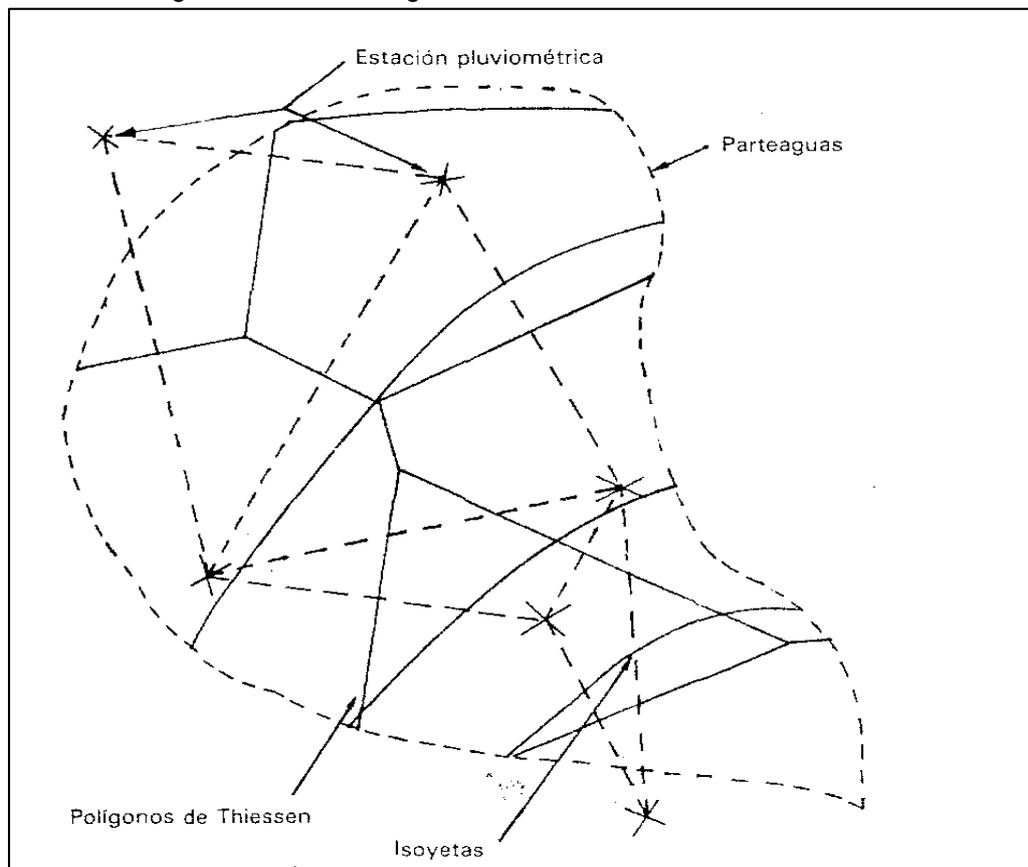
A_t = Área total de la cuenca.

A_i = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i.

P_i = Precipitación de la estación i.

n = Numero de estación tomadas en cuenta.

Polígono de Thiessen fig. 2.15



3.- Isoyetas

(Villón M., 2002). Para este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que si la precipitación es de tipo ortográfico, tenderán a seguir una configuración parecidas a las curvas de nivel. Por supuesto, entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas.

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_i \dots\dots\dots(2.03)$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media.

A_t = Área total de la cuenca.

P_i = Altura de precipitación de las isoyetas i.

A_i = Área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i .

n = Numero de áreas parciales.

2.4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

2.4.2.1 Conceptos de la Evapotranspiración

(Villón M., 2002). La evapotranspiración está constituida por las pérdidas totales, es decir: evaporación de la superficie evaporante (del suelo y agua) +transpiración de las plantas.

(Chereque, W., 1985). Del agua que una planta absorbe del suelo solo una parte muy pequeña se queda para formar los tejidos de la planta; el resto regresa a la atmósfera en forma de vapor, configurando la transpiración. Este fenómeno de la transpiración constituye una fase muy importante del ciclo hidrológico, porque es el mecanismo principal por medio del cual el agua precipitada a tierra regresa a la atmósfera.

(Aparicio F., 1995), El conocimiento de la evapotranspiración o uso consuntivo es un factor determinante en el diseño de sistema 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.

2.4.2.2 Métodos para el cálculo de la evapotranspiración

En los proyectos de irrigación, interesa hacer cálculos previos de las necesidades de agua de los cultivos. Estas necesidades de agua, que van a ser satisfechas mediante el riego, viene a constituir la evapotranspiración o el uso consuntivo.

(Villón M., 2002). Para el cálculo de estas cantidades de agua se han desarrollado métodos basados en datos meteorológicos, de los cuales los más conocidos son el Thornthwaite y el de Blaney – Cliddle.

- **Método de Thornthwaite**

(Aparicio F., 1995). Este método desarrollado en 1944, calcula el uso consuntivo mensual como una función de las temperaturas medias mensuales mediante la fórmula:

$$U_j = 1.6 * K_a \left(\frac{10T_j}{I} \right)^a \dots\dots\dots(2.04)$$

Donde:

U_j = Uso consuntivo en el mes j, en cm.

T_j = Temperatura media en el mes j, en C^a

A, I = Constante.

K_a = Constante que depende de la latitud y el mes del año

Las constantes I (índice de eficiencia de temperatura) y a se calculan de la siguiente manera:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad \text{Donde:}$$

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514}$$

y j = Numero de mes.

- **Método de Blaney – Criddle**

(Chereque W., 1985). En este método se toma en cuenta, además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona.

La formula obtenido por estos investigadores es la siguiente:

$$U = K \cdot P \cdot (8.12 + 0.457t) = K \cdot F \quad \dots\dots\dots(2.05)$$

Donde:

U = Uso consuntivo mensual, en (mm)

K = Coeficiente empírico mensual, según el tipo de cultivo y su estado de desarrollo.

P = Porcentaje de horas de luz mensual

T = Temperatura media mensual en °C.

Para el presente trabajo de investigación se calcula la Evapotranspiración potencial median el método de Hargreaves en base a Temperatura. Descrito en el libro de Absalón Vásquez V., Lorenzo Ch., “El Riego”, Tomo I 1992.

- **Método de Hargreaves**

En base a la Temperatura

$$ETP = MF * TMF * CH * CE \dots\dots\dots(2.06)$$

$$CH = 0.166 (100-HR)$$

$$CE = 1.0 + 0.04 \frac{E}{200}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

MF = Factor mensual de latitud

TMF = T° media mensual (°F), medida

CH = Factor de corrección para la humedad relativa

CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

HR = Humedad relativa media mensual (%), medida

E = Altitud o elevación del lugar (m.s.n.m).

2.4.2.3 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

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

La no homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas son causadas por errores aleatorios y sistemáticos:

- Los errores aleatorios se presenta a causa de la inexactitud en las mediciones, mala lectura, mal funcionamiento del instrumento, errores de copia, etc.
- (Villón M., 1983). Los errores sistemáticos son los de mayor importancia, como consecuencia de los mismos, los datos pueden ser incrementados ó 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 u ocasionado por la mano del hombre (déficit en la toma de datos, cambio de la estación de aforo, construcción de estructuras hidráulicas, 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. En a figura No 2.16 y 2.17 muestra el caso de un salto y tendencia.

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.

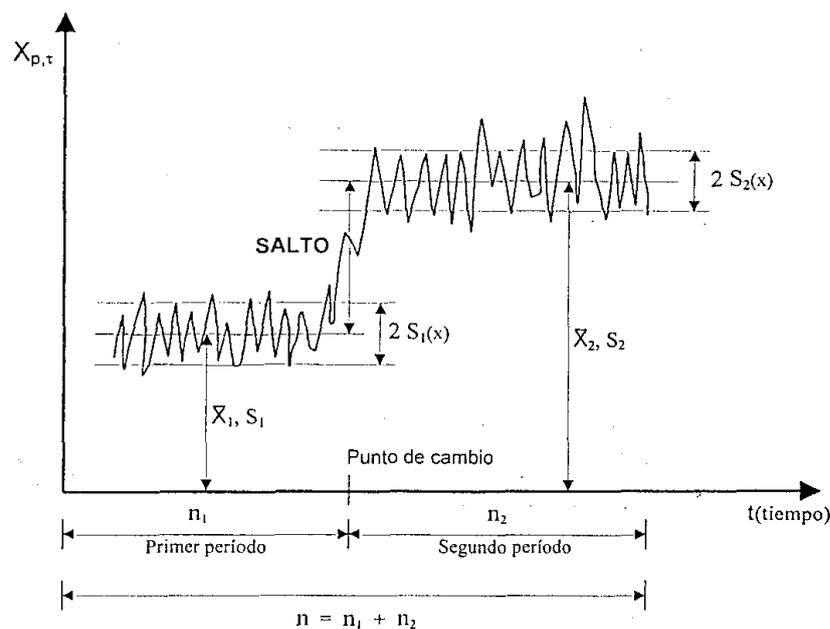


figura N° 2.16 Serie con componente determinística transitoria en forma de salto.

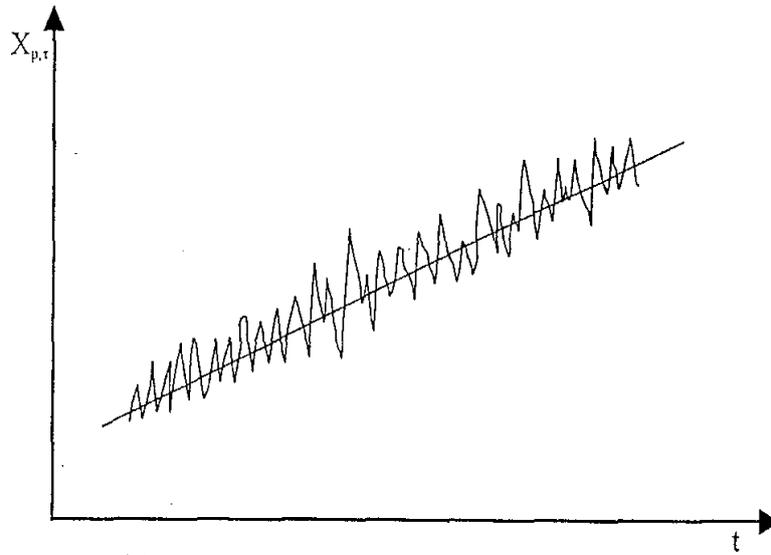


Figura N° 2.17 Serie con tendencia lineal ascendente.

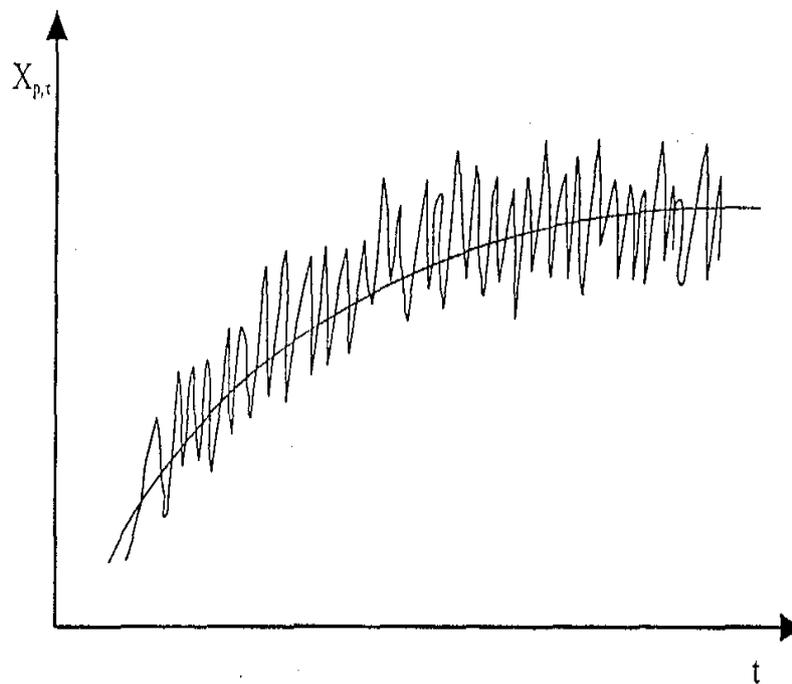


Figura N° 2.18 Serie Con Componente Deterministica Transitoria En Forma De Tendencia

De la figura N° 2.17 podemos definir lo siguiente:

Los saltos “Jump” llamados también resbalamientos, son componente determinísticas transitorias que se manifiestan en forma de cambios bruscos haciendo posible que en la serie se presentan períodos de distinto comportamiento. Los saltos generalmente se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros. Pero el análisis general es en los dos primeros parámetros.

De la figura N° 2.18 se puede definir lo siguiente:

Las tendencias son componentes determinísticas y se define como un cambio sistemático y continuo sobre una serie de información hidrometeorológica. Las tendencias se presentan en la media, desviación estándar y en otros parámetros, para el análisis se realiza generalmente en los dos primeros parámetros. Las tendencias pueden ser lineales y no lineales, ascendentes y descendentes en una serie hidrometeorológica.

El análisis de consistencia de la información hidrometeorológica se analizan desde tres puntos de vista o etapas siguientes:

- Análisis Visual de Hidrográmas.
- Análisis de Doble Masa.
- Análisis Estadístico

2.4.2.4 ANÁLISIS VISUAL DE HIDROGRAMAS

(Villón M., 1983). Consiste en analizar visualmente la información histórica mediante un hidrográma 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 (como caudales en m³/sg o mmc y precipitaciones en mm). La apreciación visual de estos gráficos permite observar la distribución de los caudales y precipitaciones con respecto al tiempo, e indicar el periodo ó períodos dudosos ó confiables, lo cual se puede reflejar como saltos y/o tendencias.

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

- a.- Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan sus hidrográmas y se ve cual periodo varía notoriamente uno respecto a! otro.

- b.- Cuando se tiene una sola estación (serie simple), esta se divide en varios períodos y se compara con la información obtenida del campo, tratando de no confundir un salto con una sequía prolongada de varios años ó con la ocurrencia de varios períodos húmedos.
- c.- Cuando se tiene datos de escorrentía y precipitación, se comparan los hidrogramas, los cuales deben tener el comportamiento similar.
- d.- En mayoría de los casos, se debe mantener en lo posible el período más largo como más confiable.

2.4.2.5 ANÁLISIS DE DOBLE MASA.

(Villón M., 1983). El análisis de doble masa llamado también de “dobles acumulaciones”, es una herramienta que sirve para detectar la inconsistencia en la información hidrometeorológica mediante los puntos de quiebres que se presentan en los diagramas respectivos.

El procedimiento para realizar el análisis de doble masa, es la siguiente:

- a.- Obtener la información original de dos ó más estaciones de registro.
- b.- Calcular la información anual acumulada de cada estación y el promedio anual acumulada de la información de todas las estaciones.
- c.- Plotear los valores obtenidos en el paso anterior en sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de abscisas el promedio de la información anual acumulada y en el eje de las ordenadas la información anual acumulada de cada estación de estudio.
- d.- Del paso anterior seleccionar la estación que presenta menor número de puntos de quiebre, como las más confiable y denominado como estación base.
- e.- La información anual acumulada de la estación base se plotea en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas cada una de las de más estaciones. En estos gráficos se define los quiebres que pueden ser significativos o no para su posterior análisis estadístico. Se debe tener en cuenta que sólo para efectos del análisis de doble masa, la información incompleta se llena por interpolación ó con el promedio mensual, si el análisis es mensual.

2.4.2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

(Villón M., 1983). Una vez obtenido de los hidrográmas originales y de la doble masa los períodos de posible corrección y los períodos de datos que se mantendrán con sus valores originales y las cuales se modificarán, se procede a analizar estadísticamente tanto en la media como en la desviación estándar.

1.- ANÁLISIS DE SALTOS.

A.- CONSISTENCIA EN LA MEDIA.

(Villón M., 1983). Mediante la prueba estadística “T’ de students se analiza si los valores promedios (X1, X2) de las sub muestras son estadísticamente iguales ó diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

a.- Cálculo de la media y desviación estándar para cada período, según la siguiente expresión:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i \dots\dots\dots(2.07)$$

$$S_1(X) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.08)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} X_j \dots\dots\dots(2.09)$$

$$S_1(X) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Donde:

X_i = valores de la serie del periodo 1.

X_j = valores de la serie del período 2

X_1, X_2 = medias de los períodos 1 Y2 respectivamente.

$S_1(x), S_2(x)$ = desviaciones estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente.

n_1, n_2 = tamaño de los períodos 1 y 2 respectivamente.

n = tamaño total de la muestra.

$$n = n_1 + n_2$$

b.- Cálculo de “Tc”, según:

Con la siguiente hipótesis planteada:

$$H_p; \mu_1 = \mu_2 \dots (\text{media poblacional})$$

$$H_a; \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0.05$$

$$T_c = \left[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2) \right] / S_d \dots \dots \dots (2.11)$$

Donde:

$$\mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (\text{por hipótesis})$$

Quedando:

$$T_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d} \dots \dots \dots (2.12)$$

Ademas :

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Donde:

S_d = desviación estándar de las diferencias de los promedios.

S_p = desviación estándar ponderada.

Reemplazando la Ec.(3.8), (3.7) en (3.6), se tiene:

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2) / (n_1 + n_2)} \dots\dots\dots(2.15)$$

c.- Cálculo de “ T_t ”.

El cálculo crítico de T se obtiene de las tablas de T de Students (T) con:

N.C. = con 95% de probabilidad.

$$\alpha = 0.05$$

$$G.L = n_1 + n_2 - 2$$

Donde:

G.L=Grados de libertad.

T_t = T tabulado.

T_c = T calculado.

d.- Comparación del T_c con el T_t .

Si $[T_c] \leq T_t$ (95%) $\rightarrow X_1 = X_2$ (estadísticamente), en este caso no se corrige la información, y es consistente.

Si $[T_c] > T_t$ (95%) $\rightarrow X_1 \neq X_2$ (estadísticamente), en este caso se debe corregir la información.

B.- CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTANDAR.

(Villón M., 1983). El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza mediante la prueba estadística “F” de Fisher, si las desviaciones estándar (S_1, S_2) de las sub muestras son estadísticamente iguales ó diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

a.- Cálculo de las variaciones de ambos períodos.

$$S_1^2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 \right]^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$S_2^2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2 \right]^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

b.- Cálculo de F, según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} \quad , \text{ Si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

c.- Cálculo de F.

El valor crítico de F, se obtiene de las tablas de F de Fisher (F_t), con:

N.C. = 95% de probabilidad.

$$\alpha = 0.05$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{G.L.N.} = n_1 - 1 \\ \text{G.L.D.} = n_2 - 1 \end{array} \right\}$$

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

Donde:

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

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

d.- Comparación del F_c con el F_t .

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), por lo que se debe corregir.

C.- CORRECCIÓN DE LOS DATOS.

(Villón M., 1983). Si los parámetros media y desviación estándar de las sub muestras de las series de tiempo, resultan estadísticamente iguales, entonces la información original no se corrige por ser consistente con 95% de probabilidad, aún cuando en el doble masa presenta pequeños quiebres. En caso contrario se debe corregir los datos de las sub muestras con las siguientes ecuaciones.

$$X'_{(t)} = \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_{1(X)}} \cdot S_{2(X)} + \bar{X}_2 \dots\dots\dots(2.20)$$

$$X'_{(t)} = \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_{2(X)}} \cdot S_{1(X)} + \bar{X}_1 \dots\dots\dots(2.21)$$

Donde:

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

X_t = Valor a ser corregido

La ecuación (2.20) se utiliza cuando se corrige los valores de la sub muestra de tamaño n_1 y la ecuación (2.21) se utiliza para corregir los valores de la sub muestra de tamaño n_2 .

D.- BONDAD DE LA INFORMACIÓN CORREGIDA.

(Villón M., 1983). En este caso para comprobar la información corregida, comparando con el período 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.

2.- ANÁLISIS DE TENDENCIAS.

Después de haber analizado los saltos, se procede a analizar las tendencias en la media y en la desviación estándar respectivamente.

A.- Tendencia en la media.

La tendencia en la media T_m , puede ser expresada en forma general por la ecuación polinomial siguiente:

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \dots \dots (2.22)$$

Y en muchos casos es suficiente estimar la tendencia por la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t \dots \dots \dots (2.23)$$

$$t = (P+1)w + \tau \dots \dots \dots (2.24)$$

Donde:

$\tau = 1, 2, \dots, w$, es el periodo básico igual a 365,52 o 12 si la serie es diaria, semanal ó mensual.

$P = 1, 2, \dots, n$, con n igual al número de años del registro histórico de los datos.

T_m = Tendencia en la media, para este caso:

$T_m = X'(t)$ valor corregido de saltos, datas a usarse para calcular los parámetros de la tendencia.

A_m, B_m, C_m, D_m = Coeficientes de los polinomios de regresión, y es estimado con los datos.

Para estimar los parámetros de regresión se puede estimar por el método de mínimos cuadrados o por el método de regresión lineal múltiple.

Para el presente trabajo, la tendencia en la media se ha calculado usando la ecuación de regresión lineal simple (2.23) y el proceso es el siguiente:

a.- Cálculo de los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple.

$$A_m = T_m - t.B_m \dots\dots\dots(2.25)$$

$$B_m = R.(S_{T_m} / S_t) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$R = (t.T_m - \bar{t}.T_m) / (S_t.S_{T_m}) \dots\dots\dots(2.27)$$

Donde:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{m_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'(t)_i \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

$$\overline{t.T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i X T_{m_i}$$

$$S_{T_m} = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (T_{m_i} - T_m)^2 \right]^{1/2}$$

$$S_t = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{1/2}$$

Además:

T_m = Promedio de las tendencias T_m , ó promedio de los datos corregidos de saltos $X'(t)$.

\bar{t} = promedio del tiempo t .

S_{T_m} = desviación estándar de la tendencia en la media T_m .

S_t = desviación estándar del tiempo t .

R = coeficiente de correlación.

b.- Evaluación de la tendencia en la media T_m

Para saber si la tendencia es significativa o no, se analiza el coeficiente de regresión “Bm” o también el coeficiente de correlación “R”, en este trabajo se analiza R mediante la prueba estadística de T de Students.

- Cálculo del estadístico T_c :

$$T_c = \left[R\sqrt{n-2} \right] / \sqrt{1-R^2} \dots\dots\dots(2.29)$$

Donde:

T_c = T calculado

n = Número total de datos

R = Coeficiente de correlación

- Cálculo de T_t :

Se obtiene de las tablas T de Student (T) con 95% de probabilidad, con:

$\alpha = 0.05$

G.L = n – 2

- Comparación del T_c con el T_t :

Si $| T_c | \leq T_t$ (95%) → R no es significativo, entonces la tendencia no es significativa y no debe corregirse la información.

Si $| T_c | > T_t$ (95%) → R si es significativo, entonces la tendencia es significativo y hay que corregir la información con tendencia en la media.

c.- Corrección de la información.

Para eliminar la tendencia en la media se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y_t = X'_t - T_m \dots\dots\dots(2.30)$$

$$O \dots\dots\dots(2.31)$$

$$Y_t = X'_t - (A_m + B_m \cdot t)$$

Donde:

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

T_m = tendencia en la media obtenida de la ecuación (2.23).

Y_t = serie sin tendencia en la media.

Para que la serie X_t preserve la media constante, se devuelve el promedio de las $X'_{(t)}$. Luego las ecuaciones (2.30) y (2.31), toman la forma siguiente:

$$Y_t = X'_t - T_m + T_m \dots\dots\dots(2.32)$$

$$Y_t = X'_t - (A_m + B_m \cdot t) + T_m \dots\dots\dots(2.33)$$

B.- Tendencia en la desviación estándar

(Villón M., 1983). Una analizada y corregida la tendencia en la media se procede a analizar la tendencia en la desviación estándar. Generalmente la tendencia en la desviación se presenta en los datos semanales o mensuales pero no en datos anuales, y se expresa por la ecuación polinomial:

$$T_s = A_s + B_s t + C_s t^2 + D_s t^3 + \dots\dots\dots(2.34)$$

ó en forma de regresión lineal simple:

$$T_s = A_s + B_s t \dots\dots\dots(2.35)$$

Donde:

T_s = tendencia en la desviación estándar.

$T_s = Y_t$ valor corregido de tendencia en la media y datos a usarse para el cálculo de los parámetros.

t = tiempo en años.

t = 1, 2, 3 n (número de años)

A_s, B_s, C_s, D_s = coeficientes de los polinomios de regresión, estimados con los datos corregidos de tendencia en la media.

El procedimiento para estimar y evaluar la tendencia en la desviación estándar se procede de la siguiente forma:

- La información sin tendencia en la media Y₁, se divide en varios períodos (en años).
- Para cada período se calcula las desviaciones estándar de toda la información, según:

$$S_p = \left[\frac{1}{w-1} \sum_{p=1}^{12} (Y_{p,\tau} - \bar{Y}_p)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.36)$$

Donde:

S_p = desviación estándar para el periodo P(año P).

Y_p = serie sin tendencia en la media.

Y_P = promedio del periodo P(año P).

P= 1, 2, 3 n , con n igual al número de períodos.

τ = 1,2,3 , w.

w = 12, 52 ó 365 si el análisis de la serie es mensual, semanal o diaria, respectivamente.

- Cálculo de los parámetros de la ecuación de Regresión Lineal Simple (2.35) a partir de las desviaciones estándar anuales y el tiempo t en años ó períodos considerados, utilizando las ecuaciones (2.25), (2.26) y (2.27), dadas para la tendencia en la media.
- Se evalúa T_s con el análisis del coeficiente de correlación R, siguiendo el mismo procedimiento descrito para T_m.

Si R resulta significativo en la prueba, entonces la T_s es significativa, por lo cual se debe eliminar la tendencia de la serie, mediante la siguiente ecuación:

2.4.3 COMPLETACIÓN Y/O EXTENSIÓN DE DATO HIDROMETEOROLÓGICOS

La completación y extensión de la información se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de la información de los registros cortos y tener en lo posible series completas más confiables y de un período uniforme. Existen varios procedimientos para realizar la completación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Cuando se realiza la completación y/o extensión de datos hidrológicos o meteorológicos se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada debido a que:

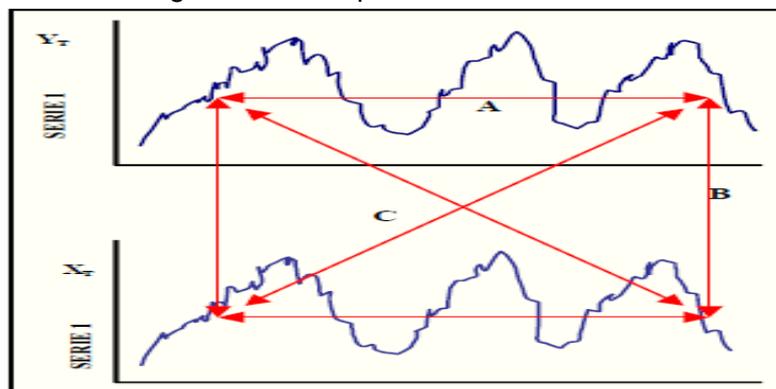
- Al aumentar la longitud de un registro de datos se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito el estimador se asemeja más al parámetro Poblacional.
- Si el procedimiento no es el adecuado en vez de mejorar los estimados se empeoran, siendo preferible utilizar los registros cortos.

El proceso de completación se realiza en las series consistentes, vale decir, después de haber analizado la confiabilidad de los mismos.

Tipos de correlación

[Aliaga A., 1985] Para efectos de comprensión de la terminología utilizada, en la figura N° 2.19 se define las correlaciones existentes en el tiempo y en el espacio las mismas que son:

figura N° 2.19 tipos de correlación



- ✓ Correlación en el tiempo solamente: Autocorrelación o correlación temporal o correlación lineal sin desfase.
- ✓ Correlación en el espacio solamente: Correlación cruzada o correlación espacial o correlación serial sin desfase.
- ✓ Correlación en el tiempo y en el espacio: correlación espacial y temporal o correlación cruzada con desfase.

2.4.3.1 ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

La ecuación de R.L.S es lineal porque genera una línea y es simple porque intervienen solamente dos variables. La representación matemática es:

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i \quad \text{Modelo matemático}$$

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i + \varepsilon_i \quad \text{Modelo estocástico}$$

Donde:

Y_i : Es la variable dependiente

X_i : Es la variable independiente

α, β : Son los parámetros de la ecuación de regresión, α es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje "Y";

β es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea de regresión el mismo que explica cuán rápido aumenta o disminuye la variables dependiente "Y" con un cambio "X"; el residuo que queda de la variable "Y" que no ha sido considerado en "X", existe debido a que las muestras son al azar y debido al efecto de otras variables

Para que el proceso de inferencia sea válido es necesario que las variables cumplan ciertas condiciones a las que se denomina suposiciones y son:

- (1) Que el modelo propuesto sea el adecuado.
- (2) Para cada valor de X se genera una distribución de valores Y los cuales son normales.
- (3) Los errores se distribuyen normalmente e independientes con media cero y variancia σ^2 .
- (4) Existe homogeneidad de varianza.
- (5) Las muestras son al azar.

(6) Los valores de X son fijos medidos sin error.

Estimación de los parámetros

El método utilizado para estimar los parámetros de la ecuación de regresión es el de mínimos cuadrados, que consiste como su nombre lo indica en minimizar la suma de cuadrados del error.

Los valores estimados de la regresión lineal son:

$$a = \frac{\sum Y_i - b * \sum X_i}{n} = \bar{Y} - b * \bar{X}$$

$$b = \frac{\sum Y_i X_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i} = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

$$r = b * \left\{ \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \right\}^{1/2} = b \frac{S_x}{S_y}$$

Donde:

r : Es el coeficiente de correlación entre X, Y

S_x : Es la desviación estándar de X

S_y : Es la desviación estándar de Y

Prueba de hipótesis del grado de asociación

Para probar el grado de asociación de las variables Y, X se hace uso del coeficiente de correlación, siguiendo los siguientes pasos.

1° H_p : $p = 0$

H_a : $p \neq 0$

$\alpha = 0.05$ (p es el coeficiente de correlación poblacional y su valor varíase -1 a $+1$)

2° Cálculo del estadístico de la prueba

$$T_c = r \frac{(n-2)^{1/2}}{(1-r^2)^{1/2}}$$

T tabular o teórico con α y n-2 grados de libertad

3° Criterio de decisión:

Si $T_c \leq T_t$ entonces, se acepta la hipótesis planteada, vale decir $\rho = 0$

Si $T_c \leq T_t$ entonces, el coeficiente de correlación es significativo al 95% de probabilidad, siendo factible en este caso utilizar la ecuación de regresión para los objetivos deseados.

2.4.3.2 PROCESOS DE COMPLETACIÓN DE DATOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Como se mencionó anteriormente, completar significa llenar los vacíos en la información hidrometeorológica existente. Para realizar el proceso de completación de datos de una estación en base a otra, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Buscar o seleccionar las estaciones que guardan buena relación con la estación que se quiere completar.
- En los análisis respectivos no juntar datos de épocas secas con datos de épocas húmedas, sino que realizar el proceso separadamente
- Si se dispone de pocos datos regresibles entonces completar el dato faltante con un coeficiente de correlación alto.
- Cerciorarse o verificar de que las características de la cuenca de la estación completa y de la estación a completar sean similares en su comportamiento hidrológico. Para este paso se usa los parámetros: área, ubicación, orografía, altura, forma, vegetación, etc. Cuanto más similares sean estas características es más probable que la correlación entre estaciones cercanas de un mismo río son relativamente buenas.

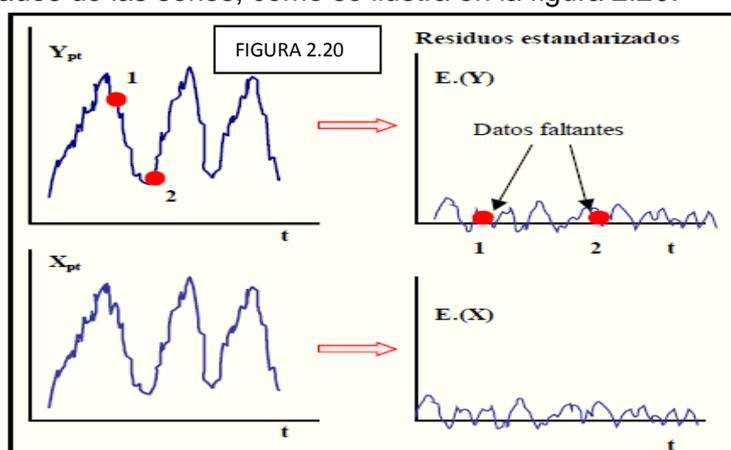
- Verificar que los escurrimientos superficiales registrados en las estaciones sean efecto de las mismas causas (precipitación, afloramientos de aguas subterráneas, nievales, regulaciones, etc.),
- Para realizar la completación de datos de ser posible probar la normalidad de las series, y si no lo son, transformarles a normales; en la mayoría de los casos esta condición es asumida como un hecho.

Con las consideraciones anteriores el proceso de completación se realiza teniendo en cuenta el intervalo de tiempo de discretización de los datos, vale decir: Completación de datos anuales y Completación de datos no anuales. *(Solamente se explicará la completación de datos no anuales)*

✓ **Completación de datos no anuales**

[Aliaga A., 1985] Cuando se trata de completar datos no anuales (mensuales, semanales o diarios) el problema es más complicado porque las series además de ser dependientes son periódicas o cíclicas, características que disminuyen enormemente la bondad de la prueba estadística; en este caso puede suceder que:

- Se realiza el proceso de completación mes a mes. Vale decir se desea completar el mes “i” de la estación “Y” con el mes “i” de la estación “X”. En este caso no interesa la ciclicidad.
- Se completa los datos por autocorrelación entre el mes “i” el mes “i-1” en este caso tampoco interesa la periodicidad.
- Si se completa los datos no anuales en su totalidad o se agrupan según las estaciones o comportamiento hidrológico, entonces si hay que remover las periodicidades temporalmente y realizar la correlación en los residuos estandarizados de las series, como se ilustra en la figura 2.20:



El procedimiento para realizar la completación con series no anuales según el caso “c” es como se describe a continuación:

- 1°- Realizar un análisis gráfico planteando en coordenadas cartesianas los datos de las dos estaciones respectivas.
- 2°- Cálculo de las periodicidades en la media y desviación estándar en las series completas e incompletas que se van a correlacionar.

$$M_{\tau}(x) = \frac{\sum_{p=1}^n X_{p,\tau}}{n} \quad , \quad S_{\tau}(x) = \left[\frac{\sum_{p=1}^n (X_{p,\tau} - M_{\tau}(x))^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

$$M_{\tau}(y) = \frac{\sum_{p=1}^n Y_{p,\tau}}{n} \quad , \quad S_{\tau}(y) = \left[\frac{\sum_{p=1}^n (Y_{p,\tau} - M_{\tau}(y))^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

$M_{\tau}(y), M_{\tau}(x)$: Son las medias periódicas de los datos X e Y,

$S_{\tau}(y), S_{\tau}(x)$: Son las desviaciones estándar periódicas de los datos X e Y

$X_{p,t}, Y_{p,t}$: Son los registros periódicos completos e incompletos, respectivamente.

$P = 1, 2, \dots, n$ con “n” igual al número de años de registro
 $t = 1, 2, 3, \dots, w$ indica la variación del periodo básico de análisis $t = 1, 2, 3, \dots, w$, con $w =$ periodo básico de análisis y puede ser $w = 12, 52$, o 365 si el análisis es mensual, semanal o diario.

- 3°- Remoción temporal de las periodicidades a partir de los registros históricos de las series X e Y.

$$E_{p,\tau}(Y) = \frac{Y_{p,\tau} - M_{\tau}(y)}{S_{\tau}(y)}$$

Donde:

$E_{p,t}(Y), E_{p,t}(X)$: Son los residuos estandarizados de las series Y, X respectivamente, vale decir, sin periodicidades en la media ni en distribución estándar, como se muestra en la figura anterior.

Los residuos de X e Y se pueden representar por: $E(x), E(y)$ respectivamente, por simplicidad de notación; los demás términos han sido descritos anteriormente.

4^o- Realizar el proceso de correlación y regresión en los residuos estandarizados, es decir:

- Sea el modelo de selección: $E(y) = A + B * E(x)$
- Calcular el coeficiente de correlación “r” entre $E(y)$ y $E(x)$, es decir, en los residuos estandarizados
- Realizar la prueba de significación de “r” ($H_p: r=0$; $H_a: r \neq 0$) según el estadístico “T” (explicado anteriormente)
- Si “ $r \neq 0$ ” es decir resulta significativo al 95% de probabilidad, realizar la completación respectiva; pero si no es significativo, entonces probar con otro registro de datos (otras estaciones)
- Calcular los parámetros de la regresión según:

$$A = \overline{E(Y)} - B * \overline{E(X)}$$

$$B = r \frac{S_{ey}}{S_{ex}}$$

Donde:

$E(Y), E(X)$: Son los promedios de los residuos estandarizados

S_{ey}, S_{ex} : Son las desviaciones estándar de los residuos estandarizados

- Luego, el dato faltante de los residuos estandarizados se completa según la ecuación:

$$\hat{E}(Y) = A + B * E(X)$$

Donde

$\hat{E}(Y)$: Es el dato faltante en la serie incompleta

$E(X)$: Es el dato de la serie completa

- Finalmente, completado los datos en los residuos se procede a devolver las periodicidades, es decir la media y la desviación estándar; una forma directa es usando los estimados previos es la siguiente:

$$Y_{p,\tau} = M_{\tau}(y) + S_{\tau}(Y) * \hat{E}_{p,\tau}(y)$$

Los componentes fueron explicados anteriormente.

- ✓ Por otro lado, para el proceso de completación y extensión de la información hidrometeorológica también se usa los Modelos HEC-4 y CORMUL, según el conocimiento del profesional.

En este trabajo para el proceso de completación y extensión de la información hidrometeorológica se utilizó el Modelo Hidrológico denominado HEC-4 MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América.

2.4.3.3 EXTENSIÓN DE DATOS NO ANUALES

Extender un registro histórico significa aumentar los datos un período considerable antes del primer dato o después del último. Muchas veces también se tiene que extender un periodo intermedio.

La extensión es muy importante por cuanto hace variar los estimados de los parámetros, esto es: si el procedimiento es adecuado entonces se mejora los estimados, pero si el procedimiento no es el adecuado entonces se puede empeorar los estimados.

En la presente tesis se empleó dos métodos para la extensión de la información:

- Regresión lineal simple en los datos estandarizados este método es similar al de la completación de datos descritos anteriormente.
- Generación aleatoria, este método consiste en extender la serie de datos estandarizados mediante la generación de números aleatorios

Normalmente distribuidos con media 0 y variancia 1, su ecuación general es:

$$Y_{p,\tau} = M_{\tau}(y) + S_{\tau}(Y) * \varepsilon_{p\tau}$$

Donde:

$\varepsilon_{p,\tau}$: Variable aleatoria normal e independiente con media cero y varianza unitaria. Para el año "p" y el mes "r",

Las demás variables fueron descritas con anterioridad.

2.4.4 MODELO HIDROLÓGICO

En hidrología suele utilizarse modelos para tratar de representar el comportamiento del sistema hidrológico (el prototipo); un modelo puede ser **material** o **formal**:

El **modelo material**, es una representación física del prototipo, con una estructura más simple pero con propiedades similares a las del prototipo. Estos modelos materiales pueden ser físicos o análogos.

El **modelo formal**, es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva a grandes rasgos las propiedades estructurales importantes del prototipo; en hidrología aplicada (ingenieril) todos los modelos utilizados son de tipo formal y suelen denominarse **modelos matemáticos**.

En general, un modelo matemático puede ser: **Teórico**, **Conceptual** ó **Empírico**. El **Teórico** se basa en un conjunto de leyes generales; mientras que el **Empírico** usa las inferencias derivadas del análisis de datos y, el **Conceptual** se ubica entre estos dos.

En hidrología aplicada (ingenieril) se usan actualmente cuatro tipos de modelos matemáticos:

(1) Determinístico o físicamente basado, se formula utilizando las leyes físicas que rigen los procesos involucrados descritos mediante ecuaciones diferenciales.

(2) **probabilística**, es gobernado por las leyes del azar y las probabilidades.

(3) **Conceptual**, es una representación simplificada de los procesos físicos que se obtiene concentrando (integrando) las variaciones espaciales o temporales.

(4) **Paramétrico**, representa los procesos hidrológicos por medio de ecuaciones algebraicas que contienen parámetros a determinar empíricamente.

En general, todos los métodos de análisis en ingeniería hidrológica pueden clasificarse en alguno de los 4 tipos de modelos recién descritos, veamos algunos ejemplos típicos.

El rastreo de crecidas mediante la teoría de la onda cinética es un método **determinístico**, gobernado por una ecuación diferencial parcial que describe el balance de masa y momentum (simplificado).

- El análisis de frecuencia de crecidas (utilizando alguna distribución de probabilidades) es un método **probabilístico**.
- El modelo de cascada de embalses lineales es **conceptual**: trata de simular las complejidades de la respuesta de la cuenca por medio de una serie de hipotéticos embalses lineales.
- El método de la fórmula racional es **paramétrico**: el caudal máximo se estima en base a un coeficiente de escorrentía determinado empíricamente.

$$Q=C \cdot I \cdot A$$

Q = Qmax para una cierta intensidad de precipitación. I = Intensidad

A = Área cuenca.

2.4.5 MODELOS PRECIPITACIÓN – DESCARGA

Los modelos de **Precipitación-Descarga** más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema (precipitación) y las salidas del mismo (evaporación, escorrentía y descarga del acuífero) reproduciendo simplificadaamente los procesos del ciclo hidrológico.

Estos procesos se representan por una determinada formulación y unos parámetros cuyos valores habrá que estimar en la cuenca a estudiar, bien con datos de aforo si los hay, bien por analogía con otras cuencas en que si exista esa información (regionalización de parámetros)

Dentro de estos modelos **precipitación-descarga con balance de humedad** se pueden distinguir:

- **Los de elevado número de parámetros.** Estos realizan un cálculo continuo, trabajan normalmente con datos horarios o diarios y utilizan alrededor de 15 a 20 parámetros estando entre los más conocidos el modelo de **Stanford IV** (*Stanford Watershed Model IV*) desarrollado por la Universidad de Stanford en 1959, **TWN** (*Texas Watershed Model*) desarrollado por la Universidad Tecnológica de México 1970, **NWSRFS**

(*National Weather Service Runoff Forscat System*) desarrollado por el Servicio Nacional del Tiempo de los EE.UU. en 1972, **PSF** (*Hidrologic Simulación Program Fortran*) desarrollada por la Agencia de Protección ambiental de los EE.UU. 1980, etc.

- **Los de reducido número de parámetros.** En este tipo de modelos se suele trabajar a escala temporal mayor (usualmente mensual) y se produce sólo las partes del ciclo hidrológico coherentes con dicha escala. Son modelos que manejan pocos parámetros entre 2 a 6 generalmente y, se utilizan en estudios de ámbito regional siendo muy adecuados cuando existe escasez de datos; entre los más conocidos están: **THORNTHAWAITE-T**, el más sencillo de los existentes, fue desarrollado en 1955 por *Thornthwaite*, consideró al suelo como un único embalse en el que el excedente de agua se produce solamente cuando este se encuentra lleno; **PALMER-P**, desarrollado por *Palmer* en 1965 consideró dos zonas de almacenamiento para reproducir el funcionamiento del suelo; (1) la zona radicular o zona superior, donde la evapotranspiración tiene lugar a la velocidad de la ETP y, (2) la inferior, donde plantea una ley de evapotranspiración que tiene en cuenta la mayor dificultad para que la evaporación se produzca a la velocidad de la potencial, el excedente de agua tiene lugar cuando los embalses están llenos; el modelo de **LUTZ SCHOLZ** desarrollado en el Perú en 1980, el cual es motivo de la presente tesis.

2.6 MODELO HIDROLÓGICO DE TEMEZ

Este modelo fue desarrollado en España por J. R. Téméz, habiendo sido aplicado exitosamente en cuencas de la vertiente del lago Titicaca, así como en cuencas de la sierra sur peruana. Este modelo reproduce los procesos esenciales del transporte de agua que tienen lugar en las diferentes fases del ciclo hidrológico.

El modelo está presidido por el principio de continuidad o conservación de masa y regulado por leyes específicas de reparto transferencia entre los distintos términos del balance.

(Aguirre M., 1999). Considera el terreno de la cuenca dividido en dos zonas:

- La zona superior no saturada, o de humedad del suelo, en cuyos poros coexisten el agua y el aire, y
- La zona inferior o acuífero, que está saturada de agua y funciona como un embalse subterráneo con desagüe a la red superficial de drenaje.

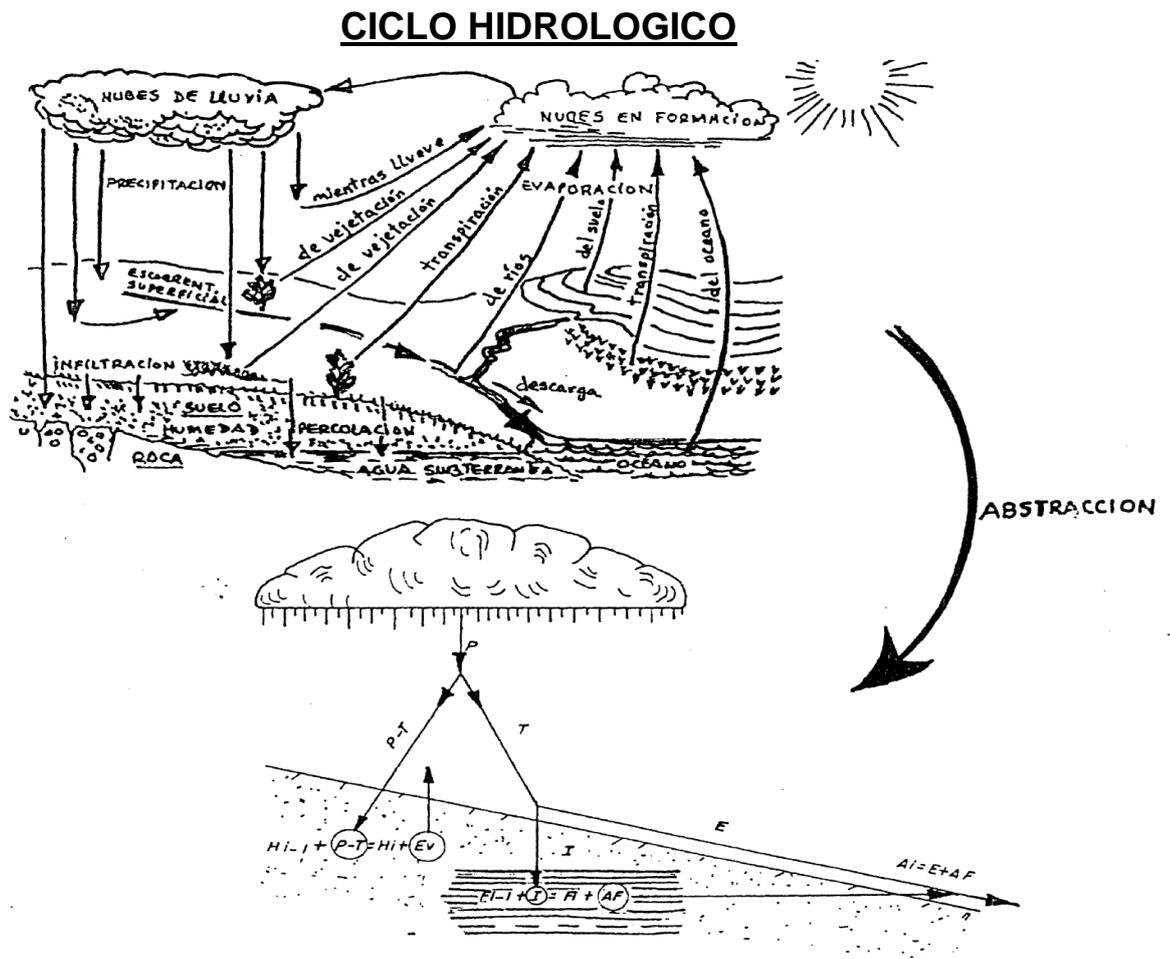


Fig. 2.21 Esquema Abstracto del ciclo hidrológico para el modelo matemático TEMEZ

2.6.1 FORMULACIÓN TEÓRICA

a.- Calculo del Excedente

La Ley de excedentes se plantea, adoptando el excedente de la siguiente expresión:

$$T_i = 0 \quad , \text{ Si } P_i \leq P_0 \quad \dots\dots\dots(2.46)$$

$$T_i = \frac{(P_i - P_0)^2}{P_i + \partial - 2P_0}$$

$$\partial = H_{\max} - H_{i-1} + EP_i \quad , \text{ Si } P_i > P_0 \quad \dots\dots\dots(2.47)$$

$$P_0 = C(H_{\max} - H_{i-1})$$

Donde:

P_i = Precipitación en el período comprendido desde el instante i-1 al instante i (mm)

T_i = Excedente en el período comprendido desde el instante i-1 al instante i (mm)

H_{\max} = Capacidad máxima de humedad del suelo (mm)

H_{i-1} = Humedad en el suelo en el instante i-1 (mm)

EP = Evapotranspiración potencial desde el instante i-1 al instante i (mm)

C = Es un parámetro de excedente

Esta ley es asintótica a la que propuso Thomthwaite para valores altos de precipitación, considerándose más realista en la parte baja de la misma.

En el método Thomthwaite, la ley del excedente se simplifica excesivamente, con serio detrimento de los resultados, y se reduce a $T=0$ para $P \leq d$ y $T= P-d$, para $P > d$.

b.- Humedad en el Suelo y Evapotranspiración

Una vez estimado el excedente, la humedad en el suelo (H_i) al final del período será:

$$H_i = \text{Max}(O, H_{i-1} + P_i - T_i - EP_i) \dots\dots\dots(2.48)$$

Habiéndose producido una evapotranspiración real igual a:

$$E_i = \text{Min}(H_{i-1} + P_i - T_i, EP_i) \dots\dots\dots(2.49)$$

Esta última expresión indica que se puede evapotranspirar toda el agua disponible con el límite superior de la evapotranspiración potencial.

c.- Infiltración

El modelo adopta una ley de infiltración del acuífero (I) función del excedente (T) y del parámetro de infiltración máxima (I_{max}).

La forma y tiene por expresión matemática:

$$I_i = I_{\text{max}} \frac{T_i}{T_i + I_{\text{max}}} \dots\dots\dots(2.50)$$

T_i , I_i e I_{max} vienen dados en mm

La infiltración aumenta con el excedente, siendo para valores altos, asintótica al valor límite I_{max} .

Se admite que esta infiltración I se convierte en recarga del acuífero (R), en tanto que el resto del excedente ($T-I$) será drenado por el cauce. Para ello se ha supuesto que el tiempo de paso por la zona no saturada es inferior al intervalo de tiempo de simulación.

d.- Aportación Subterránea

Las hipótesis que se realizan sobre el funcionamiento del acuífero son las siguientes:

- Ley exponencial de descarga del acuífero

$$Q = Q_{i-1} * e^{-at} \dots\dots\dots(2.51)$$

Donde:

- Q_i = Caudal de descarga en el instante i (hm³/período)
- a = Coeficiente de la rama de descarga del acuífero (días)
- t = Intervalo de tiempo entre los instantes $i-1$ e i (días)

La relación entre el caudal de descarga y el volumen almacenado en el acuífero es igual a:

$$Q_i = a * V_i \dots\dots\dots(2.52)$$

Donde:

- D = Período de tiempo de simulación (días/período)
- V = Volumen del acuífero en el instante i (hm³)

- La recarga por infiltración se supone concentrada en la mitad del período con lo cual la ley de caudales subterráneos resulta:

$$Q_i = Q_{i-1} * e^{-at} + a * R_i * e^{-\frac{at}{2}} \dots\dots\dots(2.53)$$

Siendo:

R_i = Recarga al acuífero en el período $i-1, i$ (hm³/período). Coincidente con la infiltración I .

La aportación subterránea a lo largo del período A_{SUBi} , resulta:

$$A_{SUBi} = V_{i-1} - V_i + R_j t \dots\dots\dots(2.54)$$

e.- Aportación Total

Esta aportación será la suma de la escorrentía superficial (excedente menos infiltración) y la aportación subterránea.

$$A_i = T_i - I_i + A_{SUBi} \dots\dots\dots(2.55)$$

f.- Parámetros del Modelo

Los parámetros del modelo son cuatro:

H_{max} =Capacidad máxima de humedad del suelo

C = Parámetros del excedente.

I_{max} = Capacidad máxima de infiltración

Alfa = Coeficiente de la rama de descarga

2.6.2 VARIANTES DEL MODELO

Las variantes introducidas en el modelo son las siguientes:

Régimen de precipitaciones dentro del mes. La nueva formulación permite concentrar la precipitación en “n” días dentro del mes, y en ese período se considera uniformemente repartida.

La nueva formulación permite considerar más de una rama de descarga del acuífero.

A continuación se reflejan aquellos procesos en los que los balances o las leyes de transferencia han sufrido modificaciones.

a.- Aportación Subterránea

Las hipótesis que se realizan sobre el funcionamiento del acuífero son las siguientes: Se han supuesto dos leyes de descarga exponenciales (Estrela, T. y Sahuquillo, A. 1985).

$$Q_i^1 = Q_{i-1}^1 * e^{-a_1 t} \tag{2.56}$$

$$Q_i^2 = Q_{i-1}^2 * e^{-a_2 t} \tag{2.57}$$

Donde:

Q^1_i ; Q^2_i = Caudales de descarga en las celdas virtuales 1 y 2 (correspondientes a las dos ramas de descarga) en el instante i (hm3/período)

$a_1; a_2$ = Coeficiente de las ramas de descarga del acuífero
 t : Intervalo de tiempo entre los instantes i-1 e i (días) Siendo la relación entre caudales de descarga y volúmenes almacenados en cada una de las celdas virtuales consideradas igual a:

$$Q_i^1 = a_1 V_i^1 \dots\dots\dots(2.58)$$

$$Q_i^2 = a_2 V_i^2 \dots\dots\dots(2.59)$$

Donde:

$V_i^1; V_i^2 =$ Volúmenes en las celdas virtuales 1 y 2 en el instante i (hm³)

La recarga por infiltración se supone uniformemente repartida en el período en que se produce la precipitación, con lo cual las leyes de caudales subterráneos resultan:

$$Q_{int1}^1 = Q_{i-1}^1 * e^{-a_1(1-a)0.5t} \dots\dots\dots(2.60)$$

$$Q_{int1}^2 = Q_{i-1}^2 * e^{-a_2(1-a)0.5t}$$

$$Q_{int1}^1 = Q_{int1}^1 * e^{-a_1 t} + b_1 * R_i (1 - e^{-a_1 t}) \dots\dots\dots(2.61)$$

$$Q_{int1}^2 = Q_{int1}^2 * e^{-a_2 t} + b_2 * R_i (1 - e^{-a_2 t})$$

$$Q_i^1 = Q_{int2}^1 * e^{-a_1(1-a)0.5t} \dots\dots\dots(2.62)$$

$$Q_i^2 = Q_{int2}^2 * e^{-a_2(1-a)0.5t}$$

Donde:

$R_i =$ Intensidad de la recarga al acuífero en el período en que se produce la precipitación. Coincide con la infiltración $b_1, b_2 =$ Coeficientes de reparto de la recarga entre cada una de las celdas virtuales.

Los coeficientes de reparto deben de satisfacer:

$$b_1 + b_2 = 1$$

El caudal de descarga total se obtiene sumando los caudales de descarga de cada una de las celdas virtuales consideradas, con lo que:

$$Q_i = Q_i^1 + Q_i^2 \dots\dots\dots(2.66)$$

La aportación subterránea a lo largo del periodo, A_{SUBi} , resulta:

$$A_{SUBi} = A_{SUBi}^1 + A_{SUBi}^2 \dots\dots\dots(2.67)$$

Donde :

$$A_{SUBi}^1 = V_{i-1}^1 - V_i^1 + b_1 * R_i * a * t \dots\dots\dots(2.68)$$

$$A_{SUBi}^2 = V_{i-1}^2 - V_i^2 + (1 - b_1) R_i * a * t \dots\dots\dots(2.69)$$

b.- Aportación Total

Esta aportación será la suma de la escorrentía superficial (excedente menos infiltración) y la aportación subterránea

$$A_i = T_i - I_i + A_{SUBi} \dots\dots\dots(2.70)$$

c.- Parámetros del Modelo

Los parámetros del modelo son seis:

H_{ma} = Capacidad máxima de humedad del suelo.

C = Parámetro de excedente

I_{max} = Capacidad máxima de infiltración

b_1 = Coeficiente de reparto de la recarga. Fracción de la recarga que va a la celda virtual correspondiente a la primera rama de descarga.

a_1 = Coeficiente de la primera rama de descarga

a_2 = Coeficiente de la segunda rama de descarga

d.- Consideraciones sobre esta Variante

El hecho de considerar dos ramas de descarga, permite reproducir de mejor forma la componente subterránea de la aportación; por contra se produce un aumento en el número de parámetros del modelo, lo que obliga a que su utilización venga justificada por una mejora sensible de los resultados.

Como regla general se observa que, al reducir la escala temporal de simulación se detectan más de una rama de descarga. En estudios a escala mensual no es usual identificar más de dos ramas y en la mayoría de los casos es detectada solamente una.

Es conveniente tener presente que un aumento del número de parámetros conlleva una mayor dificultad para controlar los procesos de transferencia de agua, así como un incremento importante en el tiempo dedicado a la fase de calibración del modelo. En algunos casos este hecho propicia la utilización de técnicas de estimación automática de los parámetros.

2.7 MODELO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ DE SERIES MENSUALES

El modelo de generación de caudales mensuales en la sierra peruana, tiene una aplicabilidad principalmente en pequeña y medianas cuencas de la sierra peruana.

El modelo se basa fundamentalmente en el balance hídrico y en parámetros parciales de tipo determinístico. El método permite combinar los factores que producen e influyen en los caudales como es la precipitación, evaporación, el almacenamiento y la función de agotamiento natural de la cuenca, para el cálculo de las descargas en forma de modelo matemático.

Comparando los caudales generados por el modelo con registros hidrométricos se constata una correspondencia satisfactoria. Por eso se puede proyectar un sistema de irrigación sobre la base de los caudales generados aprovechando al máximo el recurso hídrico.

(Aguirre M., 1999). El cálculo por modelo tiene la ventaja de poder constatar la influencia de cada componente del balance hídrico y en consecuencia, tener la posibilidad de calibrar el modelo por aforos.

A.- GENERALIDADES DEL MODELO

Este modelo hidrológico, es combinado por que cuenta con una estructura determinística 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). Fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra

peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

(Aliaga A., 1985). 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:

1. Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrentía promedio.
2. 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.
3. 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 fué 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.

B.- CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se analiza lo que es el balance hídrico con la finalidad de establecer modelos parciales, sean estos determinísticos o estocásticos, para regionalizar los parámetros que describen el caudal mensual.

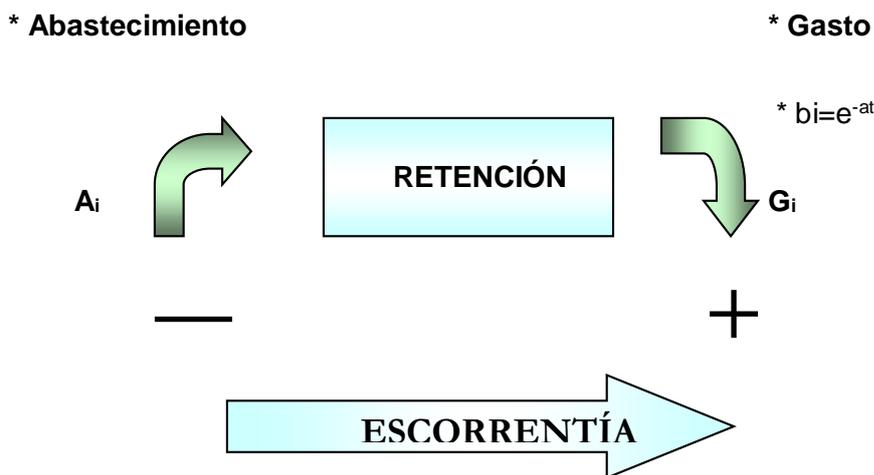


Figura 2.22 a: Gasto y Abastecimiento de la Retención

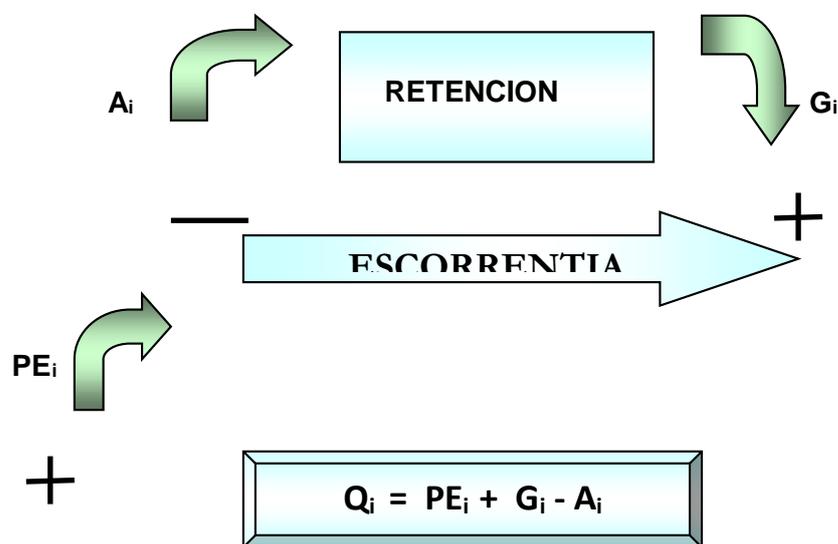


Figura 2.22 b: Forma de producir la Escorrentía Generada en el modelo

2.7.1 ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

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

$$C_{Mi} = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (1)$$

Donde:

C_{Mi} = 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:

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

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 = Área de la cuenca (m²)

2.7.2 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L. Turc:

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

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año) P = Precipitación Total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

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

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

Siendo:

L = Coeficiente de Temperatura

T = Temperatura media anual (°C)

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

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

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

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

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

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

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

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

Donde:

RSM = Radiación solar media

TF = Componente de temperatura

FA = Coeficiente de corrección por elevación

TF = Temperatura media anual (°F)

RA = Radiación extraterrestre (mm H₂O / año)

(n/N) = Relación entre insolación actual y posible (%) 50 % (estimación en base a los registros)

AL = Elevación media de la cuenca (Km)

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

2.7.3 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

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 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.

Para fines hidrológicos se toma como precipitación efectiva la parte de la precipitación total mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR (precipitación efectiva hidrológica es el antítesis de la precipitación efectiva para los cultivos).

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

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

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes) ai = Coeficiente del polinomio

El cuadro 2.1 muestra los valores límite de la precipitación efectiva y el cuadro 2.2 muestra los tres juegos de coeficientes, ai, que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Cuadro 2.1 Límite superior para la Precipitación Efectiva:

Curva I:

$$PE = P - 120.6 \text{ para } P > 177.8 \text{ mm/mes}$$

Curva II:

$$PE = P - 86.4 \text{ para } P > 152.4 \text{ mm/mes}$$

Curva III:

$$PE = P - 59.7 \text{ para } P > 127.0 \text{ mm/mes}$$

Cuadro 2.2 Coeficientes para el Cálculo de la Precipitación Efectiva:

	Curva I	Curva II	Curva III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.01850	+0.1358	+0.2756
a2	+0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1204 E-8	+4349 E-8	+5534 E-8
a4	+144 E-9	- 89.0 E-9	+124 E-9
a5	-285 E-12	-879 E-13	-142 E-11

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

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

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

Q = Caudal anual

P = Precipitación Total anual

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

2.7.4 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:

$$R_i = CM_i - P_i \quad CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

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).

2.7.5 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:

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

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.

2.7.6 COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO

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

Con fines prácticos se puede 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.

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

$$a = 3.1249 E 67 (AR)^{-0.1144} (EP)^{-19.336} (T)^{-3.369} (R)^{-1.429}$$

$$r = 0.86$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.023$$

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)

2.7.7 ALMACENAMIENTO HÍDRICO

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

- Acuíferos
- Lagunas y pantanos
- Nevados

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

- Acuíferos:

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

Siendo:

LA = lámina específica de acuíferos

I = pendiente de desagüe: I ≤ 15 %

- Lagunas y Pantanos

$$L_L = 500 \quad (mm/año)$$

Siendo:

LL = Lámina específica de lagunas y pantanos

- Nevados

$$L_N = 500 \quad (mm/año)$$

Siendo:

LN = 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.

2.7.8 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 2.3

Cuadro 2.3 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
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	5	0	20	25	35	100

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

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

Siendo:

A_i = abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes) a_i = coeficiente de abastecimiento (%) R = retención de la cuenca (mm/año)

2.7.9 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)

2.7.10 GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS

2.7.10.1 GENERACIÓN CON EL MODELO MARCOVIANO DE PRIMER ORDEN

El modelo hidrológico presentado anteriormente (de Lutz Scholz) permite Estimar los caudales del año promedio de las subcuencas con una precisión satisfactoria.

Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de caudales sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un periodo extendido.

Un método apropiado para la generación de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso, que vendría a ser la precipitación efectiva.

Ecuación general del modelo marcoviano

La variable de impu $Q_t = f(Q_{t-1})$ a Precipitación efectiva

$$Q = g(PE_t)$$

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

$$Z = z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Finalmente, la ecuación integral para la generación de caudales mensuales combinando los componentes citados, se escribe.

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

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes t

B_i : Coeficientes de la regresión lineal múltiple

S : Error estándar de la regresión múltiple

r : Coeficiente de correlación múltiple

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

El valor inicial de Q_{t-1} puede ser del caudal promedio del mes, o el caudal aforado del mes, o empezar con cero.

La precipitación efectiva de cada mes se calcula según las siguientes consideraciones:

- No es necesario identificar las curvas características para cada año puesto que se identificaron al calcular la precipitación efectiva representativa.
- Los coeficientes de ponderación son los mismos.
- Con las ecuaciones de las curvas características multiplicadas con su respectivo coeficiente de ponderación, nos dará PE de ese mes.

Los valores de los coeficientes B_0, B_1, B_2, r y S se calculan al desarrollar la regresión múltiple con los datos de caudales mensuales para el año promedio.

Por motivos didácticos se presenta la metodología del análisis de regresión múltiple

Regresión múltiple

Se calculan los parámetros B0, B1, B2, 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.

Cuadro 2.4

Mes	Q _i	Q _{i-1}	PE _i
	Y	X ₁	X ₂
Ene	Q ₁	Q ₁₂	PE ₁
Feb	Q ₂	Q ₁	PE ₂
Mar	Q ₃	Q ₂	PE ₃
Abr	Q ₄	Q ₃	PE ₄
May	Q ₅	Q ₄	PE ₅
Jun	Q ₆	Q ₅	PE ₆
Jul	Q ₇	Q ₆	PE ₇
Ago	Q ₈	Q ₇	PE ₈
Sep	Q ₉	Q ₈	PE ₉
Oct	Q ₁₀	Q ₉	PE ₁₀
Nov	Q ₁₁	Q ₁₀	PE ₁₁
Dic	Q ₁₂	Q ₁₁	PE ₁₂

Luego, las ecuaciones para el cálculo de las variables son como sigue:

Ecuación de regresión lineal múltiple para dos variables:

$$Y = B_0 X_{0i} + B_1 X_{1i} + B_2 X_{2i} + E_i$$

Se define:

$$\hat{Y} = Y - \bar{Y}$$

$$\hat{X}_1 = X_1 - \bar{X}_1$$

$$\hat{X}_2 = X_2 - \bar{X}_2$$

Los coeficientes se calculan:

$$B_0 = Y - B_1 X_1 - B_2 X_2$$

$$B_1 = \frac{\sum(\hat{Y} \hat{X}_1) * \sum(\hat{X}_2^2) - \sum(\hat{Y} \hat{X}_2) * \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - (\sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2))^2}$$

$$B_2 = \frac{\sum(\hat{Y} \hat{X}_2) * \sum(\hat{X}_1^2) - \sum(\hat{Y} \hat{X}_1) * \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - (\sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2))^2}$$

Se define:

$$SPX_1 Y = \sum(X_1 - \bar{X}_1)(Y - \bar{Y})$$

$$SPX_2 Y = \sum(X_2 - \bar{X}_2)(Y - \bar{Y})$$

$$SCY = \sum(Y - \bar{Y})^2$$

Luego, el coeficiente de correlación múltiple “r” se calcula:

$$r = \frac{B_1(SP X_1 Y) + B_2(SP X_2 Y)}{SCY}$$

Definimos

Y : Valores muestrales (Q_i), de la variable dependiente

Y' : Valores estimados de la variable dependiente con la ecuación de regresión múltiple

$e = Y - Y'$: Error entre los valores observados y estimados de la variable dependiente

n : Número de grupos de la muestra

p : Número de parámetros a estimar

Luego el error estándar de la regresión múltiple “S” se calculan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n - p}} = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n - p}}$$

2.7.10.2 RESTRICCIONES DEL MODELO

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

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

Es importante tener en cuenta las mencionadas restricciones a fin de garantizar una buena performance del modelo.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- MATERIALES

3.1.1.- UBICACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

La cuenca del río zapatilla, se encuentra ubicada aproximadamente en la parte sur del departamento de Puno, situada dentro de sus coordenadas de sus puntos extremos opuestos:

Cuadro N° 3.1 coordenadas de puntos opuestos

Punto	Coordenadas	Grados °	Minutos '	Segundos''	Longitud / latitud
1	Longitud	69	42	20.74	W
	Latitud	16	4	35.14	S
2	Longitud	69	29	29.94	W
	Latitud	16	23	13.14	S

Y altitudinalmente se extiende desde la superficie del Lago Titicaca cerca 3810. m.s.n.m. hasta 4200 m.s.n.m. que es la parte más alta de la cuenca.

Políticamente la cuenca del río Zapatilla, se encuentra ubicada en el:

Departamento : Puno.

Provincia : El Collao.

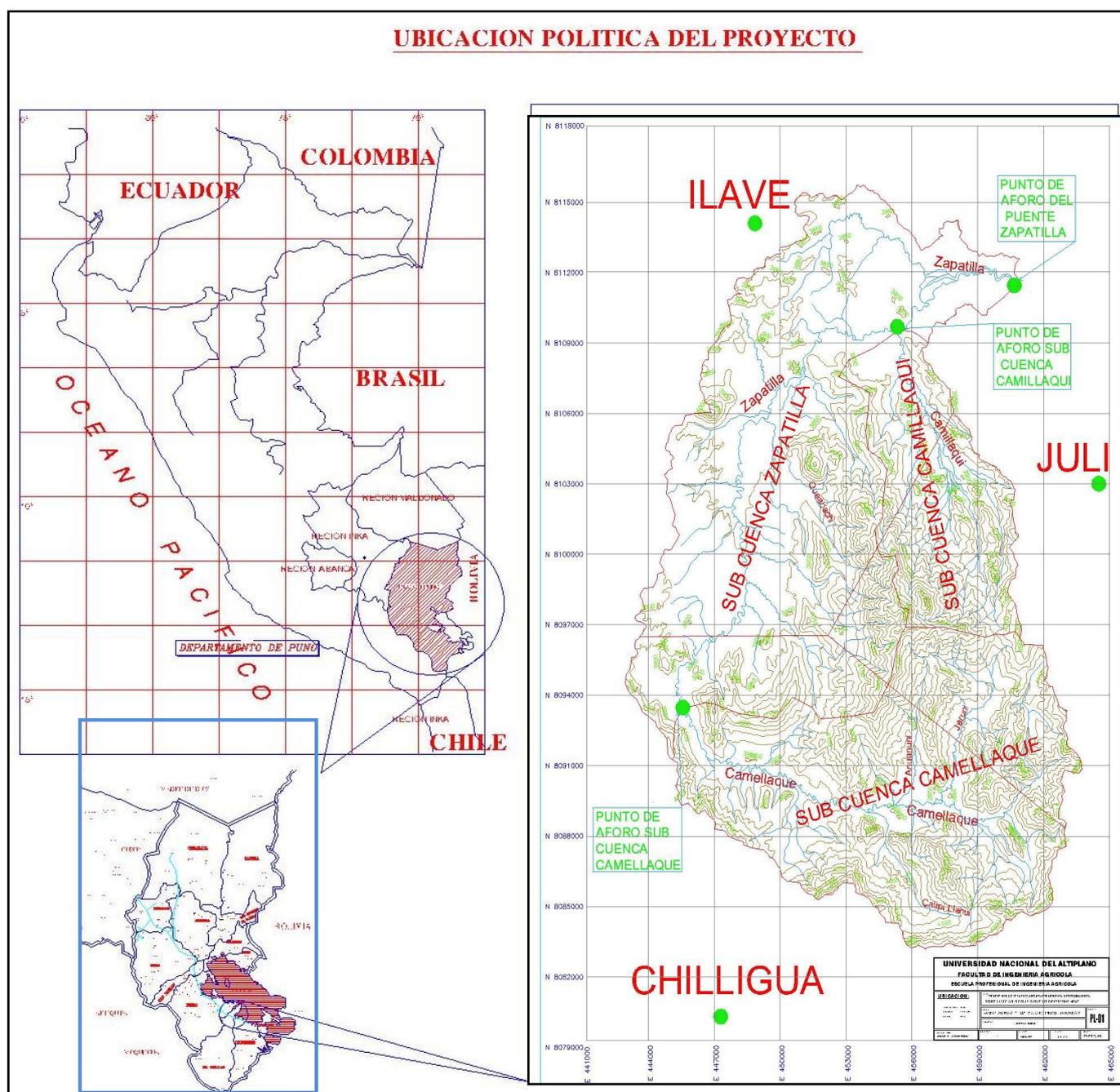
Distrito : Pilcuyo.

La cuenca del río zapatilla, constituye otra de las unidades geográficas importantes del sistema fluvial del Lago Titicaca, está catalogada según el ANA (Autoridad Nacional Del Agua) como la intercuenca numero 0157 y tiene un área de 434.332 km².

3.1.2.- INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para el presente estudio se ha utilizado la carta nacional 33x - Ilave, 33y - Juli a escala 1/100000, elaborado por el instituto Geográfico Militar-IGM; también los planos del sistema hídrico TDPS y de la cuenca de del rio zapatilla a escala 1/150000 y 1/200000 proporcionado por el Sistema de Información Geográfico (SIG) en la fig 3.1 muestran la ubicación del área de estudio.

Figura Nº 3.1 ubicación del área de estudio.



3.1.3.- INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA

Se empleo registros históricos de 36 años de longitud de precipitación media de las estaciones hidrometeoro lógicas de Chilligua, llave y Juli por estar más próximas al área de estudio. Dicha información hidrometeoro lógica fue proporcionado por el SENAMHI; (Servicio Nacional de Meteorología Hidrológica).

En el cuadro N° 3.2 y 3.3 se muestran las estaciones hidrométricas y estaciones meteorologías, muestra a la vez la ubicación, periodo y número de años de registros, tanto de los caudales medios mensuales y precipitación media mensual histórica; y es la información básica.

3.2.- METODOLOGÍA

El método para la generación de la información de series hidrológicas son los modelos de TEMEZ y LUTZ SCHOLZ en base a precipitación.

Para llevar a cabo el presente trabajo se tomó la información del Estudio Hidrológico Proyecto Derivación Kovire-Huenque, realizado por la institución Programa Regional de Riego y Drenaje "PRORRIDRE", así mismo se calculó la precipitación mensual mediante el método del polígono de THIESSEN.

3.2.1 ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA

En esta etapa el modelo caracteriza la cuenca desde su fisiografía, para lo cual adopta los métodos clásicos de la hidrología los cuales son:

1.- CUENCA DEL RIO ZAPATILLA

1.1.- ÁREA DE LA CUENCA (A)

El área de una cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para una caracterización fisiográfica. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

$$A= 434.331775 \text{ km}^2$$

Clasificación= **Cuenca pequeña**

1.2- PERÍMETRO DE LA CUENCA (P)

Es la medición lineal del parte-aguas de la cuenca y se expresa en km.

$$P= 126.020231 \text{ km}$$

1.3.- LONGITUD DE LA CUENCA (Lc)

Es la longitud medida desde la salida de la cuenca hasta el límite de la divisoria paralela al cauce principal, a lo largo de una línea recta, se expresa en km.

Lc= 27.9262092

1.4.- ANCHO DE LA CUENCA (W)

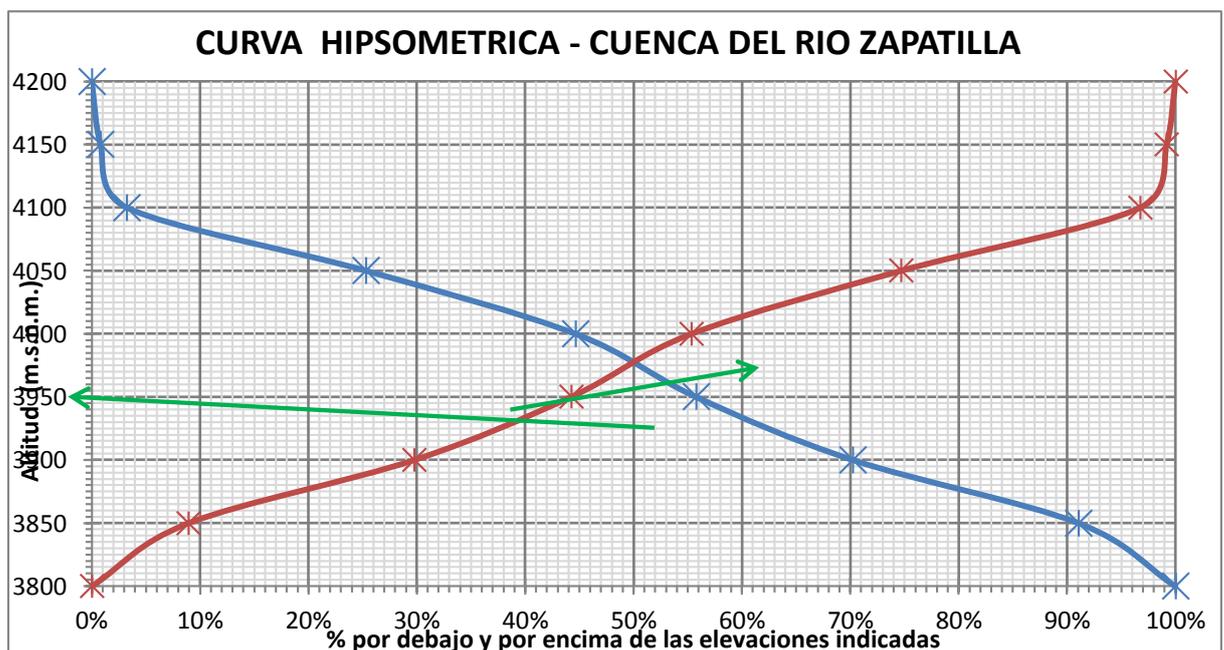
W= 15.5528368 km

1.5.- CURVA HIPSOMÉTRICA

Los datos de elevación de una cuenca son importantes para relacionar la acción de La altitud con el comportamiento de la temperatura y precipitación. La curva hipsométrica refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca. Para generarla es necesario reclasificar el modelo de elevación digital del terreno (MEDT), según los intervalos deseados y calcular el área en cada rango (Díaz et al. 1999).

Determinación de la Curva Hipsométrica - Cuenca del Rio Zapatilla

Cota baja m.s.n.m.	Cota alta m.s.n.m.	Areas parciales Km2	Areas que están bajo la altitud (Km2)	Areas que están sobre la altitud (Km2)	% del Area que esta debajo de la altitud	% del Area que esta sobre la altitud
punto mas bajo	3800	0.00	0.00	434.33	0.00%	100.00%
3800	3850.00	38.83	38.83	395.50	8.94%	91.06%
3850	3900.00	90.41	129.23	305.10	29.75%	70.25%
3900	3950.00	62.91	192.14	242.19	44.24%	55.76%
3950	4000.00	48.32	240.46	193.87	55.36%	44.64%
4000	4050.00	84.03	324.49	109.84	74.71%	25.29%
4050	4100.00	95.82	420.31	14.02	96.77%	3.23%
4100	4150.00	10.47	430.78	3.55	99.18%	0.82%
4100	4200.00	3.55	434.33	0.00	100.00%	0.00%
TOTAL km2		434.33				



De la gráfica se tiene que el cruce de las curvas hipsométricas de áreas por encima y debajo de las elevaciones, representa el 50% del área total de la cuenca y se tiene que la cota Correspondiente es de 3970.873 msnm aproximadamente.

*** la cuenca se encuentra en fase de madurez y es una cuenca que está en equilibrio**

1.6.- ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA (Hm)

La altura media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimentan al ciclo hidrológico de la cuenca (Klohn, 1970).

Cota baja m.s.n.m.	Cota alta m.s.n.m.	Areas parciales Km2	Altitud media	
3800	3850.00	38.83	3825	148515.69
3850.00	3900.00	90.41	3875	350322.16
3900.00	3950.00	62.91	3925	246912.90
3950.00	4000.00	48.32	3975	192075.31
4000.00	4050.00	84.03	4025	338224.77
4050.00	4100.00	95.82	4075	390463.92
4100.00	4150.00	10.47	4125	43170.99
4100.00	4200.00	3.55	4150	14748.22
TOTAL		434.33		1724433.95

Hm= 3970.31 msnm

1.7.- FORMA DE LA CUENCA

La forma de la cuenca afecta las características de la descarga de la corriente, Principalmente en los eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, de la misma área como se ilustra en la (Strahle, 1964).

a) Indice de Horton (Rf)

Horton, (1932) sugirió un factor adimensional de forma, Rf, como índice de la forma de una cuenca según la ecuación:

$$R_f = A_c / L_c^2$$

Rf= 0.557

b) Índice Gravelius o Compacidad (Kc)

El coeficiente de compacidad es indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca. El índice de compacidad de Gravelius (Kc) es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo que tenga igual superficie que la de la cuenca (Díaz et al., 1999)

Su fórmula es:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 1.705$$

* Es una cuenca media alargada

c) Relación de elongación (Re)

Esta relación fue definida por S. A. Schumm como el cociente entre el diámetro de un círculo con la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca, definida como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta el límite extremo del parteaguas, paralela al río principal (Díaz et al., 1999).

Su expresión matemática es:

$$Re = \frac{D}{Lm} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lm}$$

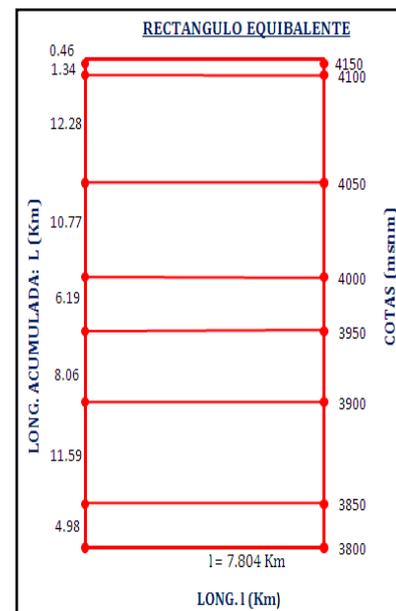
$$Re = 0.842$$

* Cuenca con relieve pronunciado

1.8.- RECTÁNGULO EQUIVALENTE

Longitud Mayor L=	55.66 km
Longitud Menor l=	7.80 km

Nº	Cota alta m.s.n.m.	Áreas parciales Km	L (Km)	l (Km)	L Acum.
1.00	3850.00	38.83	4.98	7.80	4.98
2.00	3900.00	90.41	11.58	7.80	16.56
3.00	3950.00	62.91	8.06	7.80	24.62
4.00	4000.00	48.32	6.19	7.80	30.81
5.00	4050.00	84.03	10.77	7.80	41.58
6.00	4100.00	95.82	12.28	7.80	53.86
7.00	4150.00	10.47	1.34	7.80	55.20
8.00	4200.00	3.55	0.46	7.80	55.66
TOTAL		434.33			



1.9.- LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L)

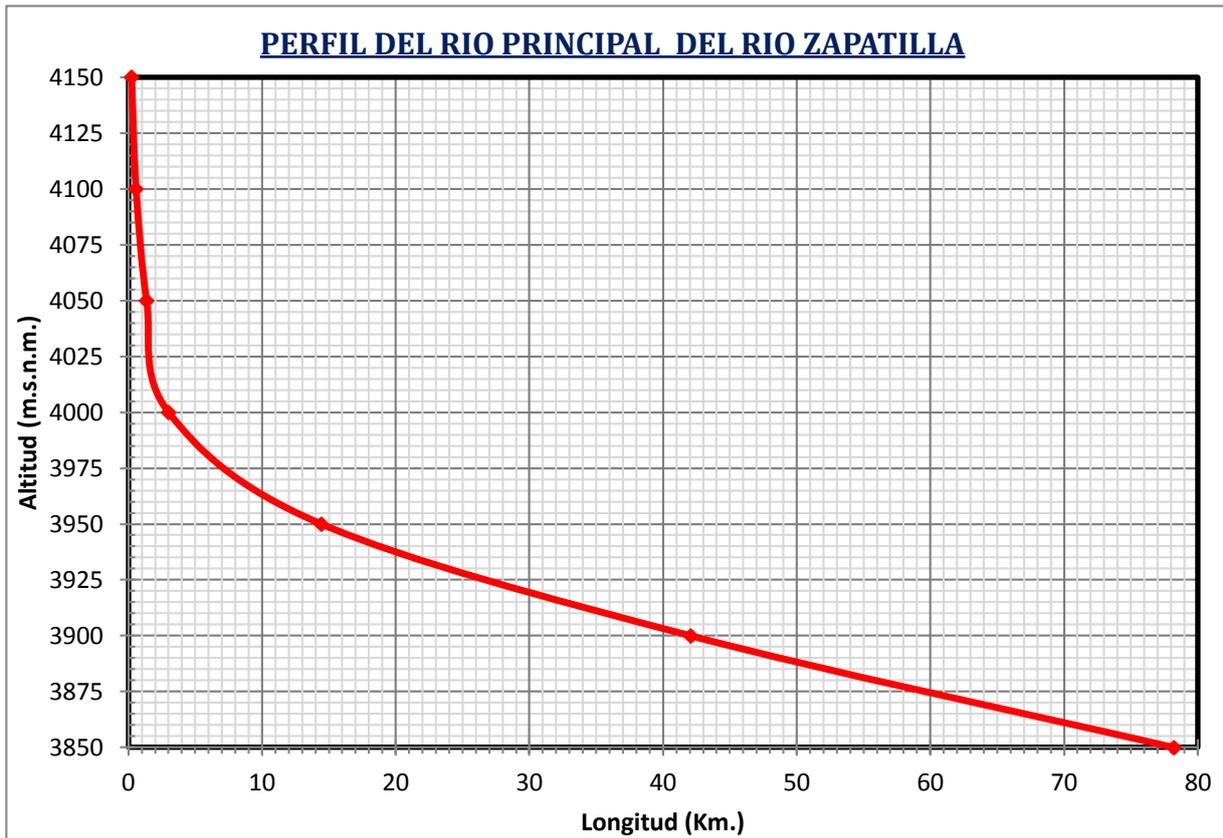
Es la medición lineal de la longitud total de cauces (L) expresada en km. Para el caso del colector principal, se considera desde la salida de la cuenca hasta su cabecera principal, el resto se mide desde la cabecera hasta su descarga. El resultado de éste valor se utiliza para definir la densidad de drenaje en una cuenca hidrográfica.

$$L = 78.241 \text{ Km}$$

1.10.- PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE PRINCIPAL

Para obtener el perfil longitudinal de las quebradas en estudio se elaboró los siguientes cuadros:

Cota alta m.s.n.m.	Cota baja m.s.n.m.	long.tramo m	long.acumulada (m)
4150	4100	224.663	224.663
4100	4050	341.6339	566.2969
4050	4000	786.9872	1353.2841
4000	3950	1645.4848	2998.7689
3950	3900	11425.6633	14424.4322
3900	3850	27644.8277	42069.2599
3850	3800	36171.5904	78240.8503
LONG. TOTAL (Km)		78.241	



La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividida entre su longitud medida en planta:

$$I_c = \frac{HM - Hm}{L}$$

cota más alta 4150
cota más baja 3800

Ic= 0.00447337

1.12.- DENSIDAD DE DRENAJE

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya y su área total:

$$Dd = \frac{\text{Largo total del curso de agua (Km)}}{\text{Superficie de la cuenca (Km}^2)} = \frac{Li}{A}$$

Dd= 0.18014075 Km/Km2

1.13.- ORDEN DE CAUCE Y CUENCA

Refleja el grado de ramificación del curso de agua dentro de una cuenca, en la cuenca en estudio la corriente principal es de orden 4.

orden = cuarto orden

1.14.- TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Definido como el tiempo necesario para que una gota de lluvia caída se movilice desde el punto más alejado de la cuenca hasta su lugar de salida. Las fórmulas más comúnmente utilizadas para obtener este parámetro, son las siguientes (Pizarro, 1993):

a) formula de picking

Aplicable a pequeñas cuencas agrícolas:

$$T_c = 5.3 * \left(\frac{L^2}{I}\right)^{1/3}$$

tc= 588.419084 min

b) formula de ven te chow

$$t_c = 25.20 * (L/I)$$

tc = 8.8459112 horas

c) formula de californiahighways

$$T_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

tc = 919.018856 min

Promedio	tc=	679.398 min
		11.323 horas

1.15.- Coeficiente de Masividad (Cm)

Este índice expresa la relación entre la altitud media de la cuenca (H) y el área total de la misma, y esta expresada en m/km2, y se obtiene por la siguiente expresión:

$$C_m = \frac{\bar{H}}{A}$$

Cm = 9.14120315 m/km2

Cuadro Nº 3.2 resumen parámetros morfológicos

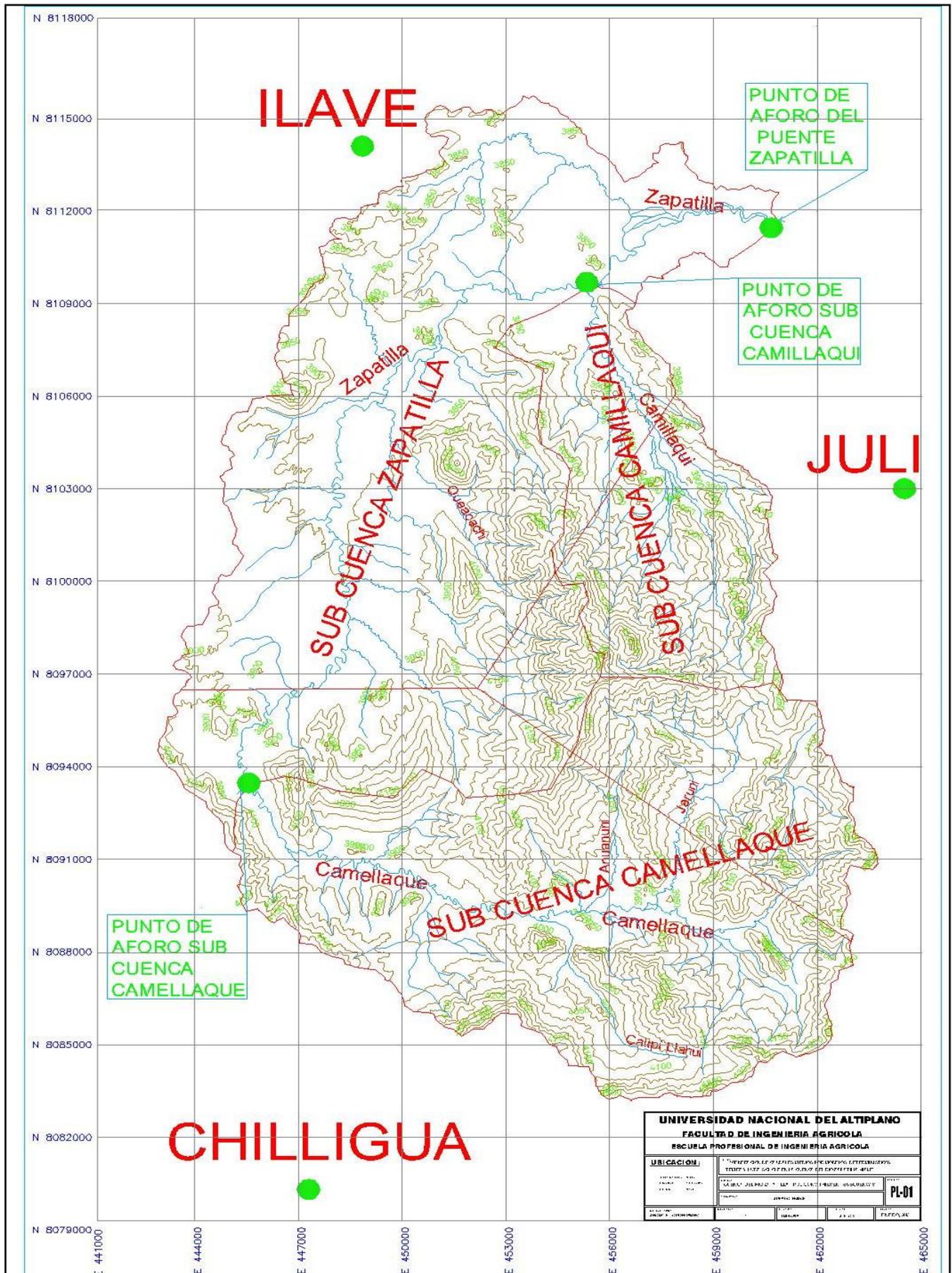
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	CUENCA DEL RIO ZAPATILLA
1.1.- AREA DE LA CUENCA (A)	434.332	Km ²	
1.2.- PERIMETRO DE LA CUENCA (P)	126.020	Km	
cota mayor	4150.000	msnm	
cota menor	3800.000	msnm	
1.3.- LONGITUD DE LA CUENCA (Lc)	27.926	Km	
1.4.- ANCHO DE LA CUENCA (W)	15.553	Km	
1.6.- ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA (Hm)	3970.315	msnm	
1.7.- FORMA DE LA CUENCA			
a) Índice de Horton (Rf)	0.557		
b) Índice Gravelius o Compacidad (Kc)	1.705		
c) Relación de elongación (Re)	0.842		
1.8.- RECTANGULO EQUIVALENTE			
lado mayor	55.656	Km	
lado menor	7.804	Km	
1.9.- LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L)	78.241	Km	
1.11.- PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL	0.004	m/m	
1.12.- DENSIDAD DE DRENAJE	0.180	Km/Km ²	
1.13.- ORDEN DE CAUCE Y CUENCA	cuarto orden		
1.14.- TIEMPO DE CONCENTRACION	11.323	horas	
1.15.- Coeficiente de Masividad (Cm)	9.141	m/km ²	

La cuenca del río zapatilla se dividió en 03 Sub cuencas como son:

Nombre de la sub. Cuenca	Área total de Sub Cuenca km ² (A)	Perímetro Total de Sub Cuenca km (P)	Longitud de curso Principal Km (L)	FORMA DE LA CUENCA		
				Ancho Prom. Km (Ap)	Coef de Com. adimen. (Kc)	Fac. de Forma adimen. (Ff)
CAMELLAQUE	169.09	252.85	59.65	30.78	0.10	0.52
CAMILAQUI	61.64	287.12	68.10	27.29	0.11	0.40
ZAPATILLA	211.60	240.25	78.24	15.55	1.705	0.557

Fuente: Elaboración Propia Ap = A/L; Kc = 0.28*(P/A)^{0.5}; Ff = Ap/L

Figura N° 3.3 ubicación de las subcuencas



En el cuadro N° 3.3 y 3.4 se presentan las estaciones consideradas.

Cuadro N° 3.3 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

ESTACION	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		ALTITUD	PERIODO	INFOR. Años
	Longitud W	Latitud S			
CHILLIGUA	69-40-00	16-32-00	4200.00	1963-1999	37
ILAVE	69-38-00	16-06-00	3880.00	1964-1999	36
JULI	69-27-35.7	16-12-13.6	3812.00	1966-2005	39
Puente Zapatilla (caudal)	69-37-47	16-05-04	3825,00	1957-2009	53

Fuente: SENAMHI

Cuadro N° 3.4 TEMPERATURA Y HUMEDAD

ESTACION	Ubicación geográfica		ALTITUD	PERIODO
	Longitud	Latitud		
ILAVE	69-38-00	16-06-00	3880,00	1965-1978
JULI	69-27-35.7	16-12-13.6	3812.00	1964-2009

Fuente: SENAMHI

Con la información obtenida se procede al análisis correspondiente y así como también de la cartografía básica existente.

3.3.2.- ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

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.

El análisis de consistencia de la información hidrometeorológica de precipitaciones mensuales de las estaciones Chilligua, Ilave y Juli, se analizan desde tres puntos de vista o etapas siguientes:

- Análisis Visual de Hidrogramas.
- Análisis de Doble Masa.

- Análisis Estadístico

3.3.2.1.- ANÁLISIS VISUAL DE HIDROGRAMAS

Consiste en analizar visualmente la información histórica mediante un hidrográma planteada en coordenadas cartesianas, en el cuadro 3.3 se tiene los datos históricos de precipitaciones mensuales de la estación llave y su respectivo análisis grafico, para las demás estaciones se siguió el mismo procedimiento.

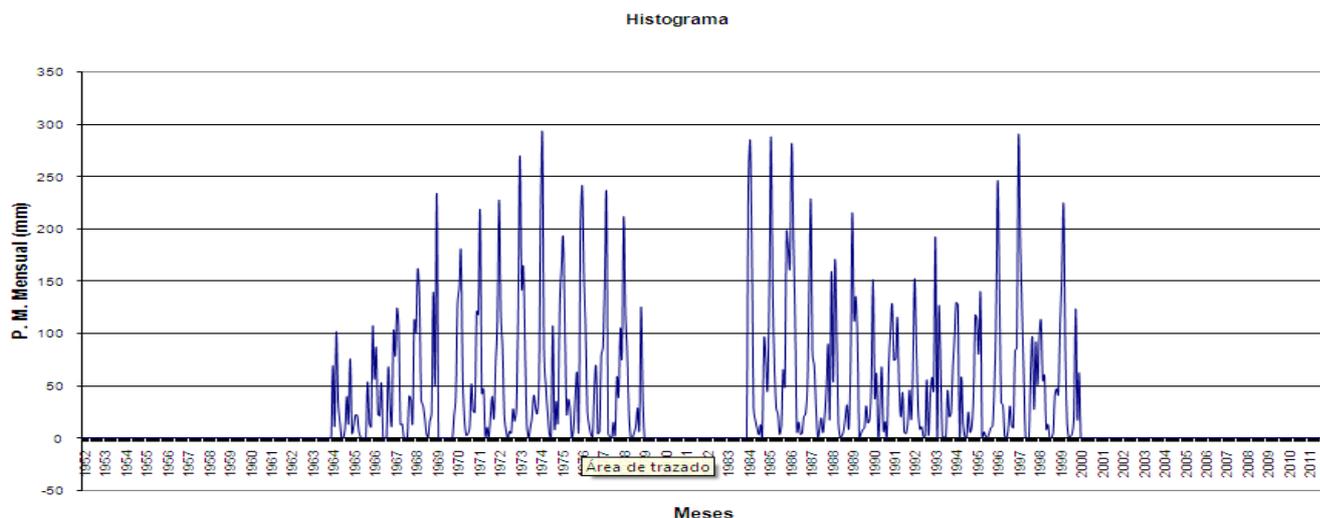
Cuadro N° 3.5 Datos históricos de la estación llave.

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

Estacion : ILAVE Latitud : 16°06'0" S Departamento : PUNO
 Tipo : Longitud : 69°38'0" W Provincia : EL COLLAO
 Altitud : 3,880.00 msnm Distrito : ILAVE

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952													0.00
2	1953													0.00
3	1954													0.00
4	1955													0.00
5	1956													0.00
6	1957													0.00
7	1958													0.00
8	1959													0.00
9	1960													0.00
10	1961													0.00
11	1962													0.00
12	1963													0.00
13	1964	69.0	10.9	101.5	36.0	16.0	0.0	0.0	8.5	39.5	13.5	75.5	4.4	374.80
14	1965	10.6	21.8	21.7	6.4	0.8	0.0	0.0	0.0	53.5	14.0	11	106.5	245.75
15	1966	56.0	86.5	23.0	21.0	52.4	0.0	0.0	0.0	67.4	30.2	12.7	101.3	450.45
16	1967	78.2	123.9	105.8	12.7	13.3	0.0	0	0.0	39.8	36.7	14.8	112.2	537.40
17	1968	100.4	161.3	134.9	36.0	31	19.9	4.2	1.0	16.1	23.6	139	51.7	719.40
18	1969	233.4										21.3	39.9	294.60
19	1970	127.9	143.3	177.7	57.7	17.4	2.4	3.7	10.2	51.5	25.9	24.1	120.9	762.65
20	1971	117.8	217.3	42.5	47.2	1.8	10.1	0.1	20.3	39.6	18.4	72.2	110.5	697.80
21	1972	227.2	120.2	85.9	21.7	7.0	0.0	6.4	4.5	27.7	15.7	28.6	122	667.30
22	1973	269.3	142.8	163.9	83.5	12.2	0.0	9.9	20.1	40.6	29.1	23.4	47.9	842.70
23	1974	211.0	288.8	80.0	49	24.6	4.0	0.0	107.1	10.0	35.0	15.0	125.0	949.45
24	1975	162.0	191.1	105.0	23.0	37.0	27.0	0	10.0	41.0	62.0	9	202.0	869.10
25	1976	241.0	157.0	101.0	25.0	12	3.0	1.0	47.0	68.0	4.0	6	78.0	742.80
26	1977	87.0	150.0	232	4.0	1.3	0.0	15.0	2.8	58.0	39.4	104.8	76.9	771.20
27	1978	211.0	120.0	81.4	23.0	0.7	0	5.1	11	28.6	7.9	124.8	38.5	652.30
28	1979													0.00
29	1980													0.00
30	1981													0.00
31	1982													0.00
32	1983													0.00
33	1984	242.4	284.3	179.8	28.5	16.6	9	3.0	13	1.0	94.4	76	45.8	993.50
34	1985	134.4	287.6	144.8	69.8	29.2	23.0	3.2	11.4	65.2	49	196.6	181.0	1,195.60
35	1986	162.3	281.1	194.3	111.3	5.8	15.2	3.4	4.3	20.3	23.0	45.5	133.7	1,000.15
36	1987	227.6	80.1	69.5	29.5	1.1	7.3	19.1	4.8	20.2	48.1	89.3	18.0	614.60
37	1988	158.7	53.3	169.8	101.3	13.7	0.4	2.0	7.2	19.8	31.3	9.0	71.4	637.90
38	1989	214.8	113.2	135.0	91.3	0.3	3.9	7.8	10	30.6	14.2	18.1	50.9	689.70
39	1990	151.2	39.1	61.5		25.0	67.7	6.6	15.5		65.9	101.2	127.8	661.50
40	1991	74.2	75.2	115.1	50.6	20.0	43.4	5.4	4.0	14.2	45.6	17.3	63.4	528.40
41	1992	151.9	88.8	29.7	8.2	10.8	1.6	1.4	55.5	2.4	38.8	57.8	45.1	491.95
42	1993	191.7		125.3	65.3	1.5	1.0	0.3	45.3	20.0	23.8	65.3	94.2	633.70
43	1994	129.4	126.7		58.1	14.8	1.2	0.0	24.8	5	10.8	39.5	117.1	527.55
44	1995	113	80.2	138.2		5.7	1.4	0.0	4.2	9.6	11.2	47.5	113.4	524.30
45	1996	245.6	141.1	33.9	31.5	2	0.0	7.2	30.5	11.5	9.5	83.2	86	682.30
46	1997	288.0	190.8	122.9	60.7	1.4	0	0.0	61.7	96.1	27.1	91.7	50.2	990.60
47	1998	97.3	112.13	54.7	59.9	8.2	13.0	0.0	0.1	5	41.0	47	41.1	479.08
48	1999	107.1	154	223.4	89.7	14.9	0.6	1.5	3.9	21.0	123.3	17.9	62.3	819.40
49	2000													0.00
50	2001													0.00
51	2002													0.00
52	2003													0.00
53	2004													0.00
54	2005													0.00
55	2006													0.00
56	2007													0.00
57	2008													0.00
58	2009													0.00
59	2010													0.00
60	2011													0.00
N° Datos		31	29	29	28	30	30	30	30	29	30	31	31	60
Media		157.78	139.39	112.21	46.50	13.28	8.51	3.54	17.94	31.83	33.76	54.34	85.15	350.80
Dev. Estandar		70.80	76.71	58.56	29.76	12.49	15.13	4.68	23.87	23.61	26.01	45.89	45.39	375.17
Coef. Variacion		44.87	55.03	52.19	64.01	94.06	177.86	132.06	133.04	74.19	77.06	84.45	53.31	106.95
Prec. Max.		288.00	288.80	232.00	111.30	52.40	67.70	19.10	107.10	96.10	123.30	196.60	202.00	1195.60
Prec. Min.		10.60	10.90	21.70	4.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	4.00	6.00	4.40	0.00
Precip. 75% Conf.		109.99	87.61	72.68	26.41	4.85	-1.71	0.38	1.83	15.89	16.20	23.36	54.51	97.56

Fuente: SENAMHI



El análisis de doble masa llamado también de “dobles acumulaciones”, es una herramienta que sirve para detectar la inconsistencia en la información hidrometeorológica mediante los puntos de quiebres que se presentan en los diagramas respectivos. El análisis se realiza con las estaciones; Chilligua, Ilave y Juli.

El procedimiento realizado es el siguiente:

- a.- Se tiene los datos históricos de 03 estaciones ubicadas en la cuenca del río Zapatilla.
- b.- Se calcula la información anual acumulada de cada estación y el promedio anual acumulada de la información de todas las estaciones.
- c.- Se grafica los valores obtenidos en el paso anterior en sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de abscisas el promedio de la información anual acumulada y en el eje de las ordenadas la información anual acumulada de cada estación de estudio.
- d.- Del paso anterior seleccionamos la estación de Juli que presenta menor número de puntos de quiebre, como la más confiable y lo denominamos estación base.
- e.- La información anual acumulada de la estación base se plotea en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas cada una de las de más estaciones.

3.3.2.3.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Una vez obtenido de los hidrográmas y de la doble masa los períodos de posible corrección y los períodos de datos que se mantendrán con sus valores originales y las cuales se modificarán, se procede a analizar estadísticamente tanto en la media como en la desviación estándar, a continuación se realizara la metodología seguida para el análisis de estadístico.

3.3.3.- COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA FALTANTE.

En este trabajo para el proceso de completación y extensión de la información hidrometeorológica se utilizo el Modelo Hidrológico denominado HEC-4 MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION, desarrollado por el Hydrologic Engineeering Center de los Estados Unidos de América.

A continuación se presenta formato para introducir datos para la completacion de datos.

Cuadro N° 3.6 formato .DAT

ESTACION ILAVE											
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1952	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
H2011952	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011953	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011954	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011955	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011956	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011957	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011958	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011959	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011960	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011961	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011962	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011963	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011964	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011965	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011966	64.80	95.50	52.70	27.50	12.20	0.00	0.00	0.00	13.00	58.60	66.90
H2011967	68.00	172.10	191.70	66.40	45.10	0.00	0.00	0.00	44.90	30.30	5.70
H2011968	134.30	212.00	193.80	27.00	0.00	30.70	1.00	2.00	30.90	3.50	85.50
H2011969	172.10	164.00	87.40	31.80	8.30	7.00	1.80	9.10	22.40	23.10	17.30
H2011970	184.50	196.70	166.30	44.50	3.80	0.20	3.50	0.00	30.70	34.00	24.40
H2011971	1166.80	345.90	71.00	74.90	0.00	2.30	0.00	11.50	0.00	29.50	98.90
H2011972	2288.90	221.00	169.20	17.80	12.90	2.70	3.80	1.60	26.90	13.40	50.00
H2011973	271.40	189.90	145.40	109.20	3.00	0.00	8.10	17.10	44.60	45.40	30.90
H2011974	269.00	357.90	60.30	193.20	55.60	4.20	0.20	101.20	22.50	32.60	29.40
H2011975	184.30	266.30	156.70	16.60	44.00	9.70	0.00	12.10	36.00	95.90	35.70
H2011976	331.20	201.20	136.30	21.00	44.00	1.00	2.40	43.60	63.40	9.50	5.90
H2011977	91.90	275.20	222.50	5.40	0.00	0.00	14.50	1.00	57.60	66.40	62.80
H2011978	250.90	99.20	1.00	-1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011979	197.20	117.30	229.10	80.40	2.20	0.00	14.10	2.20	4.10	47.10	115.50
H2011980	190.30	91.40	253.20	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011981	126.70	212.50	106.20	55.20	18.30	7.80	1.30	4.20	18.80	29.00	40.40
H2011982	166.40	239.20	137.00	60.40	18.90	8.40	0.50	9.90	26.30	23.80	36.70
H2011983	202.50	245.40	128.70	55.30	10.80	9.20	2.00	15.00	24.60	25.90	49.20
H2011984	219.50	242.00	119.40	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
H2011985	128.80	304.80	162.60	110.10	34.10	26.80	0.00	22.30	89.70	13.30	164.20
H2011986	131.50	260.10	171.70	107.00	4.30	0.00	3.60	37.30	15.20	29.80	23.40
H2011987	296.30	70.30	82.60	37.30	5.50	8.70	19.20	1.30	18.60	64.20	155.40
H2011988	300.30	70.40	249.50	124.00	9.00	0.20	1.00	0.00	22.60	58.70	27.30
H2011989	160.20	176.50	195.10	11.30	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	18.10	3.70	45.00
H2011990	192.00	50.80	51.40	47.70	13.60	48.50	0.00	18.90	19.10	69.30	64.30
H2011991	147.10	101.80	152.80	70.80	10.10	31.50	3.80	0.60	11.80	49.80	30.90
H2011992	159.30	130.90	40.20	32.80	0.00	0.00	3.70	40.90	0.00	24.00	72.60
H2011993	219.60	88.20	185.20	30.80	7.60	2.90	0.00	35.10	21.10	73.00	122.00
H2011994	186.50	149.10	109.50	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	14.30	69.20	165.30	34.80
H2011995	128.90	105.90	134.50	19.90	6.10	0.00	0.60	7.20	17.80	26.70	71.60
H2011996	195.50	127.00	137.30	32.30	18.80	0.00	9.10	38.00	4.50	26.60	77.20
H2011997	264.10	220.80	162.30	66.10	11.10	0.00	0.00	64.00	79.70	36.20	79.20
H2011998	132.40	77.30	150.60	62.00	0.00	13.60	0.00	0.00	12.30	75.40	66.00

Fuente elaboración propia

Cuadro N° 3.7 formato .SAL

STA	201	WITH CURRENT MONTH										TOTAL		
201	1.000	WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION												
201	.154													
1														
RECORDED AND RECONSTITUTED FLOWS														
STA	YEAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
201	1952	187E	181E	123E	30E	19E	1E	2E	11E	46E	65E	31E	51E	747
201	1953	200E	188E	96E	50E	5E	9E	3E	12E	30E	43E	33E	49E	720
201	1954	212E	173E	134E	29E	2E	0E	6E	6E	15E	33E	42E	62E	714
201	1955	178E	189E	116E	58E	2E	1E	3E	3E	18E	30E	54E	67E	719
201	1956	194E	163E	122E	54E	10E	4E	1E	4E	10E	35E	29E	40E	666
201	1957	240E	206E	141E	29E	3E	1E	3E	12E	34E	17E	58E	44E	788
201	1958	146E	192E	133E	44E	1E	1E	6E	7E	41E	32E	29E	125E	757
201	1959	214E	151E	163E	22E	5E	1E	1E	49E	37E	16E	32E	36E	727
201	1960	193E	188E	195E	38E	9E	6E	0E	2E	26E	34E	75E	54E	820
201	1961	164E	155E	142E	66E	6E	5E	2E	22E	39E	25E	36E	66E	662
201	1962	190E	202E	171E	31E	26E	1E	1E	3E	14E	53E	46E	74E	812
201	1963	159E	126E	109E	47E	5E	2E	1E	28E	33E	53E	32E	43E	638
201	1964	114E	168E	98E	40E	14E	1E	5E	11E	21E	56E	17E	68E	613
201	1965	180E	111E	185E	70E	5E	0E	7E	6E	19E	47E	32E	60E	722
201	1966	65	96	53	27	12	0	0	0	13	59	67	99	491
201	1967	68	172	192	66	45	0	0	0	45	30	6	77	701
201	1968	134	212	194	27	0	31	1	2	31	3	86	41	762
201	1969	172	164	87	32	8	7	2	9	22	23	17	98	641
201	1970	184	197	166	44	4	0	4	0	31	34	24	78	766
201	1971	167	346	71	75	0	2	0	11	0	30	99	35	836
201	1972	289	221	169	18	13	3	4	2	27	13	50	49	858
201	1973	271	190	145	109	3	8	17	45	45	31	31	69	933
201	1974	269	358	60	193	36	4	1	23	33	29	39	39	1065
201	1975	184	266	157	17	44	10	0	12	36	96	36	80	938
201	1976	331	201	136	21	44	1	2	44	63	10	6	51	910
201	1977	92	275	222	5E	0E	0	15	1	58	66	63	15	812
201	1978	251	99	117	20	0	0	4	9	20	1	88	47	659
201	1979	197	117	229	80	2	0	14	2	4	47	16	33	741
201	1980	190	91	253	3	2	1	12	34	1	49	26	35	697
201	1981	127	212	106	55	18	8	1	4	19	29	40	13	632
201	1982	166	137	60	39	8	1	10	26	24	37	7	21	748
201	1983	202	245	129	55	11	9	2	15	25	26	49	7	775
201	1984	220	242	119	61	15	2	3	19	26	35	40	30	812
201	1985	129	305	163	110	34	27	0	22	90	13	164	163	1220
201	1986	131	260	172	107	4	0	4	37	20	23	2	39	823
201	1987	296	70	83	37	5	9	19	1	19	64	55	44	702
201	1988	300	70	250	124	9	0	1	0	23	59	27	96	959
201	1989	160	177	195	11	16	4	6	17	18	4	45	58	711
201	1990	192	51	51	48	19	48	0	19	69	64	173	748	
201	1991	147	102	153	71	10	32	4	1	12	50	31	74	687
201	1992	159	131	40	33	0	1	4	41	0	24	73	61	567
201	1993	220	88	185	31	8	3	0	35	21	73	22	70	756
201	1994	186	149	109	55	17	1	2	1	7	14	69	165	770

Fuente elaboración propia

3.3.4.- PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CUENCA

3.3.4.1.- POLÍGONO DE THIESSEN

Previo al cálculo de generación de caudales por los métodos propuestos como son TEMEZ y LUTZ SCHOLZ se hizo el cálculo de la precipitación media mensual por el método del polígono de THIESSEN y los pasos que se siguieron para realizar este método es el siguiente:

- Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- Trazar líneas rectas que bisecan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
- Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los Polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.

- La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i \dots\dots\dots(3.01)$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media.

A_t = Área total de la cuenca.

A_i = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i.

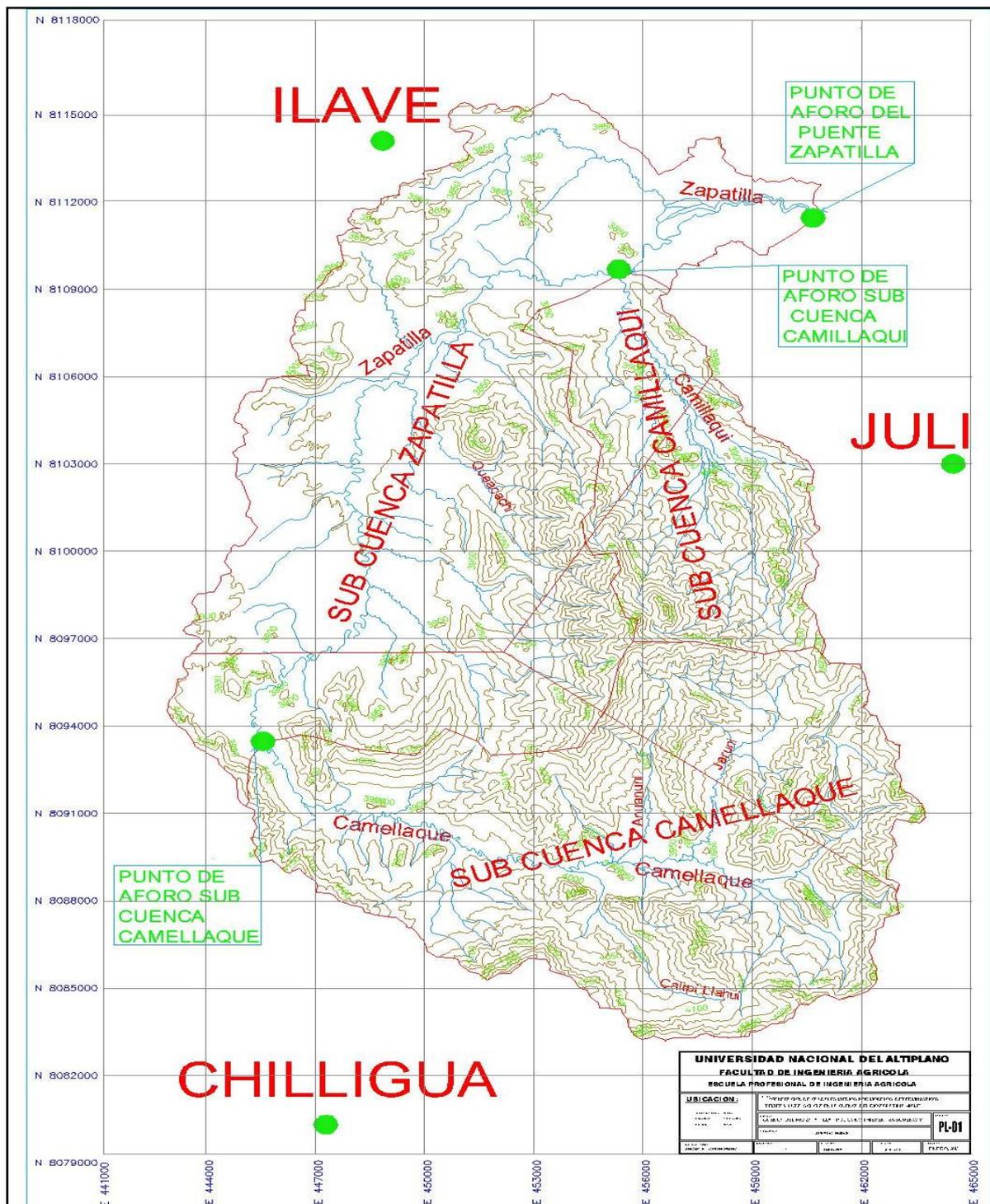
P_i = Precipitación de la estación i.

n = Numero de estación tomadas en cuenta.

La cuenca del río Zapatilla se dividió en 03 sub cuencas con las cuales se trabajo y 03 estaciones ubicadas en toda el área de estudio.

Nombre de la sub cuenca	Área total	Perímetro Total
	de Sub Cuenca	de Sub Cuenca
	km2 (A)	km (P)
CAMELLAQUE	169.09	252.85
CAMILLAQUI	61.64	287.12
ZAPATILLA	211.60	240.25

Fuente: Elaboración Propia



3.3.5.- GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

3.3.5.1.- MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE TEMEZ

Para la generación de caudales medios mensuales por el método de TEMEZ se requieren del cálculo de varios parámetros, dentro de ellos la precipitación media, y

evapotranspiración potencial, a continuación se describe como se hizo el cálculo de este método: (Parámetros utilizados para este método ver anexo 7.3).

a) Calculo del excedente

Se calcula el excedente de acuerdo a estos dos formulas propuestas por (Pelaez, T., 1977).

$$\bullet T_i = 0 \quad , \text{ Si } P_i \leq P_0 \quad \dots\dots\dots(3.02)$$

$$\bullet T_i = \frac{(P_i - P_0)^2}{P_i + \partial - 2P_0} \quad \dots\dots\dots(3.03)$$

$$\partial = H_{\max} - H_{i-1} + EP_i \quad \dots\dots\dots(3.03)$$

$$P_0 = C(H_{\max} - H_0) \quad \dots\dots\dots(3.04)$$

Donde:

P_i = Precipitación en el período comprendido desde el instante i-1 al instante i (mm)

T_i = Excedente en el período comprendido desde el instante i-1 al instante i (mm)

H_{\max} = Capacidad máxima de humedad del suelo (mm)

H_{i-1} = Humedad en el suelo en el instante i-1 (mm)

EP = Evapotranspiración potencial desde el instante i-1 al instante i (mm)

C = Es un parámetro de excedente

b) Calculo de Evapotranspiración potencial

Para esto utilizaremos el método de Hargreaves

$$ETP = MF \cdot TMF \cdot CH \cdot CE \quad \dots\dots\dots(3.05)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

MF = Factor mensual de latitud se obtiene del cuadro siguiente

TMF = T° media mensual (°F), media

CH = Factor de corrección para la humedad relativa

CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CH = 0.166(100-HR)^{1/2} \dots\dots\dots(3.06)$$

Donde:

HR = Humedad relativa media mensual

$$CE = 1.0+0.04(E*2000) \dots\dots\dots(3.07)$$

Donde:

E = altitud o elevación del lugar m.s.n.m.

**FACTOR MENSUAL DE LATITUD MF
PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
SEGÚN HARGRAVES**

Lat. Sur (°)	MESES DEL AÑO											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	2.288	2.117	2.354	2.197	2.137	1.998	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.050	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.995	2.150	2.240	2.396	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.960	2.126	2.231	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.050	2.363	2.117	1.980	1.820	1.970	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.470	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.233	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.061	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.049	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.852	1.644	1.754	1.976	2.180	2.470	2.497	2.610
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.608	1.719	1.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.872	1.648	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	2.680	2.317	2.340	2.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.430	2.566	2.706
15	2.707	2.326	2.334	2.937	1.700	1.500	1.812	1.867	2.131	2.436	2.583	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.889	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.789	2.068	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.360	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859

Fuente: El Riego - Absalon Vasques Villanueva - 2000

c) Aportación Total

$$A_i = T_i - I_i + A_{SUBi} \dots\dots\dots(3.08)$$

3.3.5.2.- MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ

Al igual que el método anterior en el método de LUTZ SCHOLZ también se requieren del cálculo de varios parámetros y a continuación se describe el procedimiento realizado:

La fórmula que se muestra a continuación es para el cálculo de caudales medios. (Plan Meris II, 1980).

$$Q_i = PE_i + G_i - A_i \dots\dots\dots(3.09)$$

Donde:

Q_i =Caudal mensual (mm/mes)

PE_i = Precipitación efectiva mensual (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención (mm/mes)

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

a) Calculo de la Precipitación efectiva mensual

$$PE = C1*PE-II + C2*PEIII$$

$$PE = a_0 + a_1 * P + a_2 * P^2 + a_3 * P^3 + a_4 * P^4 + a_5 * P^5 \dots\dots\dots(3.10)$$

$$a_0 = 0$$

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

a_i = Coeficiente del polinomio.

Límite superior para la precipitación efectiva:

Curva I : $PE = P - 120.6$

Curva II : PE = P – 86.4

ai	CURVA II	CURVA III
a ₀	(-0.021)	(-0.028)
a ₁	0.1358	0.2756
a ₂	-0.002295	-0.004103
a ₃	4.35E-05	5.534E-05
a ₄	-8.90E-08	1.24E-07
a ₅	-8.79E-11	-1.42E-09

FUENTE: PLAN MERIS II - Generación de caudales mensuales en la sierra Peruana - LUTZ SCHOLZ.

b) Gasto de la retención

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

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 j y el caudal inicial.

(Coeficiente del gasto de la retención).

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

R = Retención de la cuenca (mm/mes).

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

$$b_i = e^{-at} \dots\dots\dots(3.11)$$

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.

✓ Agotamiento rápido, por la retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna).

$$a = -0.00252 * \ln AR + 0.030 \dots\dots\dots(3.12)$$

c) Abastecimiento de la retención

$$A = (a * R) / 100$$

REGION	oct	nov	dic	Ene	Feb	Mar	Σ
CUZCO	0	5	35	40	20	0	100
HUANCAVELICA	10	0	35	30	02	5	100
JUNIN	10	0	25	30	30	0	100
CAJAMARCA	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: PLAN MERIS II - Generación de caudales mensuales en la sierra Peruana - LUTZ SCHOLZ.

3.3.5.2.1 GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS

3.3.5.2.1.1 GENERACIÓN CON EL MODELO MARCOVIANO DE PRIMER ORDEN

El modelo hidrológico presentado anteriormente (de Lutz Scholz) permite Estimar los caudales del año promedio de las subcuencas del río Zapatilla con una precisión satisfactoria.

Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de caudales sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un periodo extendido.

Un método apropiado para la generación de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso, que vendría a ser la precipitación efectiva.

Ecuación general del modelo marcoviano

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

La variable de impulso considerada la Precipitación efectiva

$$Q = g(PE_t)$$

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

$$Z = z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Finalmente, la ecuación integral para la generación de caudales mensuales combinando los componentes citados, se escribe.

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

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes t

B_i : Coeficientes de la regresión lineal múltiple

S : Error estándar de la regresión múltiple

r : Coeficiente de correlación múltiple

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

El valor inicial de Q_{t-1} puede ser del caudal promedio del mes, o el caudal aforado del mes, o empezar con cero.

La precipitación efectiva de cada mes se calcula según las siguientes consideraciones:

- No es necesario identificar las curvas características para cada año puesto que se identificaron al calcular la precipitación efectiva representativa.
- Los coeficientes de ponderación son los mismos.
- Con las ecuaciones de las curvas características multiplicadas con su respectivo coeficiente de ponderación, nos dará PE de ese mes.

Los valores de los coeficientes B_0, B_1, B_2, r y S se calculan al desarrollar la regresión múltiple con los datos de caudales mensuales para el año promedio.

Por motivos didácticos se presenta la metodología del análisis de regresión múltiple

Regresión múltiple

Se calculan los parámetros B_0, B_1, B_2, 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.

Ejemplo: sea “ Q_i ” los caudales generados por el modelo de Lutz Scholz para el mes i del año promedio, y “ PE_i ” la precipitación efectiva calculada para el mes i del año promedio, entonces las series para la regresión múltiple se elabora como se muestra en el cuadro adjunto.

Cuadro 3.8

Mes	Q_i	Q_{i-1}	PE_i
	Y	X_1	X_2
Ene	Q_1	Q_{12}	PE_1
Feb	Q_2	Q_1	PE_2
Mar	Q_3	Q_2	PE_3
Abr	Q_4	Q_3	PE_4
May	Q_5	Q_4	PE_5
Jun	Q_6	Q_5	PE_6
Jul	Q_7	Q_6	PE_7
Ago	Q_8	Q_7	PE_8
Sep	Q_9	Q_8	PE_9
Oct	Q_{10}	Q_9	PE_{10}
Nov	Q_{11}	Q_{10}	PE_{11}
Dic	Q_{12}	Q_{11}	PE_{12}

Luego, las ecuaciones para el cálculo de las variables es como sigue:

Ecuación de regresión lineal múltiple para dos variables:

$$Y = B_0 X_{0i} + B_1 X_{1i} + B_2 X_{2i} + E_i$$

Se define:

$$\hat{Y} = Y - \bar{Y}$$

$$\hat{X}_1 = X_1 - \bar{X}_1$$

$$\hat{X}_2 = X_2 - \bar{X}_2$$

Los coeficientes se calculan:

$$B_0 = Y - B_1 X_1 - B_2 X_2$$

$$B_1 = \frac{\sum(\hat{Y} \hat{X}_1) * \sum(\hat{X}_2^2) - \sum(\hat{Y} \hat{X}_2) * \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - (\sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2))^2}$$

$$B_2 = \frac{\sum(\hat{Y} \hat{X}_2) * \sum(\hat{X}_1^2) - \sum(\hat{Y} \hat{X}_1) * \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - (\sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2))^2}$$

Se define:

$$SPX_1 Y = \sum(X_1 - \bar{X}_1)(Y - \bar{Y})$$

$$SPX_2 Y = \sum(X_2 - \bar{X}_2)(Y - \bar{Y})$$

$$SCY = \sum(Y - \bar{Y})^2$$

Luego, el coeficiente de correlación múltiple “r” se calcula:

$$r = \frac{B_1(SPX_1 Y) + B_2(SPX_2 Y)}{SCY}$$

Definimos

Y: Valores muestrales (Qi'), de la variable dependiente

Y: Valores estimados de la variable dependiente con la ecuación de regresión múltiple

e= Y - Y: Error entre los valores observados y estimados de la variable dependiente

n : Número de grupos de la muestra

p: Número de parámetros a estimar

Luego el error estándar de la regresión múltiple “S” se calculan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y')^2}{n - p}} = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n - p}}$$

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

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

4.1.- DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para realizar el trabajo de investigación se recopiló la información de 03 registros históricos de precipitación mensual de las estaciones Chilligua, llave, y Juli. Con los cuales se determinó la precipitación mensual sobre las sub cuencas de cada zona en estudio y el cual es la información básica para el análisis y modelamiento hidrológico para la generación de series hidrológicas en el punto de interés.

Para el cálculo también se utilizó las series históricas de temperatura y humedad relativa que requiere el método de TEMEZ.

Por otro lado también la información de caudales medios mensuales históricos en el punto de aforo que es en el puente del río Zapatilla, para su respectiva comparación.

La información de las series hidrometeorológicas consideradas en este estudio, se muestran en anexo 7.1 en los cuadros N° 7.1-7.3.

4.2.- DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

4.2.1.- DEL ANÁLISIS VISUAL DE HIDROGRAMAS

En este análisis, se hizo la apreciación visual de los hidrogramas de series de precipitación mensual de los gráficos mostrados juntamente con los datos históricos de las estaciones de precipitación mostrados en anexo 7.1, en el cual se aprecia los saltos que muestra cada estación en estudio.

Se realiza primeramente este procedimiento para ver visualmente mediante los gráficos los errores o periodos dudosos que pudiera tener alguna estación para así poder hacer la respectiva corrección de datos, en este análisis no se debe confundirse un salto con un periodo seco y húmedo porque ellos son eventos extremos realmente ocurridos y se

presentan generalmente en todas las variables hidrometeorológicas, seguidamente luego de haber realizado el análisis de visual gráfico se realiza el análisis de doble masa que a continuación describimos.

4.2.2.- DEL ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Del análisis de doble masa se selecciono la estación Juli como la estación base, es aquel que muestra menor cantidad de quiebre y comparando con las otras estaciones se aprecia que la estaciones, Chilligua, e llave no muestra muchas pendientes.

Los datos que muestran inconsistencia son causados por la mala lectura del registrador, error sistemático y otros aspectos. Y se muestran en le siguiente cuadro N° 4.1, 4.2 y la Graf. N° 4.1

Cuadro N° 4.1.PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL PARA EL ANÁLISIS DE DOBLE MASA

AÑO	ESTACION					
	JULI		ILAVE		CHILLIGUA	
	ANUAL	ACUM	ANUAL	ACUM	ANUAL	ACUM
1964		0.00	35.95	35.95	40.69	40.69
1965		0.00	17.67	53.62	37.18	77.88
1966	41.11	41.11	37.54	91.16	31.50	109.38
1967	66.86	107.97	44.78	135.94	58.38	167.75
1968	65.71	173.68	59.95	195.89	53.78	221.53
1969	53.56	227.23	61.13	257.02	26.25	247.78
1970	73.03	300.27	63.68	320.70	54.73	302.51
1971	81.38	381.64	58.15	378.85	55.78	358.29
1972	79.73	461.37	55.61	434.46	66.69	424.98
1973	78.09	539.45	70.23	504.69	52.56	477.54
1974	97.08	636.54	79.12	583.81	55.52	533.06
1975	94.89	731.43	72.43	656.23	61.28	594.34
1976	75.88	807.30	61.90	718.13	54.75	649.09
1977	76.02	883.32	64.27	782.40	53.37	702.46
1978	63.28	946.60	57.11	839.51	50.38	752.83
1979	78.53	1025.13	51.93	891.45	40.19	793.03
1980	74.91	1100.04	51.30	942.75	31.12	824.15
1981	61.14	1161.18	61.88	1004.62	53.39	877.54
1982	70.69	1231.87	48.08	1052.70	64.10	941.64
1983	72.97	1304.84	40.53	1093.23	21.58	963.22
1984	75.98	1380.81	82.79	1176.02	82.86	1046.08
1985	101.95	1482.76	99.63	1275.66	81.27	1127.35
1986	78.43	1561.19	83.35	1359.00	71.13	1198.48
1987	66.93	1628.11	51.22	1410.22	38.78	1237.27
1988	80.71	1708.82	53.16	1463.38	54.16	1291.43
1989	59.34	1768.16	57.48	1520.85	46.56	1337.99
1990	62.80	1830.97	59.82	1580.67	49.83	1387.82
1991	57.08	1888.05	44.03	1624.70	38.93	1426.75
1992	49.26	1937.31	41.00	1665.70	41.80	1468.55
1993	71.28	2008.58	55.87	1721.57	63.95	1532.50
1994	64.29	2072.88	52.31	1773.88	66.51	1599.01
1995	53.08	2125.95	44.93	1818.80	45.02	1644.03
1996	69.61	2195.56	56.86	1875.66	54.95	1698.98
1997	90.22	2285.78	82.55	1958.21	67.29	1766.27
1998	58.12	2343.90	39.92	1998.14	34.64	1800.91
1999	95.39	2439.29	68.28	2066.42	72.76	1873.67
2000	74.53	2513.81		2066.42		1873.67
2001	95.23	2609.05		2066.42		1873.67
2002	83.49	2692.54		2066.42		1873.67
2003	79.17	2771.71		2066.42		1873.67
2004	70.59	2842.30		2066.42		1873.67
2005	63.76	2906.06		2066.42		1873.67

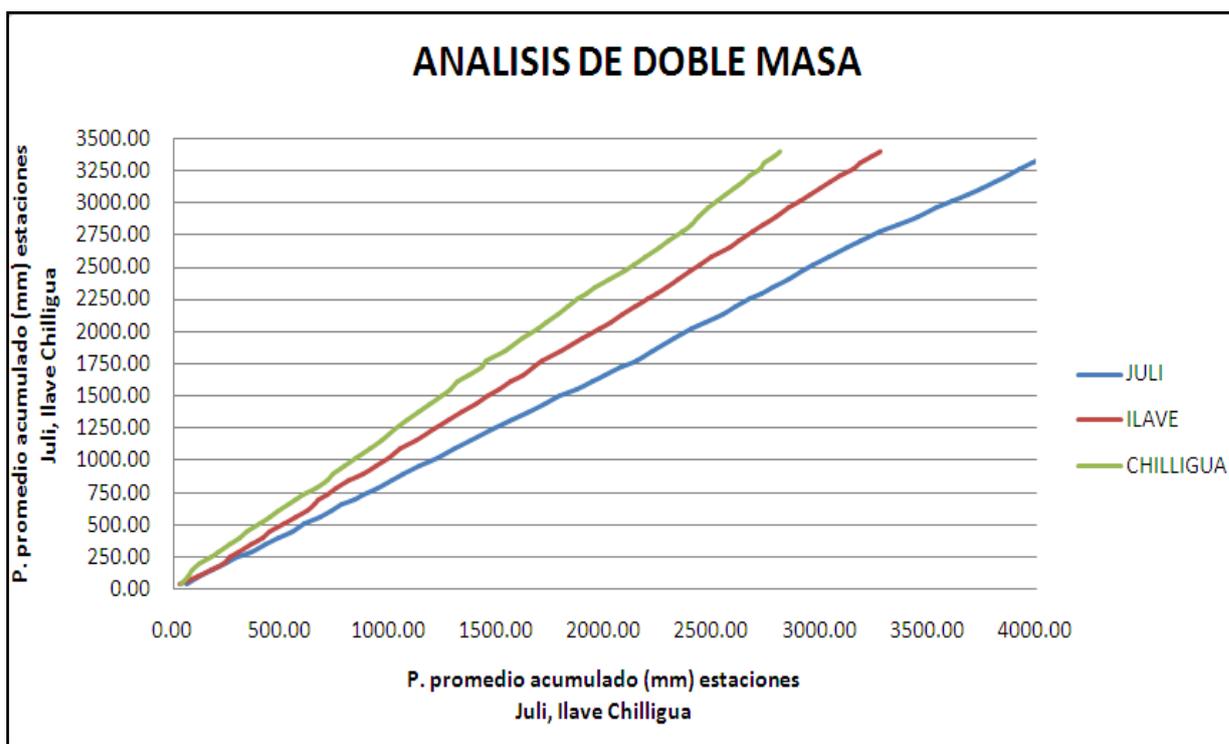
Fuente: elaboración propia

Cuadro N° 4.2 ANÁLISIS DE DOBLE MASA DE PRECIPITACIÓN ANUAL

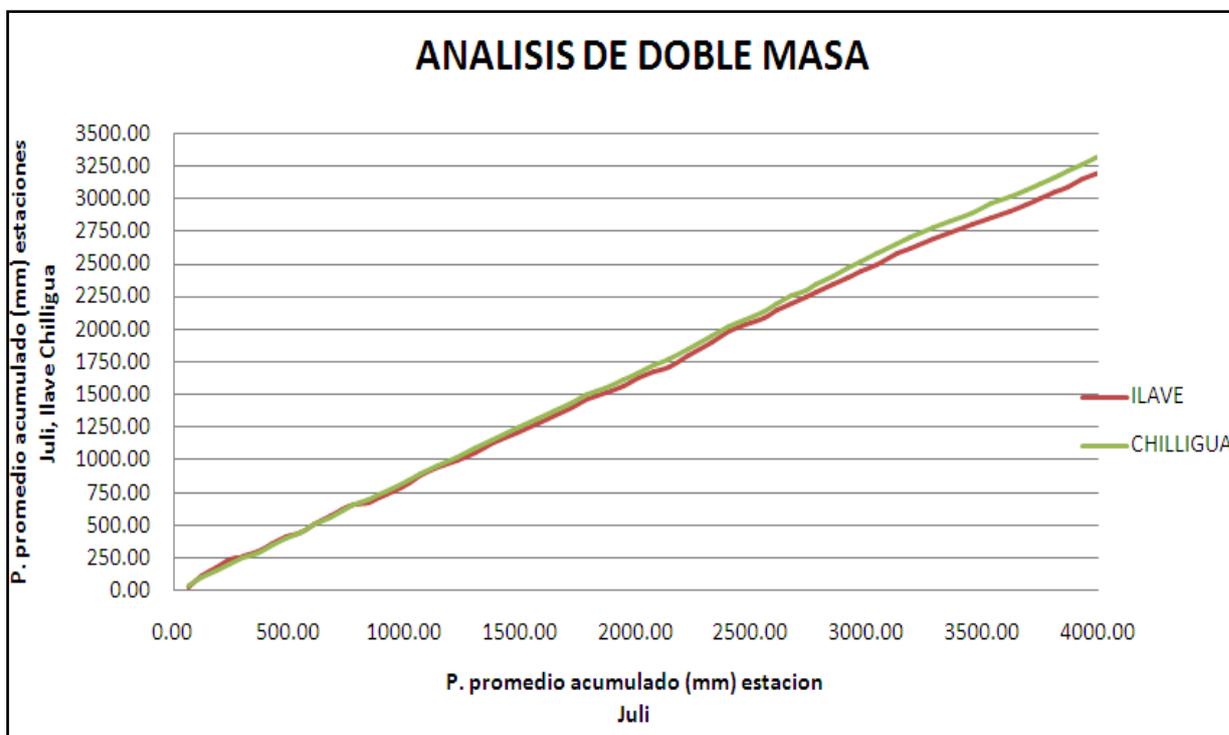
AÑO	ESTACIÓN		ILAVE		CHILLIGUA		PP. SOBRE LA CUENCA DEL RIO ZAPATILLA	PP. SOBRE ACUM
	JULI							
	ANUAL	ACUM	ANUAL	ACUM	ANUAL	ACUM		
1964		0.00	35.95	35.95	40.69	40.69	25.55	25.55
1965		0.00	17.67	53.62	37.18	77.88	18.28	43.83
1966	41.11	41.11	37.54	91.16	31.50	109.38	36.72	80.55
1967	66.86	107.97	44.78	135.94	58.38	167.75	56.67	137.22
1968	65.71	173.68	59.95	195.89	53.78	221.53	59.81	197.03
1969	53.56	227.23	61.13	257.02	26.25	247.78	46.98	244.01
1970	73.03	300.27	63.68	320.70	54.73	302.51	63.81	307.83
1971	81.38	381.64	58.15	378.85	55.78	358.29	65.10	372.93
1972	79.73	461.37	55.61	434.46	66.69	424.98	67.34	440.27
1973	78.09	539.45	70.23	504.69	52.56	477.54	66.96	507.23
1974	97.08	636.54	79.12	583.81	55.52	533.06	77.24	584.47
1975	94.89	731.43	72.43	656.23	61.28	594.34	76.20	660.67
1976	75.88	807.30	61.90	718.13	54.75	649.09	64.18	724.84
1977	76.02	883.32	64.27	782.40	53.37	702.46	64.55	789.39
1978	63.28	946.60	57.11	839.51	50.38	752.83	56.92	846.32
1979	78.53	1025.13	51.93	891.45	40.19	793.03	56.88	903.20
1980	74.91	1100.04	51.30	942.75	31.12	824.15	52.44	955.64
1981	61.14	1161.18	61.88	1004.62	53.39	877.54	58.80	1014.45
1982	70.69	1231.87	48.08	1052.70	64.10	941.64	60.96	1075.40
1983	72.97	1304.84	40.53	1093.23	21.58	963.22	45.03	1120.43
1984	75.98	1380.81	82.79	1176.02	82.86	1046.08	80.54	1200.97
1985	101.95	1482.76	99.63	1275.66	81.27	1127.35	94.28	1295.26
1986	78.43	1561.19	83.35	1359.00	71.13	1198.48	77.64	1372.89
1987	66.93	1628.11	51.22	1410.22	38.78	1237.27	52.31	1425.20
1988	80.71	1708.82	53.16	1463.38	54.16	1291.43	62.68	1487.88
1989	59.34	1768.16	57.48	1520.85	46.56	1337.99	54.46	1542.33
1990	62.80	1830.97	59.82	1580.67	49.83	1387.82	57.48	1599.82
1991	57.08	1888.05	44.03	1624.70	38.93	1426.75	46.68	1646.50
1992	49.26	1937.31	41.00	1665.70	41.80	1468.55	44.02	1690.52
1993	71.28	2008.58	55.87	1721.57	63.95	1532.50	63.70	1754.22
1994	64.29	2072.88	52.31	1773.88	66.51	1599.01	61.04	1815.25
1995	53.08	2125.95	44.93	1818.80	45.02	1644.03	47.67	1862.93
1996	69.61	2195.56	56.86	1875.66	54.95	1698.98	60.47	1923.40
1997	90.22	2285.78	82.55	1958.21	67.29	1766.27	80.02	2003.42
1998	58.12	2343.90	39.92	1998.14	34.64	1800.91	44.23	2047.65
1999	95.39	2439.29	68.28	2066.42	72.76	1873.67	78.81	2126.46
2000	74.53	2513.81		2066.42		1873.67	24.84	2151.30
2001	95.23	2609.05		2066.42		1873.67	31.74	2183.04
2002	83.49	2692.54		2066.42		1873.67	27.83	2210.87
2003	79.17	2771.71		2066.42		1873.67	26.39	2237.26
2004	70.59	2842.30		2066.42		1873.67	23.53	2260.80
2005	63.76	2906.06		2066.42		1873.67	21.25	2282.05

Fuente: Elaboración Propia

Grafica N° 4.1a Diagrama de Análisis de Doble Masa



Grafica N° 4.1 b Diagrama de Análisis de Doble Masa



4.2.3.- DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- **Análisis de saltos**

Después de haber analizado los hidrogramas y doble masa se ha realizado el análisis de saltos tanto en la media como en la desviación estándar la información de la precipitación mensual histórica considerada en el presente estudio según el análisis respectivo los resultados se muestran en el cuadro 4.3 respectivamente.

CUADRO N° 4.3 Análisis de consistencia - estadístico

**ANALISIS DE CONSISTENCIA - ESTADISTICO
ANALISIS DE SALTOS
PARA LA PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL**

Consistencia en la Media
Estación : JULI

Periodo de Análisis	N° de Datos	m	s	s ²	Sp	
N ₁	1952-1989	37	68.69	12.8283	164.5651	10.5118
N ₂	1990-1999	21	68.50	13.175	173.5811	

Tc	G.L	Tt	Análisis	Prueba de significancia
0.0182	56	1.6725	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Desviación Estándar

Fc	G.L.N	G.L.D	Ft	Análisis	Prueba de significancia
1.0548	20	36	1.8855	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Media
Estación : ILAVE

Periodo de Análisis	N° de Datos	m	s	s ²	Sp	
N ₁	1952-1978	26	54.06	15.9022	252.8791	10.9946
N ₂	1979-1999	32	55.07	14.4295	208.2099	

Tc	G.L	Tt	Análisis	Prueba de significancia
0.0922	56	1.6725	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Desviación Estándar

Fc	G.L.N	G.L.D	Ft	Análisis	Prueba de significancia
1.2145	25	31	1.835	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Media
Estación : CHILLIGUA

Periodo de Análisis	N° de Datos	m	s	s ²	Sp	
N ₁	1952-1985	33	47.61	15.1081	228.2545	11.6746
N ₂	1986-1999	25	45.96	13.6846	187.2683	

Tc	G.L	Tt	Análisis	Prueba de significancia
0.1411	56	1.6725	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Desviación Estándar

Fc	G.L.N	G.L.D	Ft	Análisis	Prueba de significancia
1.2189	32	24	1.939	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Por lo tanto después de haber evaluado con los tres tipos de análisis, se obtiene que la información de series de precipitación mensual consideradas en el presente estudio es consistente y confiable para su posterior completación, extensión de registros y para su utilización respectiva en el modelamiento de los métodos TEMEZ Y LUTZ SCHOLZ.

La inconsistencia y la no homogeneidad de la series histórica puede producir errores significativos en todos los análisis futuros y obtendría resultados altamente sesgados para el cual es muy importante realizar este análisis.

4.3.- DE LA COMPLETACION Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA

Para el proceso de completación y extensión de las estaciones de Chilligua, llave y Juli, se efectuó utilizando el modelo hidrológico denominado HEC-4 MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION, desarrollado por el Hydrologic Engeneering Center de los Estados Unidos de América, utilizando la información consistente y confiable obtenida del análisis anterior.

Con el fin de actualizar y uniformizar la información meteorológica de precipitaciones medias mensuales se ha procedido a completar y extender la información desde el año 1952-20011, tomando en cuenta el periodo de registro de la estación base.

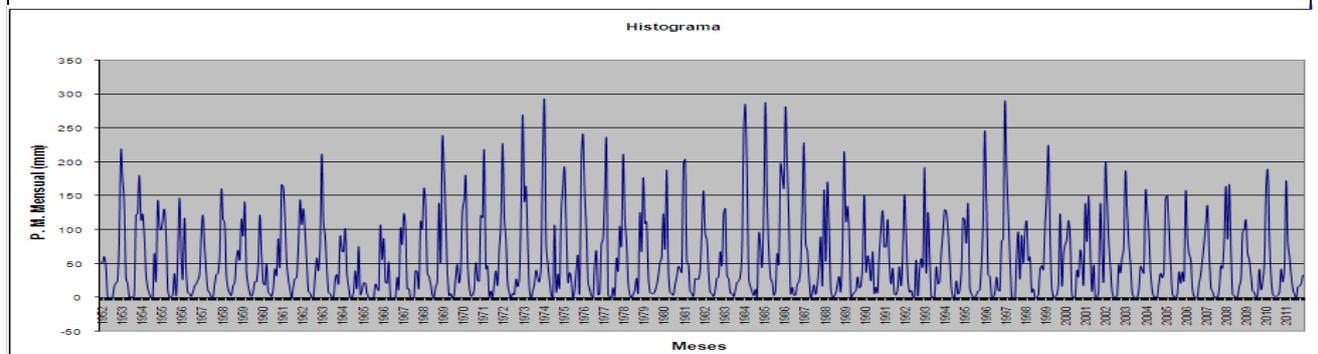
Las precipitaciones mensuales completadas y extendidas se muestran en los cuadros siguientes N° 4.4-4.6.

Cuadro N° 4.5 Registro precipitación completada y extendida estación Ilave.

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL COMPLETADA Y EXTENDIDA
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

Estacion	ILAVE	Latitud	16°06'0"	S	Departamento	PUNO
Tipo		Longitud	69°38'0"	W	Provincia	EL COLLAO
		Altitud	3,880.00	msnm	Distrito	ILAVE

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952	51.40	51.10	60.60	47.60	2.40	0.00	0.00	0.00	15.50	21.30	24.50	88.30	362.70
2	1953	216.30	175.40	139.90	30.50	20.90	1.00	1.30	0.80	2.70	120.60	124.10	180.10	1,013.60
3	1954	114.20	123.50	90.50	34.60	14.70	6.20	0.00	0.00	65.20	24.60	140.80	106.40	720.70
4	1955	99.40	114.80	129.90	90.50	12.90	0.00	1.00	4.10	35.50	2.70	60.10	146.80	697.70
5	1956	68.40	27.60	117.20	38.20	7.00	6.10	1.80	8.30	16.80	20.20	25.90	34.50	372.00
6	1957	89.50	121.50	75.00	36.05	10.20	7.00	0.00	0.00	19.20	34.10	35.40	62.00	489.95
7	1958	159.40	115.60	109.60	33.90	13.00	6.50	3.30	17.30	22.60	56.10	70.10	56.10	663.50
8	1959	115.40	90.90	140.70	40.10	18.20	6.50	1.90	9.00	23.30	23.10	48.90	121.70	639.70
9	1960	63.70	22.30	18.70	49.40	7.40	6.10	1.70	13.70	42.60	32.70	87.00	45.80	391.10
10	1961	166.20	162.70	118.10	52.50	28.40	12.00	0.00	17.00	28.40	29.30	76.40	143.90	834.90
11	1962	107.40	131.20	97.20	51.20	9.30	6.80	0.00	0.00	31.20	58.80	39.60	78.70	611.40
12	1963	211.20	113.09	90.90	42.50	7.30	5.90	1.00	0.00	27.00	34.20	20.70	90.00	643.79
13	1964	69.00	67.45	101.50	36.00	16.00	0.00	0.00	8.50	39.50	13.50	75.50	4.40	431.35
14	1965	10.60	21.80	21.70	6.40	0.80	0.00	0.00	0.00	19.75	14.00	10.50	106.50	212.05
15	1966	56.00	86.50	23.00	21.00	52.40	0.00	0.00	0.00	67.45	30.20	12.85	101.30	450.50
16	1967	78.20	123.90	105.80	12.70	13.30	0.00	0.00	0.00	39.80	36.70	14.80	112.20	537.40
17	1968	100.40	161.30	134.90	36.00	31.30	19.90	4.20	1.00	16.10	23.60	139.00	51.70	719.40
18	1969	233.40	189.00	119.00	40.00	3.00	6.00	0.00	3.00	30.00	49.00	21.30	39.90	733.60
19	1970	127.90	143.30	177.70	57.70	17.40	2.40	3.70	11.65	51.50	25.90	24.10	120.90	764.15
20	1971	117.80	217.30	42.50	47.20	1.80	10.10	0.10	20.30	39.60	18.40	72.20	110.50	697.80
21	1972	227.20	120.20	85.90	21.70	7.00	0.00	6.40	4.50	27.70	15.70	28.60	122.40	667.30
22	1973	269.30	142.80	163.90	83.50	12.20	0.00	9.90	20.10	40.60	29.10	23.40	47.90	842.70
23	1974	211.00	288.80	80.00	49.00	24.60	4.00	0.00	107.10	11.00	35.00	15.00	124.95	949.45
24	1975	162.00	191.10	105.00	23.00	37.00	27.00	0.00	10.00	41.00	62.00	9.00	202.00	869.10
25	1976	241.00	157.00	101.00	25.00	11.80	3.00	1.00	47.00	68.00	4.00	6.00	78.00	742.80
26	1977	87.00	150.00	232.00	4.00	1.30	0.00	15.00	2.80	58.00	39.40	104.80	76.90	771.20
27	1978	211.00	120.00	81.40	23.00	4.15	0.00	5.10	11.40	28.60	7.90	124.80	68.00	685.35
28	1979	176.60	109.10	112.00	35.20	7.00	6.50	5.30	9.60	18.50	32.20	52.10	59.10	623.20
29	1980	123.60	72.10	188.00	41.70	7.20	6.20	3.70	18.85	30.20	45.90	41.30	36.90	615.65
30	1981	196.10	203.10	55.50	48.20	8.50	6.50	2.10	28.10	27.20	27.10	40.60	99.50	742.50
31	1982	157.60	93.80	85.60	37.80	7.40	6.30	1.90	12.00	29.00	30.10	67.60	47.80	576.90
32	1983	122.30	130.50	32.60	28.20	6.80	6.60	1.70	10.70	22.50	24.20	32.50	67.80	486.40
33	1984	242.40	284.30	179.80	28.50	16.60	9.20	3.00	12.60	1.00	94.40	75.90	45.80	993.50
34	1985	134.40	287.60	144.80	69.80	29.20	23.00	3.20	11.40	65.20	49.40	196.60	181.00	1,195.60
35	1986	162.30	281.10	194.30	111.30	5.80	15.15	3.40	4.30	20.30	23.00	45.50	133.70	1,000.15
36	1987	227.60	80.10	69.50	29.50	1.10	7.30	19.10	4.80	20.20	48.10	89.30	18.00	614.60
37	1988	158.70	53.30	169.80	101.30	13.70	0.40	2.00	7.20	19.80	31.30	9.00	71.40	637.90
38	1989	214.80	113.20	135.00	91.30	0.30	3.90	7.80	9.60	30.60	14.20	18.10	50.90	689.70
39	1990	151.20	39.10	61.50	48.90	25.00	67.70	6.60	15.50	7.40	65.90	101.20	127.80	717.80
40	1991	74.20	75.20	115.10	50.60	20.00	43.40	5.40	4.00	14.20	45.60	17.30	63.40	528.40
41	1992	151.90	88.80	29.70	8.20	10.75	1.60	1.40	55.50	2.40	38.80	57.80	45.10	491.95
42	1993	191.70	36.70	125.30	65.30	1.50	1.00	0.30	45.30	20.00	23.80	65.30	94.20	670.40
43	1994	129.40	126.70	100.20	58.10	14.80	1.20	0.00	24.75	5.20	10.80	39.50	117.10	627.75
44	1995	112.90	80.20	138.20	14.80	5.70	1.40	0.00	4.20	9.60	11.20	47.50	113.40	539.10
45	1996	245.60	141.10	33.90	31.50	2.00	0.00	7.20	30.50	11.50	9.50	83.20	86.30	682.30
46	1997	288.00	190.80	122.90	60.70	1.40	0.00	0.00	61.70	96.10	27.10	91.70	50.20	990.60
47	1998	97.30	112.13	54.70	59.90	8.15	13.00	0.00	0.10	4.60	41.00	47.10	41.10	479.08
48	1999	107.10	153.80	223.40	89.70	14.90	0.60	1.50	3.90	21.00	123.30	17.90	62.30	819.40
49	2000	78.60	84.70	113.90	86.80	3.80	0.70	0.70	40.10	30.90	69.80	55.10	20.10	585.20
50	2001	137.60	82.40	149.70	68.30	8.80	48.10	0.00	0.20	9.80	138.10	70.40	27.30	740.70
51	2002	196.00	146.00	85.00	46.00	10.00	0.00	1.00	2.00	48.00	36.00	59.00	74.00	703.00
52	2003	186.00	127.00	80.00	50.00	8.00	1.00	0.00	0.00	12.00	46.00	41.00	36.00	587.00
53	2004	156.00	126.00	94.00	39.00	10.00	1.00	1.00	1.00	21.00	36.00	29.00	38.00	552.00
54	2005	146.00	150.00	101.00	49.00	6.00	1.00	1.00	5.00	38.00	21.00	38.00	25.00	581.00
55	2006	157.00	88.00	64.00	56.00	13.00	2.00	0.00	1.00	21.00	35.00	57.00	81.00	575.00
56	2007	108.00	135.00	67.00	16.00	9.00	1.00	1.00	0.00	13.00	47.00	43.00	87.00	527.00
57	2008	164.00	86.00	167.00	71.00	5.00	3.00	0.00	2.00	17.00	27.00	97.00	100.00	739.00
58	2009	114.00	65.00	56.00	32.00	9.00	8.00	0.00	4.00	42.00	12.00	24.00	52.00	418.00
59	2010	162.00	188.00	86.00	30.00	5.00	2.00	2.00	3.00	8.00	42.00	23.00	44.00	595.00
60	2011	172.00	82.00	60.00	32.00	12.00	5.00	0.00	16.00	17.00	21.00	33.00	33.00	483.00
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media	148.45	125.72	104.32	45.33	11.55	7.17	2.33	12.77	27.70	36.83	54.03	79.20	655.40	
Desv. Estandar	59.94	62.57	49.05	23.56	9.66	12.26	3.62	18.77	18.86	27.06	38.51	42.79	179.85	
Coef. Variacion	40.38	49.77	47.02	51.96	83.62	170.95	155.35	146.95	68.08	73.48	71.27	54.03	27.44	
Prec. Max.	288.00	288.80	232.00	111.30	52.40	67.70	19.10	107.10	96.10	138.10	196.60	202.00	1195.60	
Prec. Min.	10.60	21.80	18.70	4.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	2.70	6.00	4.40	212.05	
Precip. 75% Conf.	107.99	83.48	71.20	29.43	5.03	-1.10	-0.11	0.10	14.97	18.56	28.03	50.31	534.00	

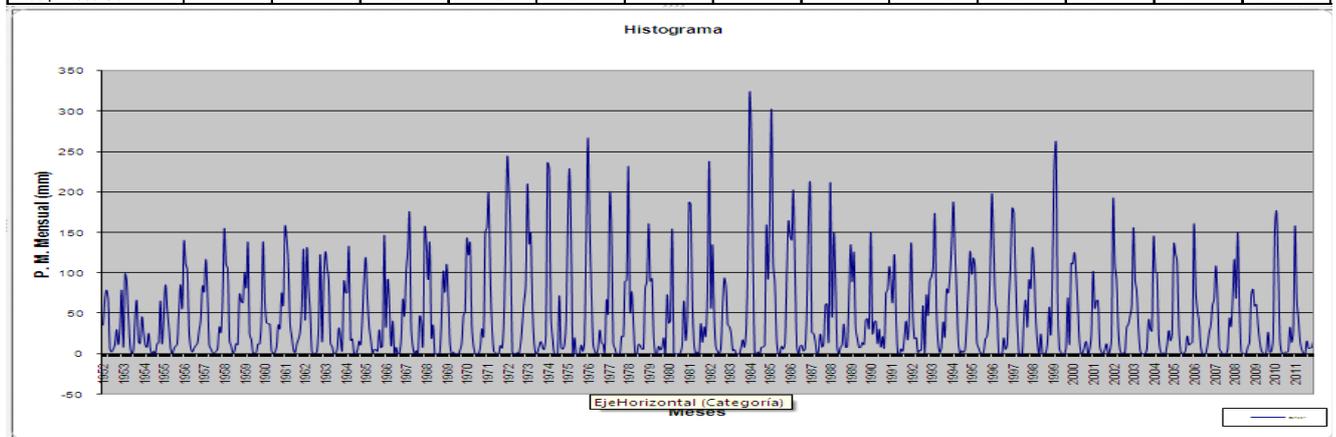


Fuente elaboración propia

Cuadro N° 4.6 Registro precipitación completada y extendida estación Chilligua.

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL COMPLETADA Y EXTENDIDA
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

Estacion :	CHILLIGUA			Latitud :	16°32'00"	S	Departamento :	PUNO						
Tipo :				Longitud :	69°40'00"	W	Provincia :	CHUCUITO						
				Altitud :	4.200.00	mnm	Distrito :	JULI						
N° REGIS TRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952	35.50	68.50	79.00	66.60	5.80	2.30	5.60	11.90	30.20	11.30	33.20	79.80	428.70
2	1953	8.20	98.50	89.90	45.30	9.80	0.00	4.50	45.60	65.60	15.60	12.60	45.80	441.40
3	1954	26.95	11.20	8.20	25.50	6.80	0.00	3.20	0.00	12.60	13.40	65.50	12.30	185.65
4	1955	45.70	85.40	56.20	33.10	7.90	0.00	5.60	9.50	12.00	53.50	85.70	56.80	451.40
5	1956	138.80	111.00	104.20	30.10	7.00	2.30	7.00	10.20	13.30	28.40	42.90	83.90	579.10
6	1957	76.80	117.00	73.50	10.80	6.30	1.60	1.20	2.80	6.40	33.50	26.40	70.70	427.00
7	1958	154.80	110.60	105.20	16.80	10.20	1.00	2.90	12.80	11.20	73.70	64.80	63.10	627.10
8	1959	99.70	82.10	137.60	25.10	18.10	0.90	1.10	2.00	12.20	12.30	40.30	138.70	570.10
9	1960	66.50	38.60	37.20	36.90	3.60	0.90	1.40	9.00	36.10	31.00	75.40	60.40	397.00
10	1961	157.30	143.60	109.00	37.90	21.40	5.50	1.40	11.90	17.90	27.40	61.10	129.70	724.10
11	1962	41.50	131.10	84.00	50.40	2.60	0.40	1.00	2.20	33.90	122.80	15.00	86.90	571.80
12	1963	126.00	107.00	89.00	13.00	9.00	0.00	1.00	5.00	32.00	17.20	4.40	89.40	493.00
13	1964	75.70	75.40	132.20	16.60	18.70	0.00	0.00	4.20	15.80	11.00	45.50	93.20	488.30
14	1965	118.70	67.30	33.60	17.50	1.20	5.20	5.40	3.10	29.70	7.40	10.40	146.70	446.20
15	1966	33.40	91.80	61.80	9.80	40.50	0.00	8.20	0.00	0.80	17.30	67.40	47.00	378.00
16	1967	102.00	127.20	173.20	32.30	8.20	0.00	4.10	0.00	46.50	40.20	11.00	155.80	700.50
17	1968	136.70	91.60	137.10	20.20	35.90	0.00	0.00	0.00	1.80	44.00	102.10	76.00	645.40
18	1969	110.90	70.80	12.10	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	4.40	14.20	47.40	53.20	315.00
19	1970	141.60	122.30	137.00	35.70	10.00	0.00	0.00	0.00	8.20	31.20	21.20	149.50	656.70
20	1971	156.10	198.10	93.20	33.10	3.40	1.40	0.00	0.00	10.50	7.10	39.20	127.30	669.40
21	1972	241.50	208.10	147.60	2.50	0.00	0.00	1.60	0.00	12.80	36.60	65.20	84.40	800.30
22	1973	209.60	136.30	149.40	58.80	14.10	0.00	2.00	9.80	15.20	8.20	5.40	21.90	630.70
23	1974	235.80	227.70	48.70	17.90	0.00	0.00	0.00	72.00	8.20	5.60	11.15	39.20	666.25
24	1975	160.00	229.10	141.10	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	10.85	3.00	16.90	154.40	735.35
25	1976	267.20	160.20	81.80	13.80	3.50	0.00	6.50	29.60	13.50	12.10	1.80	67.00	657.00
26	1977	50.10	198.20	147.90	13.80	6.80	0.00	0.00	0.00	21.80	21.20	89.80	90.80	640.40
27	1978	231.80	52.70	77.20	38.10	0.00	0.00	11.80	10.40	5.90	5.90	80.50	90.20	604.50
28	1979	161.10	89.90	93.20	22.60	0.00	0.00	9.30	4.80	8.20	19.90	0.70	72.60	482.30
29	1980	37.80	41.90	154.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	11.15	65.40	16.30	44.70	373.45
30	1981	187.50	184.90	65.80	13.00	0.00	2.20	0.00	37.50	14.10	33.30	22.20	80.20	640.70
31	1982	238.10	58.10	135.10	44.40	8.30	3.10	0.00	8.20	61.80	93.60	82.40	36.10	769.20
32	1983	33.80	25.70	4.00	5.50	0.00	0.00	0.00	8.20	17.50	8.20	31.40	124.70	259.00
33	1984	320.50	273.10	121.10	0.00	0.00	2.40	0.00	8.20	8.20	10.45	158.30	92.10	994.35
34	1985	170.80	302.20	115.20	87.70	19.30	0.00	0.00	9.40	5.80	12.70	89.10	163.00	975.20
35	1986	145.50	141.00	202.40	103.00	10.20	0.00	9.00	10.60	3.40	6.20	52.40	169.90	853.60
36	1987	208.70	26.60	25.20	15.60	0.00	3.50	24.50	8.20	12.70	60.30	61.90	18.20	465.40
37	1988	212.10	45.70	148.70	94.30	7.90	0.00	8.20	11.15	37.00	8.20	8.20	68.50	649.95
38	1989	135.10	89.10	124.90	32.50	18.70	7.70	8.20	14.10	11.50	41.40	43.70	31.80	558.70
39	1990	150.80	25.50	38.80	40.50	12.50	30.60	8.20	21.40	7.70	74.60	79.20	108.20	598.00
40	1991	89.60	63.60	122.90	44.30	0.00	0.00	6.35	3.20	21.40	40.60	17.30	57.90	467.15
41	1992	137.50	45.20	18.60	20.10	1.60	4.60	4.50	59.70	0.80	72.30	47.10	89.60	501.60
42	1993	95.30	106.80	173.10	55.90	13.10	1.40	8.20	39.70	21.10	80.00	75.20	97.60	767.40
43	1994	134.80	188.00	131.40	72.50	13.80	0.90	4.10	1.70	4.70	37.60	81.70	126.90	798.10
44	1995	98.30	118.70	105.40	14.60	7.50	2.20	0.00	1.90	18.00	21.40	42.50	109.70	540.20
45	1996	198.30	129.90	65.30	51.80	0.00	0.00	0.00	20.00	5.30	11.50	67.10	110.20	659.40
46	1997	180.20	174.10	96.60	37.90	0.00	0.00	0.00	47.00	66.50	33.00	91.20	81.00	807.50
47	1998	131.40	103.30	44.00	13.30	0.00	24.60	0.00	0.60	1.30	15.20	58.00	24.00	415.70
48	1999	110.80	232.80	259.60	61.10	6.20	1.80	0.00	0.00	7.60	69.40	11.50	112.30	873.10
49	2000	111.20	125.50	98.80	58.80	14.10	0.00	2.00	9.60	15.20	0.00	5.40	21.90	462.50
50	2001	101.70	56.90	65.80	66.20	9.80	2.30	0.00	5.50	12.50	0.00	3.50	19.50	343.70
51	2002	191.00	112.00	90.00	29.00	5.00	1.00	1.00	33.00	36.00	47.00	60.00	60.00	605.00
52	2003	156.00	92.00	77.00	32.00	4.00	0.00	0.00	0.00	6.00	42.00	31.00	28.00	468.00
53	2004	144.00	101.00	100.00	23.00	4.00	0.00	1.00	0.00	11.00	29.00	16.00	25.00	454.00
54	2005	136.00	124.00	113.00	33.00	3.00	0.00	1.00	4.00	22.00	11.00	13.00	14.00	474.00
55	2006	160.00	79.00	54.00	39.00	9.00	0.00	1.00	1.00	11.00	26.00	36.00	60.00	475.00
56	2007	68.00	109.00	67.00	7.00	3.00	0.00	0.00	0.00	6.00	44.00	34.00	71.00	409.00
57	2008	117.00	69.00	150.00	58.00	3.00	1.00	0.00	1.00	9.00	14.00	72.00	80.00	574.00
58	2009	59.00	61.00	36.00	16.00	4.00	1.00	0.00	3.00	27.00	2.00	3.00	19.00	231.00
59	2010	152.00	177.00	108.00	18.00	2.00	0.00	2.00	2.00	3.00	33.00	14.00	29.00	540.00
60	2011	158.00	70.00	44.00	16.00	5.00	1.00	0.00	16.00	7.00	7.00	8.00	16.00	348.00
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media		133.01	113.40	96.60	32.14	7.63	1.86	2.88	10.21	16.63	29.41	42.71	76.26	562.74
Desv. Estandar		65.44	63.11	50.10	23.55	8.26	5.11	4.29	15.26	14.98	25.63	32.70	42.67	172.94
Coef. Variacion		49.20	55.65	51.87	73.28	108.22	274.22	148.78	149.45	90.05	87.15	76.56	55.95	30.73
Prec. Max.		320.50	302.20	259.60	103.00	40.50	30.60	24.50	72.00	66.50	122.80	158.30	169.90	994.35
Prec. Min.		8.20	11.20	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.70	12.30	185.65
Precip. 75% Conf.		88.84	70.80	62.78	16.24	2.06	-1.59	-0.01	-0.09	6.52	12.11	20.64	47.46	446.01



Fuente elaboración propia

Cuadro Nº 4.7 Análisis estadístico

**ANALISIS DE CONSISTENCIA - ESTADISITICO
ANALISIS DE SALTOS
PARA LA PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL**

Consistencia en la Media

Estación : JULI

Periodo de Análisis	Nº de Datos	m	s	s ²	Sp
N ₁	1952-1989	37	68.69	12.8283	164.5651
N ₂	1990-2011	21	68.50	13.175	173.5811

Tc	G.L	Tt	Análisis	Prueba de significancia
0.0182	56	1.6725	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Desviación Estándar

Fc	G.L.N	G.L.D	Ft	Análisis	Prueba de significancia
1.0548	20	36	1.8855	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Media

Estación : ILAVE

Periodo de Análisis	Nº de Datos	m	s	s ²	Sp
N ₁	1952-1978	26	54.06	15.9022	252.8791
N ₂	1979-2011	32	55.07	14.4295	208.2099

Tc	G.L	Tt	Análisis	Prueba de significancia
0.0922	56	1.6725	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Desviación Estándar

Fc	G.L.N	G.L.D	Ft	Análisis	Prueba de significancia
1.2145	25	31	1.835	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Media

Estación : CHILLIGUA

Periodo de Análisis	Nº de Datos	m	s	s ²	Sp
N ₁	1952-1985	33	47.61	15.1081	228.2545
N ₂	1986-2011	25	45.96	13.6846	187.2683

Tc	G.L	Tt	Análisis	Prueba de significancia
0.1411	56	1.6725	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

Consistencia en la Desviación Estándar

Fc	G.L.N	G.L.D	Ft	Análisis	Prueba de significancia
1.2189	32	24	1.939	Tc < Tt	No realizar proceso de Corrección

4.4.- DEL CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CUENCA POR EL MÉTODO DEL POLÍGONO DE THIESSEN

Se calculo la precipitación mensual en cada sub cuenca dividida como son CAMELLAQUE, CAMILLAQUI y en principal toda el área en estudio cual es la cuenca del río Zapatilla, con las estaciones debidamente ubicadas en cada punto, según el área de influencia de los polígonos de Thiessen, los resultados se muestran en los siguientes cuadro N° 4.8 – 4.10

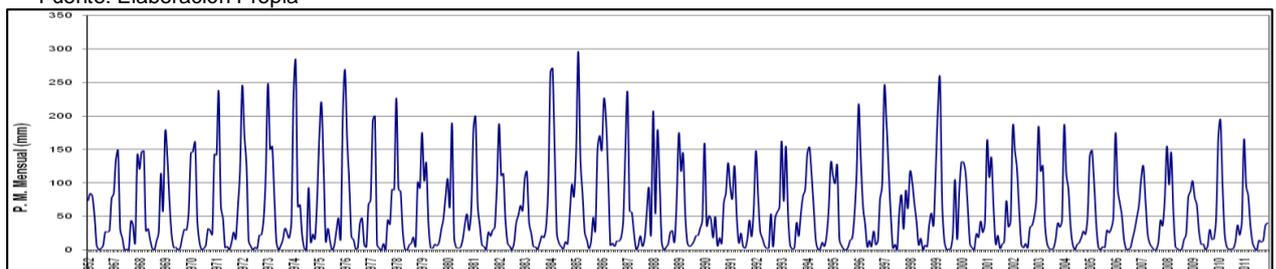
Cuadro N° 4.8 precipitación mensual thiesen cuenca del rio zapatilla

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA THIESEN CUENCA DEL RIO ZAPATILLA
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

AREA TOTAL DE LA CUENCA = **434.3** KM2

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952	73.97	84.51	80.28	50.79	7.10	1.04	2.44	6.60	27.18	26.81	29.00	77.08	466.80
2	1953	137.72	150.25	112.67	39.92	13.57	2.31	2.81	19.32	31.12	66.88	64.79	104.20	745.57
3	1954	103.10	93.27	69.85	30.14	9.19	2.67	2.41	1.25	35.71	22.31	92.96	63.13	526.01
4	1955	96.42	119.68	100.37	62.98	8.82	0.21	3.08	5.82	23.36	26.75	68.07	97.62	613.17
5	1956	120.06	86.01	113.51	38.57	7.63	4.29	3.51	8.09	14.12	26.25	32.69	53.49	508.22
6	1957	116.34	137.52	88.24	25.46	7.29	3.80	1.06	3.52	17.67	30.31	36.87	61.38	529.45
7	1958	154.94	129.75	112.90	29.83	9.48	3.36	3.72	13.52	22.32	57.43	59.60	73.02	669.88
8	1959	130.32	100.27	144.24	30.90	15.41	3.33	1.42	14.82	22.15	17.72	42.26	109.94	632.79
9	1960	91.71	62.79	62.20	42.50	6.36	4.20	1.24	9.56	36.79	32.36	80.30	52.79	482.80
10	1961	162.53	154.19	119.80	50.04	21.19	7.15	1.55	12.02	23.27	30.64	60.14	116.24	758.76
11	1962	100.84	145.95	107.84	46.69	10.37	3.28	0.57	1.42	28.58	80.71	32.05	80.68	638.99
12	1963	169.52	113.59	93.99	32.78	7.43	2.95	1.00	7.65	30.06	31.98	17.17	79.97	588.11
13	1964	80.82	91.32	111.86	29.83	16.56	0.21	1.04	7.47	27.07	21.47	52.44	49.76	489.86
14	1965	85.03	56.87	60.10	23.69	1.82	1.88	3.41	2.37	23.19	18.51	14.95	111.31	403.14
15	1966	49.67	90.29	43.22	18.31	39.71	0.00	3.69	0.00	32.00	31.47	43.76	81.12	433.24
16	1967	84.67	135.16	148.09	31.00	18.10	0.00	1.48	0.21	43.29	36.63	11.53	141.50	651.64
17	1968	120.59	146.71	148.00	28.41	32.00	14.97	2.01	0.85	14.02	26.77	114.50	58.26	707.10
18	1969	176.34	141.08	73.78	23.84	3.75	4.04	0.38	3.19	19.16	31.02	29.89	56.92	563.39
19	1970	144.67	146.87	160.62	47.00	11.89	1.07	2.32	7.16	31.51	29.51	23.11	143.05	748.77
20	1971	141.87	237.22	66.77	47.89	3.75	5.33	0.81	11.13	26.83	16.64	65.85	121.66	745.74
21	1972	245.25	173.01	125.59	13.95	5.70	0.56	4.12	2.27	22.15	22.77	46.29	114.12	775.79
22	1973	248.17	150.29	154.80	79.94	10.97	0.72	6.67	15.75	32.26	24.95	18.46	42.83	785.82
23	1974	232.07	281.16	64.58	67.88	22.19	2.60	0.04	93.19	11.96	23.88	16.62	76.00	892.16
24	1975	165.93	220.53	128.84	13.35	32.32	13.63	0.27	6.83	29.06	47.77	17.43	201.11	877.09
25	1976	269.30	167.39	101.44	20.12	15.53	1.50	3.28	40.00	47.35	8.07	4.46	68.39	746.83
26	1977	74.69	193.56	199.63	7.83	3.02	0.00	9.48	1.41	44.84	38.46	90.61	89.86	753.39
27	1978	226.85	91.34	87.42	27.77	1.78	0.00	7.29	10.47	19.21	5.72	101.15	92.60	671.61
28	1979	175.30	103.88	129.66	40.09	3.47	2.79	8.58	6.32	11.77	30.87	46.77	79.43	638.94
29	1980	106.53	65.22	189.41	18.64	3.60	2.96	4.08	15.86	38.10	53.63	29.11	60.16	587.31
30	1981	178.50	198.49	69.81	36.95	7.48	5.22	1.17	26.50	20.71	29.74	33.91	95.41	703.89
31	1982	188.52	111.27	114.22	44.90	10.13	5.58	0.92	10.19	40.29	51.72	66.49	58.82	703.05
32	1983	107.08	116.64	42.34	25.66	5.18	4.76	1.15	10.69	21.13	18.77	35.59	96.54	485.53
33	1984	265.83	271.42	145.98	25.01	10.27	5.22	1.94	12.39	8.91	51.63	98.11	80.03	976.72
34	1985	146.38	296.47	137.82	84.68	26.65	15.48	2.08	12.95	48.86	28.60	151.00	170.80	1,121.77
35	1986	149.80	226.10	192.51	107.40	7.08	10.22	5.46	13.47	13.13	18.35	43.38	147.99	934.89
36	1987	235.12	58.73	56.23	26.11	1.62	6.22	21.07	5.30	17.16	55.87	93.21	23.44	600.07
37	1988	207.56	54.13	178.82	103.51	10.62	0.21	4.03	9.07	26.60	28.68	12.53	75.53	711.30
38	1989	174.60	117.71	143.90	53.35	10.31	5.25	7.63	12.83	21.09	21.83	32.97	45.57	647.05
39	1990	159.58	36.63	51.19	45.61	18.10	50.29	6.85	18.34	9.95	69.75	85.55	130.16	682.01
40	1991	94.99	76.56	125.79	52.54	10.71	25.24	5.41	3.00	16.30	44.67	20.14	63.63	538.98
41	1992	148.24	81.84	27.88	17.64	7.05	2.50	3.00	53.97	4.76	47.81	57.03	64.43	516.14
42	1993	162.70	72.78	155.08	54.70	6.96	1.54	3.09	41.15	20.63	54.38	80.72	90.33	744.06
43	1994	143.28	153.52	113.41	62.74	13.79	1.05	1.82	11.42	5.42	21.21	60.95	130.71	719.31
44	1995	110.97	99.48	125.58	15.79	6.43	1.50	0.13	4.00	14.35	18.12	50.73	112.86	559.92
45	1996	218.05	134.11	66.84	39.00	4.79	14.08	5.00	28.27	7.80	13.79	76.13	98.13	705.98
46	1997	244.06	191.03	121.63	53.59	2.92	8.46	0.96	56.87	81.98	31.13	88.91	62.12	943.67
47	1998	116.95	101.67	70.86	43.50	7.63	17.32	0.80	7.14	5.02	38.86	54.98	37.05	501.79
48	1999	119.21	208.32	254.52	73.48	14.58	1.37	1.29	2.07	23.91	105.29	15.71	86.98	906.74
49	2000	131.46	131.10	113.56	62.04	9.00	3.29	1.15	24.26	19.03	43.00	26.03	41.51	605.43
50	2001	163.56	108.59	138.17	65.26	8.97	21.91	2.65	8.53	12.65	73.51	34.41	43.05	681.25
51	2002	183.71	148.50	118.99	58.28	7.90	3.45	9.65	3.50	33.33	36.71	50.15	75.86	730.02
52	2003	184.29	117.63	125.86	41.26	9.77	2.36	1.23	2.63	16.22	40.09	34.17	44.30	619.83
53	2004	186.33	114.86	90.82	36.54	8.17	0.85	7.89	10.85	18.29	28.27	23.61	51.74	578.23
54	2005	140.95	148.79	100.68	39.15	3.98	0.85	4.97	3.80	29.44	25.78	32.31	50.10	580.79
55	2006	174.79	92.27	70.62	50.07	14.90	1.28	1.25	3.71	17.60	31.54	49.62	68.82	576.47
56	2007	106.50	125.40	74.31	24.44	9.76	4.40	0.64	0.84	10.89	44.66	36.41	76.63	514.86
57	2008	154.96	97.40	145.82	58.37	5.11	1.86	0.21	2.06	15.78	23.97	79.20	87.76	672.50
58	2009	103.32	77.97	66.94	27.47	8.45	8.81	0.84	5.31	30.52	15.70	17.04	48.22	410.59
59	2010	166.11	194.26	97.29	23.16	4.33	1.28	1.79	2.43	12.25	37.29	22.25	42.34	604.79
60	2011	165.06	96.88	81.16	36.87	10.93	2.93	0.21	14.33	11.72	14.27	36.50	40.43	511.29
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media	151.96	132.17	110.31	41.82	10.56	5.43	3.17	12.50	23.70	34.72	49.04	81.65	657.02	
Desv. Estandar	51.61	57.10	43.58	20.88	7.64	7.99	3.42	15.97	13.10	18.43	29.90	35.19	146.75	

Fuente: Elaboración Propia



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA THIESEN SUB CUENCA CAMELLAQUE
REGISTROS HISTÓRICOS
 (mm)

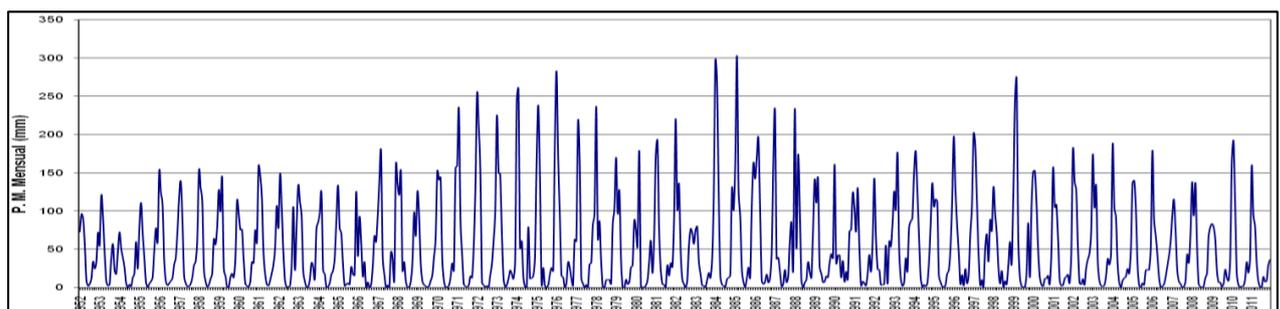
AREA TOTAL DE LA CUENCA = **161.1** KM2

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952	72.72	96.14	89.81	57.61	9.04	1.98	4.72	11.68	34.08	24.49	32.66	71.97	506.91
2	1953	55.33	120.49	91.40	46.45	8.62	2.21	4.13	37.34	56.85	22.82	17.61	46.59	509.85
3	1954	72.42	50.95	39.11	26.36	5.62	0.00	3.89	1.47	13.19	18.22	59.73	24.51	315.47
4	1955	78.21	110.85	70.89	39.22	6.45	0.25	4.96	7.90	13.47	47.73	77.91	59.31	517.15
5	1956	152.36	123.78	108.57	35.97	7.74	2.72	5.53	8.68	12.49	30.02	39.48	73.11	600.45
6	1957	116.90	138.87	90.09	15.27	5.49	1.45	1.64	5.06	13.18	29.45	34.16	64.14	515.70
7	1958	152.64	130.60	112.03	23.48	7.94	1.00	3.66	11.37	18.52	63.45	56.00	78.31	659.02
8	1959	127.78	99.03	143.84	24.34	14.88	0.92	1.08	13.55	18.29	13.21	38.26	113.47	608.65
9	1960	97.58	75.31	75.97	37.17	4.93	2.15	1.06	7.28	33.62	31.74	75.30	58.83	500.93
10	1961	158.95	146.40	117.11	44.80	17.62	4.15	2.28	9.47	18.91	30.25	52.23	106.68	708.84
11	1962	77.99	148.52	105.38	45.63	8.35	0.55	1.00	2.40	29.01	105.65	22.62	83.73	630.82
12	1963	134.11	111.67	93.91	21.35	8.02	0.49	1.00	10.65	32.25	26.00	11.18	78.00	528.63
13	1964	85.11	98.15	123.80	22.35	17.55	0.25	1.23	5.87	17.08	22.06	38.50	87.01	518.94
14	1965	133.76	78.04	70.80	30.40	2.13	3.92	5.79	3.81	27.07	17.13	15.71	125.40	513.97
15	1966	41.12	92.71	59.56	14.15	33.55	0.00	7.05	0.00	3.80	27.45	67.28	59.68	406.33
16	1967	93.65	138.23	177.75	40.68	17.27	0.00	3.09	0.25	46.11	37.77	9.70	161.03	725.51
17	1968	136.11	121.18	151.03	21.87	33.64	7.54	0.25	0.49	8.95	34.05	98.02	67.42	680.56
18	1969	125.94	93.70	30.60	7.81	3.55	1.72	0.44	2.24	8.82	16.39	40.00	64.31	395.52
19	1970	152.14	140.58	144.20	37.86	8.48	0.05	0.86	2.53	13.73	31.89	21.99	156.38	710.68
20	1971	158.73	234.42	87.75	43.37	4.62	1.62	0.90	2.83	15.00	12.60	53.87	129.17	744.86
21	1972	253.15	211.27	152.91	6.26	3.17	0.66	2.14	0.39	16.26	30.90	61.47	100.15	838.73
22	1973	224.78	149.47	148.42	71.18	11.37	0.85	3.50	11.59	22.42	17.34	11.67	33.37	705.97
23	1974	243.96	259.69	51.55	60.97	13.66	1.03	0.05	79.17	11.71	12.23	15.63	39.13	788.79
24	1975	165.97	238.24	144.93	4.08	25.90	2.38	0.32	2.97	17.03	25.83	21.52	185.28	834.45
25	1976	282.93	170.27	95.19	15.57	13.45	0.25	5.49	33.04	25.76	11.46	2.81	63.07	719.29
26	1977	60.37	217.12	166.23	11.74	5.13	0.00	3.56	0.25	30.60	32.31	83.17	96.72	707.18
27	1978	236.49	64.13	87.10	33.58	0.00	0.00	9.88	9.98	10.08	4.67	82.39	104.25	642.56
28	1979	169.97	96.63	126.59	36.80	0.54	0.00	10.48	4.16	7.19	26.58	28.91	87.47	595.32
29	1980	75.27	54.06	178.52	0.84	0.59	0.34	2.92	9.79	33.23	61.42	18.73	66.84	502.56
30	1981	172.56	191.68	75.73	23.37	4.50	3.58	0.32	29.32	15.25	32.24	26.67	88.33	663.55
31	1982	220.48	102.60	135.57	48.33	10.90	4.40	0.12	8.62	53.08	76.45	71.17	56.91	788.64
32	1983	75.25	79.68	34.64	17.74	2.65	2.26	0.49	9.87	19.24	12.55	35.77	120.35	410.50
33	1984	295.68	265.46	120.68	15.01	3.69	2.28	0.76	10.90	12.67	16.43	129.16	101.31	974.04
34	1985	160.48	302.84	126.85	93.20	22.94	6.58	0.82	12.57	26.41	12.85	107.55	163.07	1,036.17
35	1986	142.06	170.26	194.86	103.98	8.75	4.36	7.67	17.16	6.30	12.00	45.27	162.43	875.11
36	1987	230.22	37.34	39.30	20.93	1.35	4.78	23.20	6.50	14.15	61.26	84.87	24.47	548.37
37	1988	233.77	51.77	173.47	101.60	8.17	0.05	6.43	10.70	33.46	20.61	12.89	75.31	728.22
38	1989	141.27	110.57	142.15	27.29	18.13	6.74	7.73	14.89	13.12	32.14	44.02	38.34	596.39
39	1990	160.92	31.72	41.90	42.27	12.77	35.00	7.43	20.79	10.50	73.30	75.54	124.12	636.24
40	1991	103.73	72.99	130.25	50.81	2.48	7.74	5.72	2.56	19.04	42.86	20.64	61.86	520.68
41	1992	142.86	66.26	23.91	23.22	3.38	3.64	4.30	55.08	4.65	60.43	53.37	82.50	523.59
42	1993	125.84	102.23	176.07	49.73	11.75	1.77	6.19	38.57	21.10	78.28	86.70	90.77	789.00
43	1994	147.50	178.44	126.02	68.30	13.28	0.92	3.49	1.48	5.29	31.88	78.63	136.34	791.56
44	1995	105.82	115.55	112.55	15.90	7.16	1.78	0.15	3.20	17.95	22.70	49.65	111.54	563.96
45	1996	197.61	129.19	82.99	47.01	4.62	16.56	2.24	24.42	5.10	15.21	69.58	108.09	702.62
46	1997	200.81	185.57	112.74	44.83	2.73	9.95	1.13	51.18	69.74	33.79	88.25	74.37	875.09
47	1998	131.65	96.91	70.19	25.27	4.85	21.90	0.95	8.55	4.00	29.99	59.97	30.71	484.93
48	1999	122.57	243.95	271.93	61.20	11.65	1.90	0.76	0.47	20.01	84.36	13.22	107.80	939.83
49	2000	151.52	152.72	108.53	48.46	13.31	3.51	1.66	11.42	11.76	15.28	4.54	45.88	568.59
50	2001	156.32	104.81	108.50	64.04	9.33	2.20	3.12	11.74	14.05	16.63	6.03	43.26	540.04
51	2002	179.89	137.75	126.63	54.85	5.88	4.05	11.17	3.43	25.80	36.84	44.64	71.57	702.52
52	2003	174.11	104.46	132.97	33.79	8.77	2.27	1.45	3.10	14.99	37.72	29.67	43.14	586.44
53	2004	187.74	104.66	92.24	30.84	5.87	0.49	9.11	12.26	14.51	24.60	18.38	49.89	550.59
54	2005	136.76	140.02	104.57	32.14	2.63	0.49	5.67	3.26	22.66	23.33	23.07	50.90	545.52
55	2006	178.92	90.06	68.50	43.42	13.91	0.49	1.47	4.19	13.70	27.97	41.41	59.75	543.80
56	2007	93.06	115.14	75.60	22.97	7.91	4.67	0.25	0.98	8.21	43.26	32.28	69.53	473.87
57	2008	137.88	93.82	136.49	51.86	4.47	1.00	0.25	1.74	12.93	19.16	67.82	79.02	606.43
58	2009	83.32	78.94	62.29	21.41	6.70	6.65	0.98	5.21	23.56	13.06	8.90	36.69	347.71
59	2010	163.55	191.74	106.53	18.00	3.23	0.49	1.75	2.00	11.35	33.49	19.16	37.11	588.40
60	2011	159.23	95.55	79.63	32.46	8.44	1.25	0.25	14.03	7.49	8.47	28.88	36.15	471.83
N° Datos		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media		147.50	129.25	108.82	36.86	9.09	3.37	3.50	11.61	19.35	31.90	44.44	81.11	626.80
Desv. Estandar		56.64	59.54	45.91	21.97	7.14	5.66	3.90	14.80	13.00	20.69	29.11	38.03	152.22

Fuente:

Elaboración

Propia

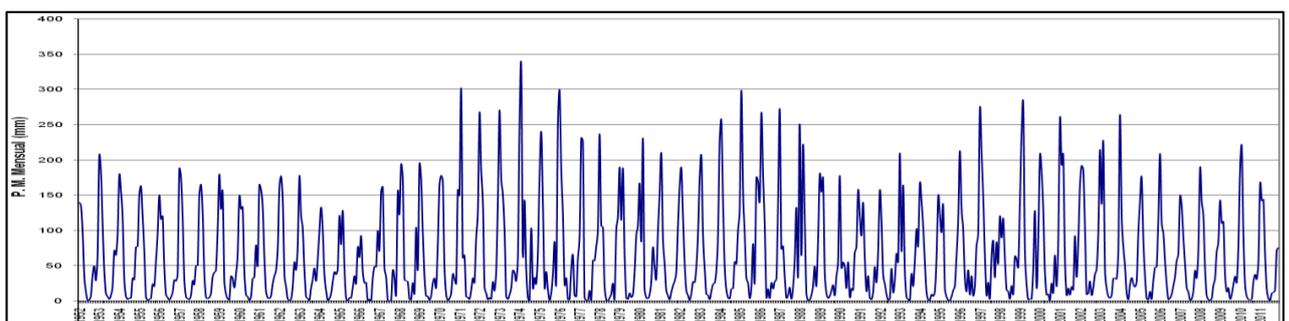


REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA THIESEN SUB CUENCA CAMILLAQUI
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

AREA TOL DE LA CUENCA = **61.64** KM2

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952	139.68	135.67	101.23	36.14	13.21	0.65	1.30	7.16	35.36	49.75	28.73	64.02	612.90
2	1953	205.69	183.60	111.32	43.20	10.55	6.21	2.41	8.09	20.47	71.38	64.79	94.75	822.45
3	1954	177.87	155.73	118.82	30.95	6.43	2.16	3.91	3.91	32.52	30.07	76.48	77.49	716.34
4	1955	150.57	163.11	120.85	69.34	5.80	0.65	2.30	3.38	24.11	20.47	56.13	94.85	711.57
5	1956	150.17	115.75	120.33	48.49	8.95	4.73	1.28	5.50	12.37	29.84	27.92	38.08	563.41
6	1957	187.48	176.51	117.97	31.46	5.51	3.09	1.95	7.81	28.84	22.97	50.11	50.28	684.00
7	1958	150.68	165.34	124.83	40.48	5.19	2.92	5.06	10.59	34.58	40.41	43.34	100.96	724.37
8	1959	179.59	130.03	155.22	28.32	9.61	2.92	1.31	35.04	32.22	18.48	37.90	65.90	696.54
9	1960	147.88	130.18	133.48	41.98	8.44	6.03	0.59	6.08	31.79	33.55	79.19	51.14	670.34
10	1961	164.77	157.69	133.66	61.29	13.82	4.19	3.26	7.23	24.23	42.94	42.94	73.65	722.33
11	1962	161.18	177.29	145.25	38.05	20.17	3.02	0.65	1.95	20.00	55.02	43.77	75.64	742.00
12	1963	177.21	121.50	102.68	45.43	5.80	3.36	1.00	18.23	30.91	46.44	28.06	59.40	640.02
13	1964	98.30	132.91	99.22	38.60	14.70	0.65	3.26	10.13	27.46	41.17	37.41	45.81	549.61
14	1965	120.89	79.87	128.02	47.81	3.53	0.00	4.56	3.91	19.26	35.48	24.50	76.23	544.06
15	1966	61.73	92.36	42.34	25.23	26.23	0.00	2.28	0.00	32.00	48.69	47.97	99.54	478.36
16	1967	71.56	155.28	161.73	47.66	34.00	0.00	0.00	0.65	43.12	32.53	8.88	154.45	709.87
17	1968	122.47	194.31	173.25	30.14	28.31	26.93	2.12	1.65	25.74	10.51	104.17	44.80	764.39
18	1969	193.49	172.72	98.43	34.66	6.45	6.65	1.17	6.97	25.05	32.14	18.70	77.99	674.42
19	1970	164.75	178.07	170.28	49.11	8.55	0.97	3.57	10.77	37.96	31.17	24.30	157.75	837.23
20	1971	149.70	301.03	61.06	65.23	6.06	5.02	2.41	14.57	32.57	25.63	89.58	126.39	879.25
21	1972	267.37	185.83	140.13	19.16	10.84	1.76	4.71	2.61	27.18	14.20	42.53	139.39	855.72
22	1973	270.67	173.46	151.86	100.23	6.21	2.25	8.73	18.15	43.20	39.71	28.28	61.38	904.13
23	1974	248.76	333.79	67.17	142.88	44.78	4.13	0.13	103.26	18.14	33.44	24.38	68.93	1,089.79
24	1975	176.52	240.06	138.66	18.83	41.56	15.74	0.85	11.37	37.74	84.07	26.38	252.85	1,044.63
25	1976	299.73	185.78	123.98	22.40	32.76	1.70	1.91	44.79	65.01	7.58	5.93	60.42	851.98
26	1977	90.19	231.51	225.81	4.91	0.45	0.00	14.67	1.63	57.74	56.98	77.46	101.64	863.00
27	1978	236.98	106.46	104.90	20.85	1.45	0.00	4.38	9.64	24.89	3.34	100.97	119.69	733.56
28	1979	190.01	114.44	188.24	64.63	3.87	2.27	11.03	4.78	9.12	41.90	93.38	107.28	830.95
29	1980	167.03	84.67	230.45	16.76	4.07	3.07	9.04	28.52	76.29	48.05	31.47	100.64	800.06
30	1981	150.92	209.22	88.51	52.76	14.88	7.35	1.58	12.54	21.73	28.34	40.47	108.48	736.77
31	1982	163.33	188.46	119.06	52.51	14.89	7.67	0.99	10.63	27.24	26.00	47.48	95.33	753.60
32	1983	174.51	205.31	95.17	45.84	9.40	8.29	1.90	13.50	23.87	25.31	43.37	93.32	739.79
33	1984	227.49	256.76	140.48	49.72	15.56	4.45	3.07	16.90	17.54	55.60	52.33	100.36	940.24
34	1985	130.75	298.80	156.39	96.04	32.39	25.47	3.30	18.50	81.15	25.90	175.51	169.48	1,213.67
35	1986	142.25	267.43	179.59	108.50	4.82	16.84	3.53	25.78	16.98	27.43	31.11	137.48	961.74
36	1987	272.33	73.72	78.03	34.58	3.96	8.21	19.17	2.52	19.16	58.58	132.33	34.73	737.32
37	1988	250.89	64.43	221.69	116.08	10.64	0.27	1.35	8.57	21.62	49.14	20.91	87.55	853.14
38	1989	179.25	154.41	174.13	39.22	10.78	3.83	6.82	14.61	22.46	7.36	35.61	55.78	704.28
39	1990	177.76	46.72	54.92	48.12	17.58	55.20	5.59	17.71	15.02	68.11	77.18	157.23	741.14
40	1991	121.66	92.52	139.64	63.75	13.55	35.65	4.36	1.79	12.64	48.33	26.15	70.30	630.36
41	1992	156.72	116.21	36.54	24.22	9.51	1.01	2.90	45.99	11.55	29.16	67.44	55.26	556.50
42	1993	209.86	70.23	164.30	42.84	5.47	2.24	0.10	38.66	20.72	55.83	102.22	78.31	790.78
43	1994	166.58	141.28	106.25	56.34	12.78	1.07	1.04	9.16	6.44	13.08	58.84	148.48	721.34
44	1995	123.32	96.93	135.79	18.12	5.96	0.81	0.39	6.15	14.94	21.29	63.19	115.87	602.77
45	1996	212.98	131.92	101.22	32.02	12.94	43.88	8.44	35.38	6.94	20.63	79.29	96.26	781.91
46	1997	272.44	210.33	148.55	64.22	7.72	26.37	2.99	63.20	85.42	33.02	83.56	52.67	1,050.50
47	1998	120.15	89.45	117.14	61.27	15.70	13.39	2.51	21.49	9.61	63.40	59.41	47.74	621.25
48	1999	140.69	234.79	279.65	71.34	23.69	1.64	2.54	2.60	45.15	127.86	18.29	82.94	1,031.19
49	2000	206.66	183.40	129.85	41.16	8.42	9.55	0.63	25.06	11.56	64.85	20.46	84.82	786.44
50	2001	258.96	192.75	208.23	61.20	8.21	18.02	8.27	20.19	15.66	92.27	33.55	85.18	1,002.49
51	2002	163.32	192.09	185.33	103.42	9.09	10.74	27.95	7.79	19.16	38.21	44.94	95.55	897.60
52	2003	214.45	137.22	226.36	43.03	18.03	6.37	3.84	8.20	31.92	32.07	30.97	70.90	823.37
53	2004	264.08	119.42	77.33	49.35	11.04	1.65	22.48	32.84	23.80	19.79	26.85	95.49	744.13
54	2005	141.51	175.52	86.48	36.30	3.07	1.65	13.37	2.40	29.34	47.17	48.42	115.63	700.86
55	2006	209.08	111.44	95.90	56.65	23.42	2.00	3.91	9.46	21.65	34.35	57.65	66.68	692.19
56	2007	148.37	134.35	89.79	52.46	18.11	12.72	1.00	2.60	14.30	43.09	32.58	72.68	622.05
57	2008	188.74	140.69	120.12	46.26	7.60	1.70	0.65	3.30	22.21	32.21	69.66	84.37	717.52
58	2009	142.65	109.92	112.64	35.91	12.91	18.42	2.60	9.21	23.12	34.79	25.95	77.39	605.50
59	2010	186.09	219.90	96.42	22.19	6.30	2.00	1.35	2.35	26.88	37.44	30.81	55.72	687.45
60	2011	166.14	141.90	143.99	65.20	16.56	3.05	0.65	10.79	11.79	15.79	72.06	75.32	723.24
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media	176.78	159.71	131.68	49.25	12.87	7.71	4.32	14.80	27.69	38.62	51.24	90.14	764.81	
Desv. Estandar	51.64	60.60	48.17	25.97	9.57	10.99	5.43	17.36	16.70	21.64	31.17	38.23	145.35	

Fuente: Elaboración Propia



4.5.- DE LA GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

4.5.1.- MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE TMEZ

- Del cálculo de los parámetros del modelo

Para poder generar caudales medios mensuales por el modelo hidrológico propuesto, en donde se calibro los datos estudiados para así poder generar caudales medios mensuales con este método, los cuales se muestran en el cuadro N° 4.11.

En la siguiente grafica adjunto se muestra la comparación de los datos generados por el método de TMEZ con los historiaos para ver su visualización gráfica ver, Grafica N° 4.2

Ejemplo de Procedimiento: (mes de Enero)

- ✓ Precipitación mensual para la cuenca del río zapatilla calculado por el método del Polígono de Thiessen.

AÑO	ENE.
1952	73.97

- ✓ Calculo de la Evapotranspiración Potencial

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

$$CH = 0.166 (100-HR)$$

$$CE = 1.0 + 0.04 \frac{E}{2000}$$

$$2000$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

MF = Factor mensual de latitud; se obtiene del cuadro

TMF = T° media mensual (°F), medida

CH = Factor de corrección para la humedad relativa

CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

HR = Humedad relativa media mensual (%), medida

E = Altitud o elevación del lugar (m.s.n.m).

**FACTOR MENSUAL DE LATITUD MF
PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
SEGÚN HARGRAVES**

Lat. Sur (°)	MESES DEL AÑO											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1	2.288	2.117	2.354	2.197	2.137	1.998	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.050	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.995	2.150	2.240	2.396	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.960	2.126	2.231	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.050	2.363	2.117	1.980	1.820	1.970	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.470	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.233	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.061	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.049	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.852	1.644	1.754	1.976	2.180	2.470	2.497	2.610
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.608	1.719	1.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.872	1.648	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	2.680	2.317	2.340	2.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.430	2.566	2.706
15	2.707	2.326	2.334	2.937	1.700	1.500	1.812	1.867	2.131	2.436	2.583	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.889	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.789	2.068	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.360	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859

Fuente: El Riego - Absalon Vasques Villanueva - 2000

Calculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO HARGREAVES EN BASE A LA TEMPERATURA

CUENCA ZAPATILLA

ETP = MF*TMF*CH*CE EN MM/MES

LATITUD : 16°12'13.6"

TIPO :

DPTO : PUNO

LONGITUD : 69°27'35.7"

PERIODO:

PROV. : COLLAO

ALTITUD : 3970 M.S.N.M.

DISTR. : ILAVE

Nº	DESCRIPCIÓN	UND	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	Días del mes		31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
2	Temperatura media (Tº med)	º C	8.46	8.39	8.00	6.80	4.93	3.79	3.24	4.02	5.48	6.81	8.73	8.42
3	Temperatura media (ºF med) TMF	º F	47.22	47.10	46.41	44.23	40.87	38.81	37.83	39.24	41.86	44.26	47.72	47.16
4	Humedad relativa media (HRmed)	%	68.17	69.80	69.57	62.77	55.30	57.52	52.02	53.72	55.32	55.57	57.58	65.86
5	Factor mensual de latitud mm MF		2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.500	2.610	2.769
6	Factor de correccion por hr CH		0.94	0.91	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
	Elevacion	m	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970
7	factor de correccion de altura CE		1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
8	ETP	MM/MES	130.51	108.47	106.29	91.38	73.50	61.33	64.36	77.84	98.10	119.43	134.43	136.74
9	ETP	MM/DIA	4.21	3.87	3.43	3.05	2.37	2.04	2.15	2.51	3.27	3.85	4.48	4.41

✓ Calculo del excedente

$$T_i = \frac{(P_i - P_o)^2}{P_i + \partial - 2P_o}$$

$$\partial = H_{\max} - H_{i-1} + EP_i$$

$$P_o = C(H_{\max} - H_o)$$

Donde:

P_i = Precipitación en el período comprendido desde el instante $i-1$ al instante i

T_i = Excedente en el período comprendido desde el instante $i-1$ al instante i (mm)

H_{\max} = Capacidad máxima de humedad del suelo (mm)

H_{i-1} = Humedad en el suelo en el instante $i-1$ (mm)

EP = Evapotranspiración potencial desde el instante $i-1$ al instante i (mm)

C = Es un parámetro de excedente

Hmax mm	200
C	0.30
Po mm	73.97
S km2	434.332

$$P_o \text{ (mm)} = 73.97$$

$$\partial = 257.75$$

$$T_i = 14.5$$

$$I_i = 14$$

$$A_{\text{mim}} = 0.15$$

$$A_i = T_i - I_i + A_{\text{SUB}i}$$

$$A_i = 4.04 \text{ m}^3/\text{seg}$$

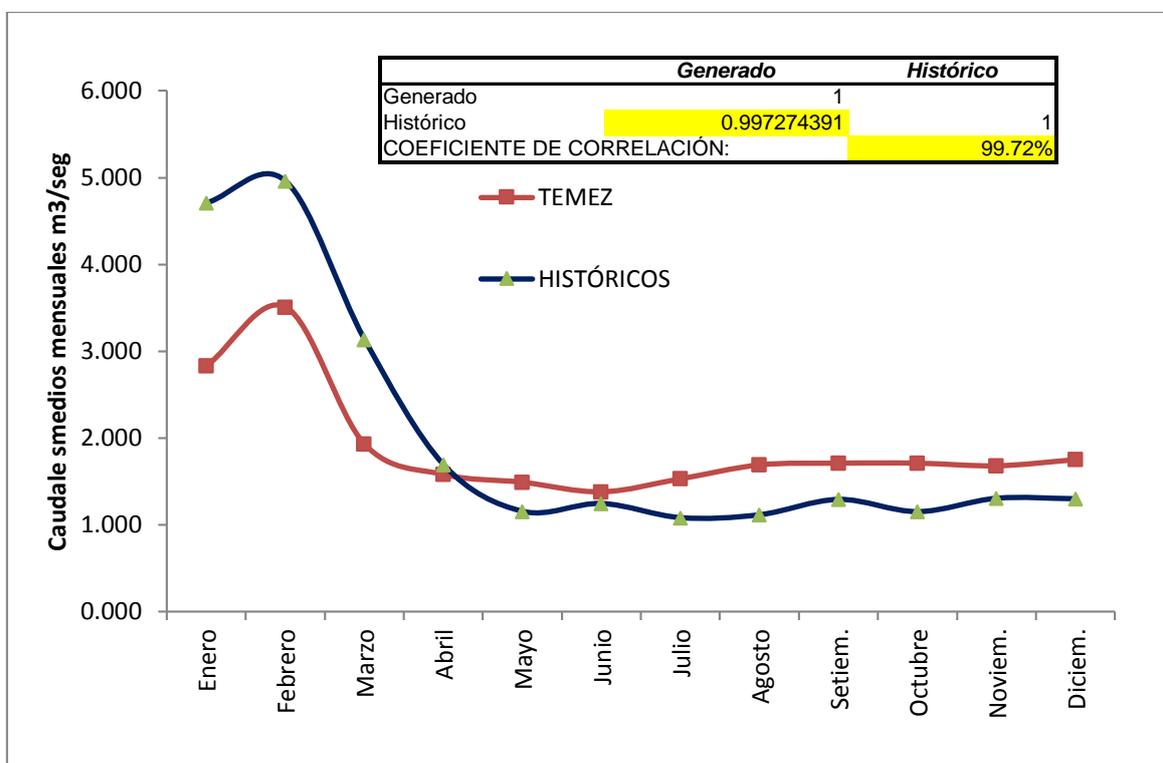
Parámetros utilizados por el método de TEMEZ para la cuenca del río Zapatilla

CUENCA	Parámetros	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
zapatilla (m3/seg)	β	0.900	0.900	0.950	0.950	0.990	0.990	0.990	0.980	1.800	1.850	1.800	1.080
	I_{\max} (mm)	400.000	350.000	250.000	250.000	250.000	250.000	200.000	200.000	200.000	200.000	250.000	300.000

CUENCA	Hmax	C	Po (mm)	S (km2)
Zapatilla	200.000	0.300	70.000	434.332

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°4.2 Comparación Grafica de Caudales Generados por el Método de TEMEZ VS Históricos



Cuadro de datos de Caudales Generados por el Método de TEMEZ y Históricos para la Grafica de Comparación

CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMEZ (m3/seg)	2.830	3.510	1.930	1.580	1.490	1.380	1.530	1.690	1.710	1.710	1.680	1.750	22.790
HISTORICOS (m3/seg)	4.709	4.961	3.135	1.692	1.153	1.243	1.080	1.113	1.290	1.149	1.304	1.298	24.128

Resumen de los Parámetros Utilizados por el Método de TEMEZ para las sub Cuencas Siguietes:

CUENCA	Parámetros	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Camellaque	β	0.900	0.900	0.950	0.950	0.990	0.990	0.990	0.980	1.800	1.850	1.800	1.080
	l max (mm)	450.000	450.000	450.000	350.000	300.000	300.000	250.000	250.000	250.000	250.000	450.000	450.000
Camillaqui	β	0.990	0.900	0.990	0.960	0.950	0.990	0.990	0.990	0.990	0.850	0.800	1.050
	l max (mm)	400.000	350.000	250.000	250.000	250.000	250.000	200.000	200.000	200.000	200.000	250.000	300.000

CUENCA	Hmax	C	Ho (mm)	S (km2)
Camellaque	300.000	0.130	80.000	161.090
Camillaqui	300.000	0.200	50.000	61.640

Fuente: Elaboración Propia

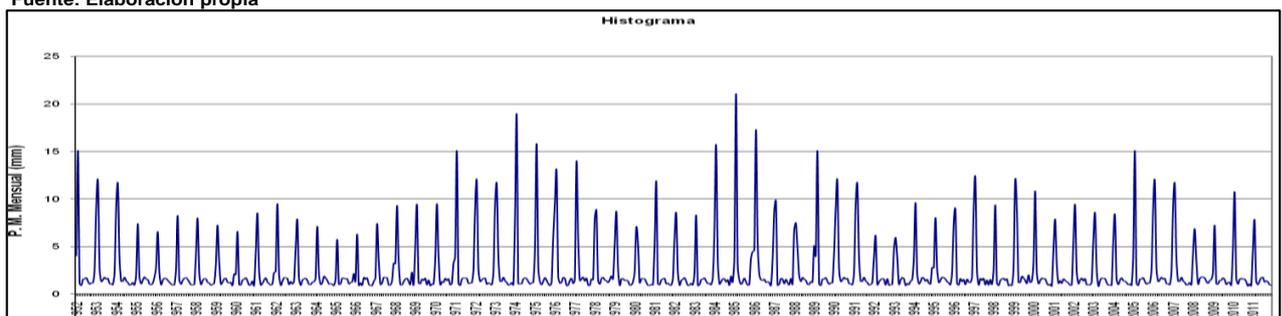
Cuadro N° 4.11

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (m3/s) - CUENCA DEL RIO ZAPATILLA
METODO TEMEZ - PERIODO: 1952- 2011

Area **434.3318** Km2

Año	Ene. 30	Feb. 28	Mar. 31	Abr. 30	May. 31	Jun. 30	Jul. 31	Ago. 31	Set. 30	Oct. 31	Nov. 30	Dic. 31	Prom. (m3/s)
1952	4.04	15.07	1.10	0.90	1.57	1.58	1.72	1.34	1.05	1.18	1.18	2.53	1.98
1953	9.08	11.89	2.65	1.32	1.50	1.76	1.57	1.64	1.10	1.09	0.98	2.30	2.19
1954	9.19	11.61	3.83	1.35	1.35	1.76	1.39	1.23	0.95	1.01	1.21	0.96	1.90
1955	2.00	7.40	1.81	1.08	1.47	1.80	1.58	1.52	1.06	0.99	1.15	1.79	1.97
1956	2.89	6.57	2.25	0.99	1.43	1.66	1.64	1.45	1.26	1.06	0.95	0.99	1.93
1957	2.57	8.26	1.49	1.04	1.45	1.66	1.72	1.54	1.25	1.00	0.97	1.01	2.00
1958	4.10	7.98	2.19	1.02	1.40	1.62	1.60	1.25	1.15	0.95	1.02	1.17	2.12
1959	3.14	7.26	3.34	1.03	1.28	1.60	1.66	1.25	1.16	1.25	0.91	2.14	2.17
1960	2.05	6.59	0.99	0.95	1.47	1.56	1.71	1.38	0.94	1.01	1.37	0.90	1.74
1961	4.49	8.51	2.48	0.95	1.13	1.46	1.70	1.28	1.10	0.95	1.07	2.29	2.28
1962	2.37	9.50	2.06	0.92	1.34	1.71	1.70	1.65	1.01	1.33	1.06	1.33	2.16
1963	4.86	7.83	1.69	0.92	1.46	1.59	1.67	1.44	1.03	1.00	1.23	1.31	2.17
1964	1.65	7.12	2.14	1.03	1.20	1.86	1.68	1.44	1.06	1.10	1.05	0.91	1.85
1965	1.56	5.75	1.03	1.07	1.67	1.68	1.60	1.62	1.09	1.21	1.30	2.16	1.81
1966	1.35	6.30	0.91	1.18	0.92	1.74	1.56	1.70	1.02	0.91	0.90	1.36	1.65
1967	1.70	7.40	3.53	1.01	1.16	1.76	1.73	1.71	0.95	0.96	1.38	3.27	2.21
1968	3.19	9.31	3.52	0.99	0.97	1.31	1.58	1.66	1.34	1.01	2.30	0.99	2.35
1969	5.13	9.38	1.16	1.08	1.57	1.44	1.65	0.97	1.47	0.88	1.08	1.03	2.28
1970	3.69	9.50	4.02	0.98	1.31	1.22	1.65	1.42	1.60	0.97	1.11	3.28	2.55
1971	4.04	15.07	1.10	0.90	1.57	1.70	1.69	1.64	1.12	1.18	1.18	2.53	2.77
1972	9.08	11.89	2.65	1.32	1.50	1.66	1.67	1.05	1.18	1.09	0.98	2.30	3.07
1973	9.19	11.61	3.83	1.35	1.35	1.76	1.39	1.23	0.95	1.01	1.21	0.96	2.99
1974	8.01	18.89	1.09	1.11	1.09	1.60	1.71	1.60	1.31	1.05	1.20	1.22	3.32
1975	4.66	15.82	2.78	1.30	0.98	1.36	1.72	1.45	1.10	0.89	1.21	5.97	3.27
1976	9.52	12.89	1.84	1.15	1.25	1.75	1.65	0.90	0.95	1.43	1.64	1.11	3.15
1977	1.50	13.96	5.89	1.42	1.59	1.77	1.37	1.68	0.95	0.91	1.60	1.50	2.85
1978	7.89	8.80	1.44	1.04	1.63	1.76	1.47	1.41	1.22	1.50	1.91	1.58	2.64
1979	5.22	8.68	2.78	0.92	1.60	1.62	1.43	1.46	1.36	0.95	0.96	1.31	2.36
1980	2.37	7.03	5.35	1.19	1.60	1.61	1.59	1.24	0.94	0.91	1.01	0.96	2.15
1981	5.18	11.85	1.11	0.97	1.48	1.60	1.65	1.08	1.16	0.97	0.93	1.65	2.47
1982	5.86	8.50	2.26	0.92	1.42	1.56	1.72	1.35	0.92	0.96	1.13	0.97	2.30
1983	2.24	8.31	0.90	0.98	1.52	1.57	1.70	1.37	1.10	1.14	0.99	1.75	1.96
1984	6.52	15.71	3.45	1.05	1.32	1.58	1.61	1.28	1.51	0.92	1.89	1.28	3.47
1985	3.79	21.08	3.16	1.46	1.04	1.27	1.67	1.28	0.94	1.00	3.76	4.48	3.74
1986	4.60	17.29	5.52	2.09	1.50	1.45	1.56	1.23	1.30	1.20	0.90	3.54	3.51
1987	8.71	9.77	0.92	1.04	1.64	1.58	1.09	1.55	1.22	0.98	1.64	1.04	2.60
1988	6.71	7.50	4.83	1.96	1.33	1.74	1.56	1.44	1.04	1.00	1.31	1.23	2.64
1989	5.09	4.04	15.07	1.10	0.90	1.57	1.58	1.72	1.34	1.05	1.18	1.18	2.53
1990	4.28	9.08	11.89	2.65	1.32	1.50	1.76	1.57	1.64	1.10	1.09	0.98	2.30
1991	2.25	9.19	11.61	3.83	1.35	1.35	1.76	1.39	1.23	0.95	1.01	1.21	0.96
1992	3.79	6.12	0.98	1.28	1.51	1.63	1.57	0.95	1.62	0.94	1.01	1.02	1.87
1993	4.51	5.94	3.86	1.03	1.46	1.74	1.62	0.91	1.12	1.00	1.36	1.53	2.17
1994	3.72	9.61	2.18	1.09	1.29	1.74	1.65	1.36	1.55	1.14	1.05	2.81	2.43
1995	2.76	8.04	2.66	1.22	1.45	1.77	1.73	1.57	1.32	1.17	0.99	2.26	2.24
1996	7.48	8.89	1.11	0.94	1.62	1.31	1.53	1.00	1.56	1.27	1.22	1.76	2.48
1997	8.90	12.22	2.44	0.95	1.63	1.44	1.65	0.97	1.47	0.96	1.54	1.03	2.93
1998	2.58	9.37	1.16	0.89	1.44	1.59	1.67	1.44	1.60	0.90	0.99	0.91	2.01
1999	2.71	11.97	8.87	1.22	1.23	1.86	1.68	1.44	1.12	2.02	1.22	1.38	3.06
2000	3.25	10.85	2.22	1.11	1.41	1.68	1.60	1.62	1.18	0.93	1.04	0.84	2.27
2001	4.45	7.88	3.11	1.14	1.41	1.13	1.58	1.43	1.29	1.16	0.93	0.96	2.21
2002	5.46	9.39	2.36	1.10	1.46	1.67	1.39	1.62	0.98	1.00	0.97	1.25	2.39
2003	5.58	8.53	2.65	0.84	1.38	1.68	1.66	1.63	1.21	0.95	0.97	0.93	2.33
2004	5.64	8.30	1.53	1.00	1.44	1.71	1.41	1.36	1.21	0.99	1.07	0.92	2.21
2005	4.04	15.07	1.10	0.90	1.57	1.58	1.72	1.34	1.05	1.18	1.18	2.53	2.17
2006	9.08	11.89	2.65	1.32	1.50	1.76	1.57	1.64	1.10	1.09	0.98	2.30	2.05
2007	9.19	11.61	3.83	1.35	1.35	1.76	1.39	1.23	0.95	1.01	1.21	0.96	1.97
2008	4.22	6.87	3.47	1.07	1.60	1.79	1.80	1.70	1.34	1.14	1.42	1.55	2.33
2009	2.27	7.25	1.09	1.03	1.43	1.45	1.70	1.52	1.01	1.21	1.23	0.93	1.84
2010	4.52	10.74	1.68	1.04	1.53	1.66	1.56	1.59	1.30	0.84	1.08	0.87	2.37
2011	4.58	7.79	1.36	0.99	1.37	1.70	1.76	1.28	1.40	1.29	0.99	0.94	2.12
MED.	2.83	3.51	1.93	1.58	1.49	1.38	1.53	1.69	1.71	1.71	1.68	1.75	2.37
D.EST	2.32	3.25	1.49	0.22	0.18	0.19	0.12	0.22	0.19	0.19	0.44	0.96	0.48

Fuente: Elaboración propia



Resumen de los Caudales Medios Multimensuales Calculados por el Método de TEMEZ para las Sub Cuenclas Siguietes:

CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Camellaque (m3/seg)	1.390	2.530	0.750	0.430	0.670	0.650	0.640	0.610	0.632	0.682	0.700	0.730	10.414
Camillaqui (m3/seg)	0.950	1.230	0.520	0.190	0.257	0.248	0.253	0.242	0.224	0.214	0.243	0.365	4.937

4.5.2.- MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ

Para el presente trabajo se ha desarrollado el modelo en toda la cuenca del rio zapatilla en base a la precipitación mensual obtenida sobre la cuenca.

Para determinar la precipitación efectiva desde el punto de vista hidrológico, se ha seleccionado la curva I y II, vale decir PE-I y PE-II, y con los coeficientes de agotamiento, coeficiente de abastecimiento y con la retención de la cuenca, se ha realizado la calibración de modelo para el año promedio mediante una comparación entre los caudales generados y los aforados. Los coeficientes de gasto y abastecimiento, retención de la cuenca y los coeficientes de ponderación de la precipitación efectiva (se muestra en el cuadro N° 4.12) son los principales parámetros que varían en el proceso de calibración. Se han calibrado los caudales generados y aforados y se observa que son semejantes, por lo tanto se dice que el modelo es bueno.

Los caudales generados en mm/mes y m3/mes por el método de LUTZ SCHOLZ se muestran en el cuadro anexo 7.4, se muestran los caudales generados para las sub cuencas como son camellaque, camillaqui.

. Caudales medios mensuales en m3/seg. A continuación se presenta un breve procedimiento del que se realizo para llegar a los resultados deseados.

Ejemplo de Procedimiento: (mes de Enero)

- ✓ Precipitación mensual para la cuenca del rio zapatilla calculado por el método del Polígono de THIESEN

$$PE=0.209*187.00+0.429*51.40+0.361*35.50$$

$$PE = 73.97 \text{ mm.}$$

AÑO	ENE.
1952	73.97

- ✓ Calculo de la Precipitación Efectiva mensual

$$PE = C1*PE-II + C2*PEIII$$

Donde:

$$a_0 = 0$$

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

a_i = Coeficiente del polinomio.

$$PE = a_0 + a_1 * P + a_2 * P^2 + a_3 * P^3 + a_4 * P^4 + a_5 * P^5$$

$$PEI = -0.0185*73.97-0.001105*73.97^2-1.2E-05*73.97^3+1.44E-07*73.97^4-2.8E-10*73.97^5$$

$$PEI = 27.67 \text{ mm.}$$

$$PEII = 0.1358*73.97- 0.002295*73.97^2+4.35E-05*73.97^3-8.90E-08*73.97^4-8.79E-11*73.97^5$$

$$PE II= 12.23 \text{ mm.}$$

$$PE = C1*PE-II+ C2*PEII$$

$$PE = 39.90 \text{ mm.}$$

Año	Enero
1952	39.90

- ✓ Coeficiente de Agotamiento (a)

$$a = -0.00252 * \ln AR + 0.030$$

$$a = -0.00252*\ln(7720.23)+0.030$$

$$a = 0.0147$$

- ✓ Retención de al Cuenca (R)

$$60.00 \text{ mm/año}$$

- ✓ Relación entre caudales del mes actual y anterior (bi)

abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre
0.644	0.014	0.266	0.171	0.110	0.071	0.046

- ✓ Coeficiente de abastecimiento en % de precipitación (ai)

enero	febrero	marzo	noviembre	diciembre
0.40	0.20	0.00	0.05	0.35

- ✓ Abastecimiento de la retención

$$A = (a * R) / 100$$

Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
24.00	12.00	0.00	3.00	21.00

- ✓ Gasto de retención Gi en (mm/mes)

Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
22.41	14.42	9.28	5.97	3.84	2.47	1.59

- ✓ Generación del caudal: (mm/mes)

$$Q_i = PE - A_i$$

$$Q_i = 26.20 \text{ mm/mes}$$

- ✓ Generación del caudal: (m3/seg)

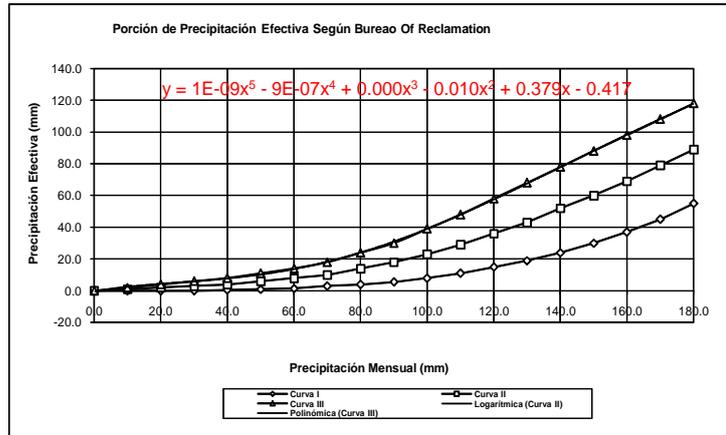
26.20	mm	1 mes	1 dia	1 hra
	mes	31 dias	24 hras	3600 seg
26.20	mm	1 lt/m2	434.33 km2	1000^2 m2
		1 mm		1 km2
31*24*3600	seg			
22.74*434.33*1000	lt	1 m3		
31*24*3600	seg	lt		

$$Q_{m3/seg} = 4.35 \text{ m}^3/\text{seg}$$

**SUSTENTO Y CALCULO EN HOJA ELECTRONICA EXCEL
GENERACION CAUDALE SMEDIOS MENSUALES PARA LA CUENCA DEL RIO ZAPATILLA**

Precipitación Efectiva según el Bureau of Reclamation

P mm	P. Efectiva: PE (mm)		
	Curva I	Curva II	Curva III
0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	1.0	2.0
20.0	0.0	2.0	4.0
30.0	0.0	3.0	6.0
40.0	0.5	4.0	8.0
50.0	1.0	6.0	11.0
60.0	1.5	8.0	14.0
70.0	3.0	10.0	18.0
80.0	4.0	14.0	24.0
90.0	5.5	18.0	30.0
100.0	8.0	23.0	39.0
110.0	11.0	29.0	48.0
120.0	15.0	36.0	58.0
130.0	19.0	43.0	68.0
140.0	24.0	52.0	78.0
150.0	30.0	60.0	88.0
160.0	37.0	69.0	98.0
170.0	45.0	79.0	108.0
180.0	55.0	89.0	118.0
	0.15	0.3	0.5



Cálculo del Coeficiente de Escorrentía

Método de la Misión Alemana		Método de L - Turc	
Precipitación Media Anual: P	657.0 mm	Temperatura Media Anual: T	8.086 °C
Evaporación Total Anual: ETP	1202.39 mm	Coefficiente de Temperatura: L	528.6
Coefficiente de Escorrentía: C	0.34	Déficit de Escurrimiento: D	420.2 mm/año
		Coefficiente de Escorrentía: C	0.36

Características Generales de la Microcuenca

Area de la cuenca: A	434.332	Km2
Altitud Media de la Microcuenca: H	3970.315	msnm
Pendiente Media de la Microcuenca	0.004	m/m
Precipitación Media Anual: P	657.021	mm
Evaporación Total Anual: ETP	1202.389	mm
Temperatura Media Anual: T	8.086	°C
Déficit de Escurrimiento: D	420.187	mm/año
Coefficiente de Escorrentía: C	0.360	
Coefficiente de Agotamiento: a	0.015	
Relación de Caudales (30 días): bo	0.644	
Area de lagunas y acuíferos	0.000	Km2
Gasto Mensual de Retención: R	60.000	mm/año

Coefficientes de Cálculo - Precipitación Efectiva

Coef.	Curva I	Curva II	Curva III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.00185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1.204E-05	0.00004349	0.00005534
a4	1.44E-07	-8.9E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

El rango de aplicación de los coeficientes de la ecuación Polinómica de la PE está comprendida para 0 < P < 250 mm

GENERACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO CUENCA DEL RIO ZAPATILLA

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS		historico m3/s
		P Total mm/mes	Efectiva			Gasto		Abastecimiento		mm/mes t	m3/s	
			PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE mm/mes	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Enero	30	151.96	36.68	65.65	45.4			0.400	24.0	26.34	4.41	4.709
Febrero	28	132.17	23.71	47.55	30.9			0.200	12.0	24.52	4.40	4.961
Marzo	31	110.31	13.75	30.80	18.9			0.000	0.0	17.95	2.91	3.135
Abril	30	41.82	1.38	4.56	2.3	0.644				8.34	1.40	1.692
Mayo	31	10.56	0.09	1.23	0.4	0.414	22.41			6.88	1.12	1.153
Junio	30	5.43	0.02	0.68	0.2	0.266	9.28			6.84	1.15	1.243
Julio	31	3.17	0.00	0.41	0.1	0.171	5.97			5.65	0.92	1.080
Agosto	31	12.50	0.13	1.42	0.5	0.110	3.84			8.19	1.33	1.113
Setiem.	30	23.70	0.46	2.48	1.1	0.071	2.47			7.99	1.34	1.290
Octubre	31	34.72	0.96	3.63	1.8	0.046	1.59			7.58	1.23	1.149
Noviem.	30	49.04	1.90	5.73	3.0			0.050	3.0	6.54	1.10	1.304
Diciem.	31	81.65	6.03	15.18	8.8			0.350	21.0	8.21	1.33	1.298
AÑO		657.0	85.1	179.3	113.4	1.723	60.0	1.000	60.0	113.8	22.6	24.1
Coefficientes		0.36	-0.611	1.611	1.000							

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.1 GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS

4.5.2.1.1 GENERACIÓN CON EL MODELO MARCOVIANO DE PRIMER ORDEN

El modelo hidrológico presentado anteriormente (de Lutz Scholz) permite Estimar los caudales del año promedio de las subcuencas de la cuenca del río Zapatilla con una precisión satisfactoria.

Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de caudales sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un periodo extendido.

Un método apropiado para la generación de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso, que vendría a ser la precipitación efectiva.

Ecuación general del modelo marcoviano

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

La variable de impulso considerada la Precipitación efectiva

$$Q = g(PE_t)$$

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

$$Z = z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Finalmente, la ecuación integral para la generación de caudales mensuales combinando los componentes citados, se escribe.

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

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes t

B_i : Coeficientes de la regresión lineal múltiple

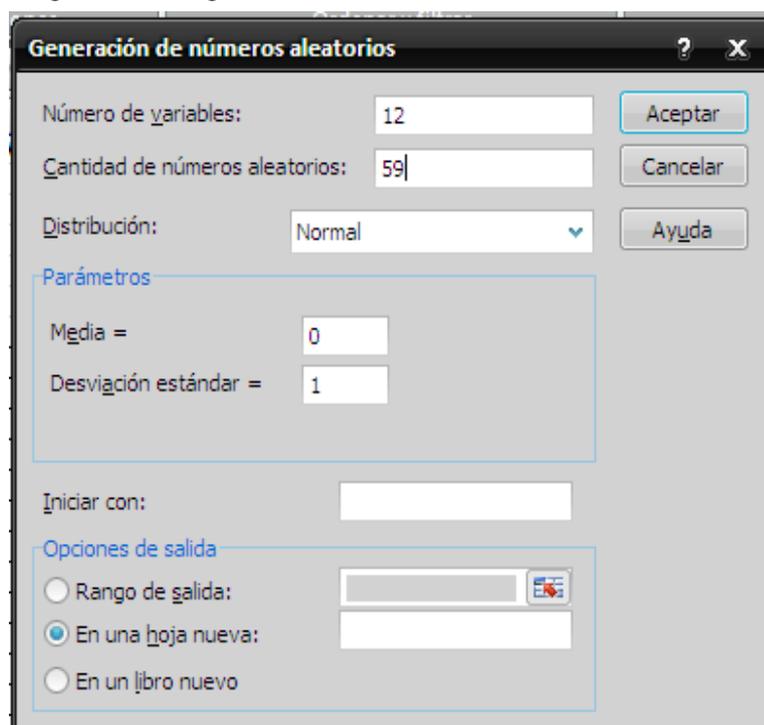
- S : Error estándar de la regresión múltiple
- r : Coeficiente de correlación múltiple
- z : Número aleatorio normalmente distribuido $(0,1)$ del año t

El valor inicial de Q_{t-1} puede ser del caudal promedio del mes, o el caudal aforado del mes, o empezar con cero.

- No es necesario identificar las curvas características para cada año puesto que se identificaron al calcular la precipitación efectiva representativa.
- Los coeficientes de ponderación son los mismos.
- Con las ecuaciones de las curvas características multiplicadas con su respectivo coeficiente de ponderación, nos dará PE de ese mes.

Se efectúa en una hoja de cálculo Excel de la siguiente manera:

Abrimos Excel – datos – análisis de datos – aceptar en generación de números aleatorios. Figura N° 4.1 generación numero aleatorios - Excel



Fuente: hoja calculo Excel

Los valores de los números aleatorios para caudales con media cero y variancia uno se presenta a continuación:

cuadro:4.12

NUMEROS ALEATORIOS GENERADOS CON DISTRIBUCION NORMAL
PERIODO: 1952-2011

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1952	0.54	0.25	0.49	1.37	0.87	0.67	0.08	-0.11	-1.23	0.46	-0.06	0.88
1953	-0.28	-1.89	-1.52	-0.32	1.40	-0.80	2.32	1.01	0.66	-1.40	-1.10	0.63
1954	-0.40	0.49	-0.14	-0.29	0.50	0.34	-1.81	-0.66	0.00	-2.80	-0.15	0.83
1955	0.58	0.00	-0.22	0.49	2.13	0.58	-0.90	0.52	-1.04	-1.02	0.19	1.60
1956	0.22	1.63	1.18	1.24	-0.28	1.36	1.42	0.81	-1.13	1.07	-0.86	1.26
1957	-0.40	0.70	-0.04	-0.79	-0.23	0.80	1.17	-1.31	1.38	0.74	0.26	-0.28
1958	-0.58	-2.03	0.03	0.08	0.41	-0.82	0.64	-0.62	1.20	-1.05	-0.39	-0.46
1959	0.14	-0.91	-0.28	0.91	1.67	-1.45	-0.45	0.47	1.28	2.57	-1.06	1.08
1960	-0.59	0.40	-0.97	0.23	-0.48	-1.58	1.06	0.10	-0.52	1.62	0.30	-1.46
1961	1.36	-0.07	1.56	-0.18	0.85	-1.39	0.89	-1.19	0.13	-0.79	0.89	-0.66
1962	0.67	0.76	0.74	-0.83	-0.73	1.77	-0.18	-0.75	-0.69	-0.11	2.28	-0.09
1963	0.29	0.05	1.74	-1.86	0.29	-2.20	-0.83	-0.06	0.46	1.26	0.25	-0.19
1964	0.28	-0.89	-0.72	0.41	-0.09	2.58	-0.02	-0.15	0.63	0.16	2.34	-0.47
1965	-2.90	1.48	0.72	-0.65	0.59	-0.84	0.17	-0.50	-0.53	1.79	0.62	0.42
1966	-1.36	1.26	-0.02	-0.49	0.01	-1.43	-0.96	-1.06	1.10	-1.64	-1.31	0.65
1967	-0.96	-1.00	0.69	0.33	-0.21	-0.90	2.05	-0.52	0.39	0.94	0.31	0.87
1968	-0.25	-1.59	0.39	-1.17	0.31	1.08	-2.06	-1.10	1.06	-0.20	-0.68	0.12
1969	0.58	-0.61	-1.14	-0.25	-0.26	-0.21	-0.22	0.17	-0.49	-2.61	1.97	1.96
1970	0.16	0.13	-0.64	0.95	-0.25	-0.72	-0.01	0.35	-0.65	-0.40	0.06	-0.52
1971	0.33	-0.44	0.54	-1.56	-0.41	0.20	0.71	0.18	-0.15	-0.27	2.28	1.31
1972	-0.43	-0.90	0.62	0.65	-0.44	-0.05	0.11	0.11	-0.68	0.60	1.26	2.04
1973	-0.66	-0.26	1.40	-0.24	0.13	0.11	-2.92	0.41	-1.05	-1.03	0.52	1.66
1974	-0.69	0.03	1.03	-0.99	0.15	-2.33	-0.53	-0.61	-1.55	-0.22	-1.08	-0.59
1975	-0.17	-0.85	1.21	-0.52	0.87	1.46	-0.09	-0.69	2.56	-0.80	-0.13	0.49
1976	0.93	-0.55	-0.19	-0.23	0.75	0.72	1.59	-0.73	0.13	0.05	1.11	0.03
1977	0.68	-0.40	0.33	-1.99	-0.63	-0.49	-0.71	0.22	0.30	-0.21	-0.09	-1.14
1978	1.12	0.10	-1.34	0.04	-0.88	-0.74	0.44	1.71	1.21	-0.32	0.45	-0.94
1979	1.29	-0.65	-0.22	-0.73	0.07	-1.59	0.52	-0.78	-0.07	-0.58	0.23	0.23
1980	1.29	-0.66	-0.93	0.00	0.43	-1.55	0.72	0.84	-0.43	-1.34	-0.20	-1.29
1981	-0.89	0.41	-0.79	0.25	1.02	0.66	-1.02	2.08	0.51	-0.30	-1.21	-0.89
1982	0.58	0.62	0.70	-0.56	1.77	-0.37	0.91	-0.48	-0.79	0.73	0.31	-0.69
1983	-1.13	0.54	-0.50	-2.58	-0.27	-0.61	0.34	0.52	-1.23	-0.35	0.62	1.27
1984	-1.40	0.01	0.86	-0.63	-1.27	0.10	-1.41	-0.73	1.66	-0.48	2.55	-1.12
1985	-0.72	0.72	2.14	-0.17	0.60	0.07	0.78	-0.09	-0.38	0.20	0.39	-0.41
1986	0.03	1.45	-0.13	-0.19	1.14	1.13	1.33	-1.58	-0.65	1.35	-1.31	1.09
1987	1.05	0.82	-0.31	-0.20	-0.43	0.62	1.19	0.16	-1.29	-0.38	0.79	-1.32
1988	-0.70	-0.32	-0.28	-0.87	-0.13	0.19	-0.33	-0.51	-0.15	-1.55	-1.27	0.86
1989	-0.98	-0.37	-0.11	-0.94	-0.47	-0.29	-1.92	-2.03	-0.10	1.08	-1.21	0.52
1990	-0.66	-1.54	-0.16	0.87	-1.15	0.32	1.71	-0.37	1.01	-0.51	0.57	1.19
1991	-0.46	-0.70	-1.36	-0.51	-0.80	0.96	-0.33	0.70	-0.11	0.38	-1.13	-0.66
1992	-0.02	-0.01	-1.11	-0.26	-0.80	-1.23	-0.23	1.51	-0.28	0.10	-0.88	-0.02
1993	0.48	0.68	-0.65	-0.93	1.28	-0.08	0.14	-0.27	0.41	0.75	-0.15	0.39
1994	-1.10	0.14	0.16	0.31	-2.64	-0.68	0.52	-0.77	-0.58	1.97	-0.06	-1.71
1995	-0.89	0.19	-0.18	1.22	0.49	0.15	-0.78	0.40	1.38	0.12	-0.03	-0.19
1996	-1.57	-0.95	-0.71	2.11	1.41	-1.87	-1.21	0.17	0.85	0.52	0.04	-1.13
1997	0.99	-0.54	2.03	1.19	-0.05	0.54	0.39	-0.18	-0.72	1.57	-0.34	-0.73
1998	-0.30	0.45	-1.17	0.63	0.66	-0.04	-0.08	1.14	-0.68	1.15	0.32	-0.46
1999	-0.37	0.07	0.88	-0.93	-1.34	1.24	0.24	-0.17	0.77	0.24	0.88	1.98
2000	-1.03	0.61	0.80	-0.18	2.60	0.13	-0.14	0.12	2.27	0.21	-1.79	0.20
2001	1.18	0.52	-1.61	-0.82	0.46	-0.83	-1.22	-0.04	2.16	-0.16	-0.61	0.02
2002	-1.02	1.39	0.53	-1.45	-0.20	0.26	-1.53	-1.13	0.39	-0.70	0.10	-0.49
2003	1.20	-0.25	1.39	-0.47	-0.51	-1.04	0.33	-0.13	0.87	1.90	-1.09	-2.75
2004	1.00	1.47	0.29	1.62	0.31	0.20	-0.62	0.00	-0.18	0.57	-0.63	-2.13
2005	-1.08	-0.15	0.37	1.19	0.28	0.26	-1.31	0.73	-1.28	-1.05	-1.45	1.52
2006	-0.24	-0.28	-1.32	2.57	0.83	0.68	0.35	0.71	0.03	2.16	0.23	0.26
2007	1.03	-0.14	0.25	-3.10	0.34	-0.30	-0.68	0.31	-1.30	1.15	-0.04	0.48
2008	1.55	-0.48	-0.93	1.19	0.32	-1.29	-0.74	0.51	0.39	-0.04	-1.00	-0.55
2009	1.27	-1.10	0.00	1.16	0.64	-0.10	-1.94	0.65	-1.71	-0.98	-1.26	0.70
2010	0.73	-0.95	-1.05	0.42	-0.72	-0.42	0.14	1.18	0.98	-1.68	-1.83	-1.01
2011	-0.79	-0.76	0.63	0.84	0.47	0.69	-1.39	0.86	1.57	1.19	0.56	0.41
MAX.	1.4	1.6	1.7	1.4	2.1	2.6	2.3	1.7	2.6	2.6	2.3	2.0
MED.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIN.	-2.9	-2.0	-1.5	-2.0	-0.9	-2.3	-2.9	-1.3	-1.5	-2.8	-1.3	-1.5
D.EST	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Elaboración propia

Los valores de los coeficientes B_0 , B_1 , B_2 , r y S se calculan al desarrollar la regresión múltiple con los datos de caudales mensuales para el año promedio

GENERACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO CUENCA DEL RIO ZAPATILLA

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS		historico m3/s
		P Total mm/mes	Efectiva			Gasto		Abastecimiento		mm/mes t	m3/s	
			PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE mm/mes	bi mm/mes	Gi mm/mes	ai mm/mes	Ai mm/mes			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Enero	30	151.96	36.68	65.65	45.4			0.400	24.0	26.34	4.41	4.709
Febrero	28	132.17	23.71	47.55	30.9			0.200	12.0	24.52	4.49	4.961
Marzo	31	110.31	13.75	30.80	18.9			0.000	0.0	17.95	2.91	3.135
Abril	30	41.82	1.38	4.56	2.3	0.644	22.41			8.34	1.40	1.692
Mayo	31	10.56	0.09	1.23	0.4	0.414	14.42			6.88	1.12	1.153
Junio	30	5.43	0.02	0.68	0.2	0.266	9.28			6.84	1.15	1.243
Julio	31	3.17	0.00	0.41	0.1	0.171	5.97			5.65	0.92	1.080
Agosto	31	12.50	0.13	1.42	0.5	0.110	3.84			8.19	1.38	1.113
Setiem.	30	23.70	0.46	2.48	1.1	0.071	2.47			7.99	1.34	1.290
Octubre	31	34.72	0.96	3.63	1.8	0.046	1.59			7.58	1.23	1.149
Noviem.	30	49.04	1.90	5.73	3.0			0.050	3.0	6.54	1.21	1.304
Diciem.	31	81.65	6.03	15.18	8.8			0.350	21.0	8.21	1.33	1.298
AÑO		657.0	85.1	179.3	113.4	1.723	60.0	1.000	60.0	113.8	22.9	24.1
Coefficientes		0.36	-0.611	1.611	1.000							

Fuente: Elaboración propia

CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION PARA EL AÑO PROMEDIO

Qt	Qt-1	PE
28.010	12.050	45.370
28.300	28.010	30.860
17.950	28.300	18.862
9.510	17.950	2.333
6.882	9.510	0.432
6.840	6.882	0.217
5.650	6.840	0.126
8.190	5.650	0.517
9.250	8.190	1.065
7.580	9.250	1.761
9.540	7.580	3.048
12.050	9.540	8.773

Fuente: Elaboración propia

Calculo de los coeficientes B₀, B₁, B₂, r y S mediante regresión simple

Resultado de la regresión

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98436261 R ²
Coefficiente de determinación R ²	0.96896974
R ² ajustado	0.96207413
Error típico	1.55538009 S
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	679.8927334	339.9463667	140.5197388	1.63318E-07
Residuos	9	21.77286499	2.419207221		
Total	11	701.6655984			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	b1	5.62194579	0.86819386	6.475449843	0.000114683	3.657954838	7.585936746	3.657954838	7.585936746	-6.535473782	7.488278873
Variable X 1	b2	0.19566805	0.070337804	2.781833325	0.021336733	0.036552881	0.354783216	0.036552881	0.354783216	0.201041621	0.512840565
Variable X 2	b3	0.46739737	0.038095121	12.26921867	6.37249E-07	0.381220222	0.553574525	0.381220222	0.553574525	0.503876073	0.752291601

b1	5.621945792	b2	0.195668049	b3	0.467397374
S	1.555380089	R ²	0.984362607		

Cuadro N° 4.13 precipitación efectiva generada cuenca del rio zapatilla

PRECIPITACION EFECTIVA GENERADA CUENCA DEL RIO ZAPATILLA
PERIODO: 1952-2011

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
1952	39.90	6.60	5.40	0.30	7.30	10.20	9.50	7.50	1.30	1.40	1.00	4.60	95.00
1953	28.70	35.40	16.90	0.10	4.70	9.60	9.30	3.00	0.70	2.30	1.90	13.40	126.00
1954	13.00	9.40	2.90	0.80	6.40	9.40	9.50	10.10	0.30	2.20	9.30	1.70	75.00
1955	10.50	19.90	11.90	1.60	6.50	10.70	9.20	7.80	2.00	1.40	2.60	10.90	95.00
1956	20.10	7.00	17.20	0.10	7.00	8.60	9.00	6.80	4.50	1.50	0.50	0.50	82.80
1957	18.40	28.60	7.70	1.60	7.20	8.80	10.20	8.90	3.40	0.80	0.20	1.40	97.20
1958	38.00	24.70	16.90	0.90	6.30	9.00	8.80	4.70	2.20	0.90	1.10	3.60	117.10
1959	25.00	11.90	32.10	0.80	4.10	9.00	10.00	4.30	2.30	3.40	0.00	15.70	118.60
1960	8.90	1.60	1.50	0.00	7.60	8.60	10.10	6.20	0.20	0.60	5.40	0.40	51.10
1961	42.40	37.60	20.00	0.20	2.50	7.20	10.00	5.30	2.00	0.80	1.20	18.40	147.60
1962	12.10	33.00	14.80	0.10	5.90	9.10	10.50	10.00	1.10	5.50	0.60	5.50	108.20
1963	46.50	17.20	9.60	0.50	7.10	9.20	10.30	7.00	0.90	0.60	3.60	5.30	117.80
1964	5.60	8.70	16.50	0.90	3.80	10.70	10.20	7.10	1.30	2.40	0.40	0.20	67.80
1965	6.80	0.80	1.20	1.90	9.80	9.80	9.00	9.50	2.10	3.20	4.30	16.30	74.70
1966	0.20	8.40	0.00	3.30	0.10	10.80	8.90	10.80	0.60	0.70	0.00	5.60	49.40
1967	6.60	27.40	34.20	0.70	3.30	10.80	10.00	10.70	0.00	0.20	5.50	30.70	140.10
1968	20.40	33.50	34.20	1.10	0.60	4.30	9.70	10.30	4.60	1.40	17.60	1.00	138.70
1969	50.70	30.40	3.80	1.90	8.80	8.70	10.60	9.10	3.00	0.70	0.90	0.80	129.40
1970	32.40	33.50	41.30	0.10	5.30	10.20	9.60	7.20	0.70	0.90	2.10	31.50	174.80
1971	30.90	91.70	2.30	0.10	8.80	8.10	10.40	5.60	1.40	3.70	2.10	20.80	185.90
1972	97.50	48.60	22.70	4.60	7.90	10.50	8.60	9.60	2.30	2.10	0.00	17.50	231.90
1973	99.70	35.40	37.90	5.30	5.70	10.40	7.50	4.00	0.60	1.70	3.20	0.00	211.40
1974	88.00	124.60	1.90	2.50	2.30	9.40	10.80	9.40	5.30	1.90	3.70	4.30	264.10
1975	44.40	79.80	24.20	4.80	0.60	4.70	10.70	7.40	1.00	0.10	3.50	66.60	247.80
1976	115.50	45.20	12.30	2.80	4.10	10.00	9.10	0.10	0.10	6.80	8.50	2.60	217.10
1977	4.00	61.60	65.60	6.90	9.20	10.80	6.30	10.00	0.00	0.10	8.50	8.30	191.30
1978	84.30	8.70	7.50	1.20	9.80	10.80	7.20	5.90	3.00	7.90	12.20	9.20	167.70
1979	50.00	13.30	24.70	0.00	9.00	9.30	6.60	7.60	5.40	0.80	0.10	5.20	132.00
1980	14.30	2.00	58.90	3.20	8.90	9.20	8.70	4.00	0.10	0.50	1.00	1.20	112.00
1981	52.00	64.80	2.90	0.20	7.10	8.10	10.20	1.40	2.60	0.90	0.40	10.10	160.70
1982	58.30	16.30	17.50	0.00	6.00	8.00	10.30	6.00	0.00	0.30	2.30	1.00	126.00
1983	14.50	18.60	0.00	1.60	8.10	8.30	10.20	5.80	2.50	3.10	0.30	10.50	83.50
1984	112.80	117.10	33.10	1.70	5.90	8.10	9.80	5.10	6.50	0.30	11.10	5.30	316.80
1985	33.30	136.50	28.80	6.70	1.40	4.10	9.70	4.90	0.10	1.10	35.80	47.30	309.70
1986	35.10	83.70	60.90	14.70	7.30	6.00	8.00	4.80	4.90	3.20	0.00	34.20	262.80
1987	90.20	1.00	0.70	1.50	9.90	7.70	2.50	8.10	3.60	0.70	9.40	2.00	137.30
1988	70.90	0.50	52.20	13.10	5.80	10.70	8.70	6.40	1.40	1.10	5.10	4.20	180.10
1989	49.60	19.10	31.90	0.40	5.90	8.10	7.00	5.00	2.50	2.40	0.50	0.00	132.40
1990	40.70	0.20	0.30	0.00	3.30	0.20	7.40	3.20	6.10	2.90	6.90	24.90	96.10
1991	10.00	4.40	22.80	0.40	5.80	1.60	8.00	9.20	3.80	0.00	2.80	1.70	70.50
1992	34.30	5.80	1.20	3.40	7.30	9.50	9.20	0.50	8.30	0.10	0.80	1.90	82.30
1993	42.50	3.50	38.10	0.60	7.30	10.00	9.20	0.00	2.60	0.50	5.50	8.40	128.20
1994	31.60	37.20	17.20	1.60	4.70	10.20	9.80	5.50	8.00	2.50	1.30	25.20	154.80
1995	16.10	11.60	22.70	4.00	7.60	10.00	10.70	8.70	4.50	3.30	0.20	16.90	116.30
1996	78.10	26.90	2.30	0.10	8.30	4.60	8.20	1.10	7.00	4.70	4.30	11.10	156.70
1997	96.60	60.00	20.80	0.50	9.30	6.70	10.30	0.80	5.90	0.70	7.90	1.50	221.00
1998	18.70	12.40	3.10	0.00	7.00	3.50	10.40	7.20	8.20	0.10	0.60	0.20	71.40
1999	19.70	71.40	104.40	3.70	4.40	10.10	10.10	9.70	1.90	13.80	4.00	7.30	260.50
2000	25.50	25.40	17.20	1.50	6.40	9.10	10.20	1.80	3.10	0.00	1.50	0.00	101.70
2001	43.00	15.10	28.90	2.00	6.50	2.30	9.40	6.60	5.00	3.70	0.40	0.00	122.90
2002	55.30	34.40	19.60	1.00	6.90	9.00	6.20	9.00	0.50	0.20	0.20	4.30	146.60
2003	55.60	19.00	22.80	0.00	6.10	9.50	10.10	9.40	3.90	0.00	0.40	0.00	136.80
2004	56.90	17.80	8.60	0.20	6.80	10.30	6.90	5.70	3.30	1.10	2.00	0.30	119.90
2005	30.40	34.60	12.00	0.10	8.70	10.30	8.20	8.80	0.90	1.50	0.60	0.20	116.30
2006	49.70	9.00	3.10	0.20	4.30	10.10	10.10	8.90	3.50	0.70	0.20	2.70	102.50
2007	14.30	22.60	3.90	1.80	6.10	8.50	10.50	10.40	5.70	0.00	0.20	4.50	88.50
2008	38.00	10.80	33.00	1.00	8.20	9.80	10.70	9.70	4.00	1.90	5.10	7.60	139.80
2009	13.00	4.80	2.30	1.20	6.70	6.50	10.40	8.10	0.80	4.00	3.60	0.10	61.50
2010	44.50	62.10	10.80	2.10	8.50	10.10	9.80	9.50	5.20	0.20	2.30	0.00	165.10
2011	43.90	10.60	5.60	0.20	5.70	9.20	10.70	4.50	5.40	4.50	0.20	0.00	100.50
MAX.	115.50	136.50	104.40	14.70	9.90	10.80	10.80	10.80	8.30	13.80	35.80	66.60	316.80
MED.	40.50	30.73	19.58	1.90	6.23	8.47	9.22	6.60	2.90	1.93	3.62	8.94	140.61
MIN.	0.20	0.20	0.00	0.00	0.10	0.20	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.40
D. EST	28.79	31.34	19.60	2.79	2.34	2.43	1.50	2.95	2.28	2.32	5.55	12.60	62.27

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.14 Generación caudales medios mensuales mm/mes cuenca del rio zapatilla

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (mm) - CUENCA DEL RIO ZAPATILLA PERIODO: 1952-2011

Coefficientes de Regresión Múltiple:

b1	5.622	b2	0.196	b3	0.467
S	1.555	R^2	0.984		

Modelo Matemático:

$$Qt = b1 + b2*Qt-1 + b3*PEt + Z*S*(1 - R^2)^{0.5}$$

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
Prom.	26.34	24.52	17.95	8.34	6.88	6.84	5.65	8.19	7.99	7.58	6.54	8.21	135.03
1952	25.98	35.18	8.24	6.03	9.20	10.52	10.08	9.11	5.99	6.37	6.08	7.94	140.71
1953	20.54	49.33	13.23	5.61	8.09	9.95	10.42	7.22	6.08	6.42	6.30	12.01	155.19
1954	13.97	40.48	6.95	5.94	8.71	10.08	9.71	10.21	5.76	6.11	9.94	6.58	134.44
1955	11.93	41.23	11.14	6.47	9.07	10.74	9.75	9.37	6.35	6.08	6.87	11.03	140.02
1956	17.22	36.61	13.89	5.91	8.84	9.91	10.10	8.96	7.51	6.53	5.69	6.10	137.26
1957	15.34	45.98	9.21	6.22	8.94	9.89	10.62	9.53	7.48	6.14	5.77	6.22	141.33
1958	24.49	44.43	13.53	6.06	8.65	9.67	9.86	7.70	6.88	5.84	6.06	7.22	150.37
1959	18.75	40.43	20.57	6.17	7.86	9.55	10.21	7.72	6.95	7.71	5.42	13.17	154.50
1960	12.24	36.68	6.13	5.67	9.08	9.34	10.55	8.54	5.61	6.22	8.20	5.52	123.79
1961	26.79	47.40	15.27	5.68	6.95	8.72	10.47	7.87	6.58	5.84	6.36	14.09	162.03
1962	14.17	52.90	12.68	5.51	8.24	10.22	10.49	10.15	6.00	8.17	6.35	8.18	153.05
1963	29.01	43.62	10.45	5.49	9.00	9.49	10.27	8.88	6.13	6.15	7.35	8.06	153.91
1964	9.87	39.63	13.19	6.12	7.38	11.12	10.38	8.91	6.35	6.77	6.26	5.62	131.63
1965	9.34	32.04	6.32	6.38	10.32	10.04	9.86	9.97	6.50	7.47	7.75	13.32	129.31
1966	8.06	35.09	5.62	7.07	5.67	10.39	9.60	10.46	6.12	5.63	5.37	8.37	117.44
1967	10.16	41.21	21.74	6.01	7.12	10.49	10.69	10.52	5.70	5.90	8.25	20.14	157.95
1968	19.05	51.88	21.68	5.91	5.96	7.84	9.75	10.22	7.98	6.24	13.72	6.11	166.34
1969	30.63	52.26	7.18	6.46	9.69	9.65	10.53	9.91	6.93	5.44	6.42	6.38	161.48
1970	22.05	52.90	24.80	5.85	8.05	10.25	10.11	9.06	5.82	5.96	6.62	20.24	181.71
1971	24.09	83.95	6.80	5.37	9.66	9.45	10.62	8.27	6.25	7.30	7.05	15.60	194.40
1972	54.16	66.20	16.35	7.90	9.23	10.52	9.66	10.13	6.56	6.72	5.87	14.20	217.50
1973	54.87	64.68	23.61	8.05	8.31	10.50	8.56	7.57	5.70	6.22	7.22	5.95	211.23
1974	47.78	105.20	6.71	6.60	6.73	9.56	10.57	9.90	7.80	6.47	7.14	7.52	231.96
1975	27.81	88.14	17.17	7.76	6.07	8.10	10.61	8.95	6.59	5.51	7.23	36.85	230.79
1976	67.00	71.80	11.33	6.89	7.68	10.44	10.18	5.53	5.69	8.81	9.81	6.84	222.01
1977	8.96	77.78	36.35	8.46	9.80	10.57	8.43	10.34	5.68	5.63	9.58	9.28	200.85
1978	47.06	49.01	8.87	6.19	10.03	10.53	9.07	8.71	7.26	9.25	11.41	9.74	187.13
1979	31.15	48.33	17.12	5.48	9.84	9.66	8.81	9.02	8.13	5.88	5.71	8.10	167.24
1980	14.14	39.15	32.97	7.12	9.87	9.62	9.83	7.65	5.59	5.59	6.05	5.93	153.51
1981	30.91	66.03	6.82	5.76	9.14	9.54	10.19	6.68	6.94	5.98	5.57	10.17	173.74
1982	34.97	47.36	13.94	5.51	8.77	9.29	10.61	8.33	5.47	5.90	6.76	5.96	162.87
1983	13.35	46.29	5.53	5.87	9.35	9.38	10.46	8.43	6.55	7.00	5.88	10.78	138.87
1984	60.18	87.53	21.26	6.29	8.13	9.43	9.93	7.86	8.98	5.67	11.31	7.88	244.46
1985	22.59	117.39	19.50	8.72	6.39	7.55	10.31	7.89	5.59	6.18	22.43	27.65	262.20
1986	27.44	96.33	34.06	12.46	9.26	8.65	9.62	7.56	7.79	7.38	5.37	21.82	247.72
1987	51.96	54.42	5.68	6.22	10.09	9.41	6.73	9.54	7.28	6.02	9.79	6.43	183.60
1988	40.01	41.78	29.80	11.69	8.18	10.38	9.64	8.91	6.22	6.16	7.83	7.58	188.20
1989	30.38	51.51	20.41	5.63	8.63	9.39	8.92	7.91	6.87	6.89	5.83	5.70	168.05
1990	25.55	38.62	5.79	5.68	6.65	5.58	9.18	6.97	8.36	7.36	8.84	16.93	145.51
1991	13.43	36.19	16.24	6.05	8.43	6.40	9.21	10.00	7.67	5.64	6.92	6.38	132.56
1992	22.60	34.09	6.04	7.62	9.31	9.70	9.69	5.89	9.67	5.77	6.00	6.29	132.66
1993	26.91	33.11	23.82	6.13	9.02	10.40	10.00	5.59	6.70	6.16	8.13	9.41	155.38
1994	22.17	53.50	13.43	6.49	7.95	10.38	10.19	8.42	9.23	7.01	6.29	17.31	172.38
1995	16.46	44.79	16.40	7.31	8.91	10.54	10.67	9.65	7.87	7.21	5.89	13.91	159.61
1996	44.65	49.54	6.85	5.63	10.01	7.80	9.43	6.16	9.34	7.86	7.28	10.85	175.39
1997	53.13	68.09	15.03	5.70	10.06	8.59	10.20	5.99	8.80	5.92	9.20	6.33	207.01
1998	15.40	52.19	7.17	5.34	8.85	7.31	10.19	8.77	9.53	5.53	5.92	5.62	141.83
1999	16.16	66.70	54.69	7.26	7.58	10.14	10.41	10.13	6.68	12.44	7.28	8.50	217.96
2000	19.40	60.43	13.72	6.64	8.67	9.91	10.27	6.46	7.04	5.73	6.20	5.21	159.68
2001	26.53	43.89	19.20	6.79	8.71	6.75	9.76	8.85	7.71	7.15	5.53	5.92	156.78
2002	32.58	52.32	14.53	6.59	9.01	9.96	8.59	9.97	5.86	6.14	5.76	7.68	168.98
2003	33.31	47.54	16.33	5.02	8.54	10.00	10.21	10.08	7.19	5.85	5.80	5.71	165.59
2004	33.64	46.25	9.46	5.95	8.86	10.19	8.70	8.38	7.24	6.13	6.36	5.65	156.81
2005	21.18	52.26	11.23	5.90	9.81	10.42	9.08	9.86	5.71	6.13	5.66	5.85	153.09
2006	30.14	39.60	6.87	5.80	7.49	10.26	10.37	10.01	7.45	5.62	5.36	6.69	145.65
2007	13.46	44.54	7.57	6.63	8.56	9.73	10.26	10.65	8.59	5.85	5.82	7.80	139.47
2008	25.18	38.28	21.38	6.36	9.87	10.70	11.07	10.49	7.99	7.01	8.46	9.57	166.36
2009	13.56	40.38	6.74	6.14	8.80	8.63	10.49	9.38	6.02	7.47	7.36	5.73	130.69
2010	26.98	59.82	10.37	6.22	9.42	9.89	9.63	9.81	7.75	5.17	6.44	5.34	166.85
2011	27.35	43.40	8.41	5.89	8.43	10.16	10.86	7.87	8.34	7.97	5.92	5.81	150.41
MAX.	67.00	117.39	54.69	12.46	10.32	11.12	11.07	10.65	9.67	12.44	22.43	36.85	262.20
MED.	26.47	52.79	14.79	6.49	8.58	9.55	9.91	8.71	7.01	6.54	7.32	9.81	167.99
MIN.	8.06	32.04	5.53	5.02	5.67	5.58	6.73	5.53	5.47	5.17	5.36	5.21	117.44
D. EST	13.83	18.12	9.20	1.30	1.10	1.12	0.75	1.37	1.12	1.15	2.62	5.91	33.17

Fuente: Elaboración propia

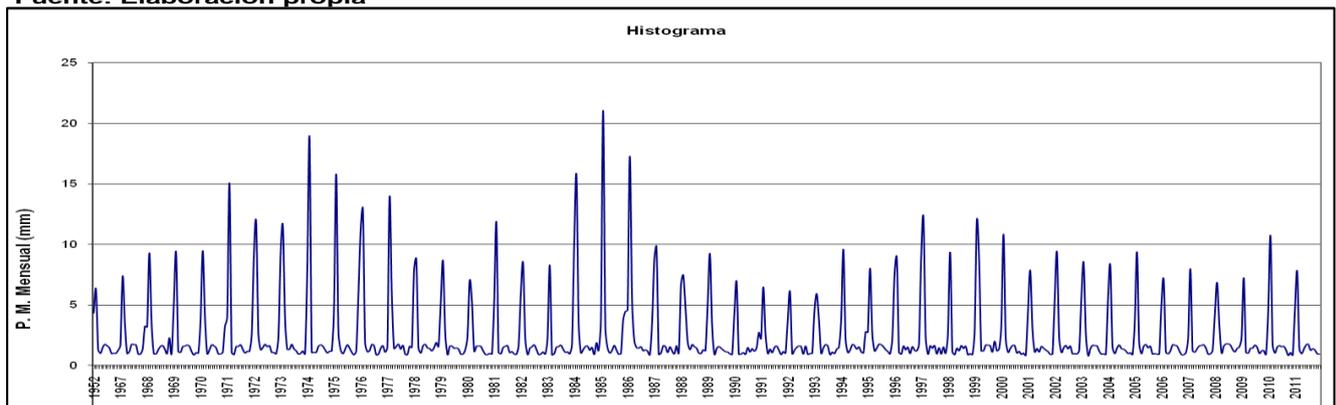
Cuadro N° 4.15 Generación caudales medios mensuales m³/s cuenca del rio zapatilla

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (m³/s) - CUENCA DEL RIO ZAPATILLA
PERIODO: 1952- 2011

Area **434.33** Km²

Año	Ene. 30	Feb. 28	Mar. 31	Abr. 30	May. 31	Jun. 30	Jul. 31	Ago. 31	Set. 30	Oct. 31	Nov. 30	Dic. 31	Prom. (m ³ /s)
1952	4.35	6.32	1.34	1.01	1.49	1.76	1.63	1.48	1.00	1.03	1.02	1.29	1.98
1953	3.44	8.86	2.14	0.94	1.31	1.67	1.69	1.17	1.02	1.04	1.05	1.95	2.19
1954	2.34	7.27	1.13	1.00	1.41	1.69	1.57	1.66	0.97	0.99	1.67	1.07	1.90
1955	2.00	7.40	1.81	1.08	1.47	1.80	1.58	1.52	1.06	0.99	1.15	1.79	1.97
1956	2.89	6.57	2.25	0.99	1.43	1.66	1.64	1.45	1.26	1.06	0.95	0.99	1.93
1957	2.57	8.26	1.49	1.04	1.45	1.66	1.72	1.54	1.25	1.00	0.97	1.01	2.00
1958	4.10	7.98	2.19	1.02	1.40	1.62	1.60	1.25	1.15	0.95	1.02	1.17	2.12
1959	3.14	7.26	3.34	1.03	1.28	1.60	1.66	1.25	1.16	1.25	0.91	2.14	2.17
1960	2.05	6.59	0.99	0.95	1.47	1.56	1.71	1.38	0.94	1.01	1.37	0.90	1.74
1961	4.49	8.51	2.48	0.95	1.13	1.46	1.70	1.28	1.10	0.95	1.07	2.29	2.28
1962	2.37	9.50	2.06	0.92	1.34	1.71	1.70	1.65	1.01	1.33	1.06	1.33	2.16
1963	4.86	7.83	1.69	0.92	1.46	1.59	1.67	1.44	1.03	1.00	1.23	1.31	2.17
1964	1.65	7.12	2.14	1.03	1.20	1.86	1.68	1.44	1.06	1.10	1.05	0.91	1.85
1965	1.56	5.75	1.03	1.07	1.67	1.68	1.60	1.62	1.09	1.21	1.30	2.16	1.81
1966	1.35	6.30	0.91	1.18	0.92	1.74	1.56	1.70	1.02	0.91	0.90	1.36	1.65
1967	1.70	7.40	3.53	1.01	1.16	1.76	1.73	1.71	0.95	0.96	1.38	3.27	2.21
1968	3.19	9.31	3.52	0.99	0.97	1.31	1.58	1.66	1.34	1.01	2.30	0.99	2.35
1969	5.13	9.38	1.16	1.08	1.57	1.62	1.71	1.61	1.16	0.88	1.08	1.03	2.28
1970	3.69	9.50	4.02	0.98	1.31	1.72	1.64	1.47	0.98	0.97	1.11	3.28	2.55
1971	4.04	15.07	1.10	0.90	1.57	1.58	1.72	1.34	1.05	1.18	1.18	2.53	2.77
1972	9.08	11.89	2.65	1.32	1.50	1.76	1.57	1.64	1.10	1.09	0.98	2.30	3.07
1973	9.19	11.61	3.83	1.35	1.35	1.76	1.39	1.23	0.95	1.01	1.21	0.96	2.99
1974	8.01	18.89	1.09	1.11	1.09	1.60	1.71	1.60	1.31	1.05	1.20	1.22	3.32
1975	4.66	15.82	2.78	1.30	0.98	1.36	1.72	1.45	1.10	0.89	1.21	5.97	3.27
1976	11.23	12.89	1.84	1.15	1.25	1.75	1.65	0.90	0.95	1.43	1.64	1.11	3.15
1977	1.50	13.96	5.89	1.42	1.59	1.77	1.37	1.68	0.95	0.91	1.60	1.50	2.85
1978	7.89	8.80	1.44	1.04	1.63	1.76	1.47	1.41	1.22	1.50	1.91	1.58	2.64
1979	5.22	8.68	2.78	0.92	1.60	1.62	1.43	1.46	1.36	0.95	0.96	1.31	2.36
1980	2.37	7.03	5.35	1.19	1.60	1.61	1.59	1.24	0.94	0.91	1.01	0.96	2.15
1981	5.18	11.85	1.11	0.97	1.48	1.60	1.65	1.08	1.16	0.97	0.93	1.65	2.47
1982	5.86	8.50	2.26	0.92	1.42	1.56	1.72	1.35	0.92	0.96	1.13	0.97	2.30
1983	2.24	8.31	0.90	0.98	1.52	1.57	1.70	1.37	1.10	1.14	0.99	1.75	1.96
1984	10.08	15.71	3.45	1.05	1.32	1.58	1.61	1.28	1.51	0.92	1.89	1.28	3.47
1985	3.79	21.08	3.16	1.46	1.04	1.27	1.67	1.28	0.94	1.00	3.76	4.48	3.74
1986	4.60	17.29	5.52	2.09	1.50	1.45	1.56	1.23	1.30	1.20	0.90	3.54	3.51
1987	8.71	9.77	0.92	1.04	1.64	1.58	1.09	1.55	1.22	0.98	1.64	1.04	2.60
1988	6.71	7.50	4.83	1.96	1.33	1.74	1.56	1.44	1.04	1.00	1.31	1.23	2.64
1989	5.09	9.25	3.31	0.94	1.40	1.57	1.45	1.28	1.15	1.12	0.98	0.92	2.37
1990	4.28	6.93	0.94	0.95	1.08	0.94	1.49	1.13	1.40	1.19	1.48	2.75	2.05
1991	2.25	6.50	2.63	1.01	1.37	1.07	1.49	1.62	1.28	0.92	1.16	1.03	1.86
1992	3.79	6.12	0.98	1.28	1.51	1.63	1.57	0.95	1.62	0.94	1.01	1.02	1.87
1993	4.51	5.94	3.86	1.03	1.46	1.74	1.62	0.91	1.12	1.00	1.36	1.53	2.17
1994	3.72	9.61	2.18	1.09	1.29	1.74	1.65	1.36	1.55	1.14	1.05	2.81	2.43
1995	2.76	8.04	2.66	1.22	1.45	1.77	1.73	1.57	1.32	1.17	0.99	2.26	2.24
1996	7.48	8.89	1.11	0.94	1.62	1.31	1.53	1.00	1.56	1.27	1.22	1.76	2.48
1997	8.90	12.22	2.44	0.95	1.63	1.44	1.65	0.97	1.47	0.96	1.54	1.03	2.93
1998	2.58	9.37	1.16	0.89	1.44	1.22	1.65	1.42	1.60	0.90	0.99	0.91	2.01
1999	2.71	11.97	8.87	1.22	1.23	1.70	1.69	1.64	1.12	2.02	1.22	1.38	3.06
2000	3.25	10.85	2.22	1.11	1.41	1.66	1.67	1.05	1.18	0.93	1.04	0.84	2.27
2001	4.45	7.88	3.11	1.14	1.41	1.13	1.58	1.43	1.29	1.16	0.93	0.96	2.21
2002	5.46	9.39	2.36	1.10	1.46	1.67	1.39	1.62	0.98	1.00	0.97	1.25	2.39
2003	5.58	8.53	2.65	0.84	1.38	1.68	1.66	1.63	1.21	0.95	0.97	0.93	2.33
2004	5.64	8.30	1.53	1.00	1.44	1.71	1.41	1.36	1.21	0.99	1.07	0.92	2.21
2005	3.55	9.38	1.82	0.99	1.59	1.75	1.47	1.60	0.96	0.99	0.95	0.95	2.17
2006	5.05	7.11	1.11	0.97	1.21	1.72	1.68	1.62	1.25	0.91	0.90	1.08	2.05
2007	2.26	8.00	1.23	1.11	1.39	1.63	1.66	1.73	1.44	0.95	0.98	1.27	1.97
2008	4.22	6.87	3.47	1.07	1.60	1.79	1.80	1.70	1.34	1.14	1.42	1.55	2.33
2009	2.27	7.25	1.09	1.03	1.43	1.45	1.70	1.52	1.01	1.21	1.23	0.93	1.84
2010	4.52	10.74	1.68	1.04	1.53	1.66	1.56	1.59	1.30	0.84	1.08	0.87	2.37
2011	4.58	7.79	1.36	0.99	1.37	1.70	1.76	1.28	1.40	1.29	0.99	0.94	2.12
MAX.	11.23	21.08	8.87	2.09	1.67	1.86	1.80	1.73	1.62	2.02	3.76	5.97	3.74
MED.	4.44	9.48	2.40	1.09	1.39	1.60	1.61	1.41	1.17	1.06	1.23	1.59	2.37
MIN.	1.35	5.75	0.90	0.84	0.92	0.94	1.09	0.90	0.92	0.84	0.90	0.84	1.65
D. EST.	2.32	3.25	1.49	0.22	0.18	0.19	0.12	0.22	0.19	0.19	0.44	0.96	0.48

Fuente: Elaboración propia



PARÁMETROS DEL MODELO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ PARA LA GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN m3/seg

SUB CUENCA CAMILLAQUI

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION			
		Cuadro N° 4.16		Efectiva		Gasto		Abastecimiento	
		mm/mes	mm/mes	PE II mm/mes	PE mm/mes	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Enero	30	176.78	59.12	90.42	68.5			0.400	20.0
Febrero	28	159.71	42.92	73.25	52.0			0.200	10.0
Marzo	31	131.68	23.44	47.13	30.5			0.000	0.0
Abril	30	49.25	1.92	5.76	3.1	0.555	22.6		0.0
Mayo	31	12.87	0.14	1.46	0.5	0.308	12.6		0.0
Junio	30	7.71	0.05	0.93	0.3	0.171	7.0		0.0
Julio	31	4.32	0.01	0.55	0.2	0.095	3.9		0.0
Agosto	31	14.80	0.18	1.64	0.6	0.053	2.1		0.0
Setiem.	30	27.69	0.62	2.87	1.3	0.029	1.2		0.0
Octubre	31	38.62	1.18	4.12	2.1	0.016	0.7		0.0
Noviem.	30	51.24	2.08	6.14	3.3			0.050	2.5
Diciem.	31	90.14	7.80	19.04	11.2			0.350	17.5
AÑO		764.8	139.4	253.3	173.6	1.228	50.0	1.000	50.0
Coeficientes		0.42	-0.568	1.568	1.000				

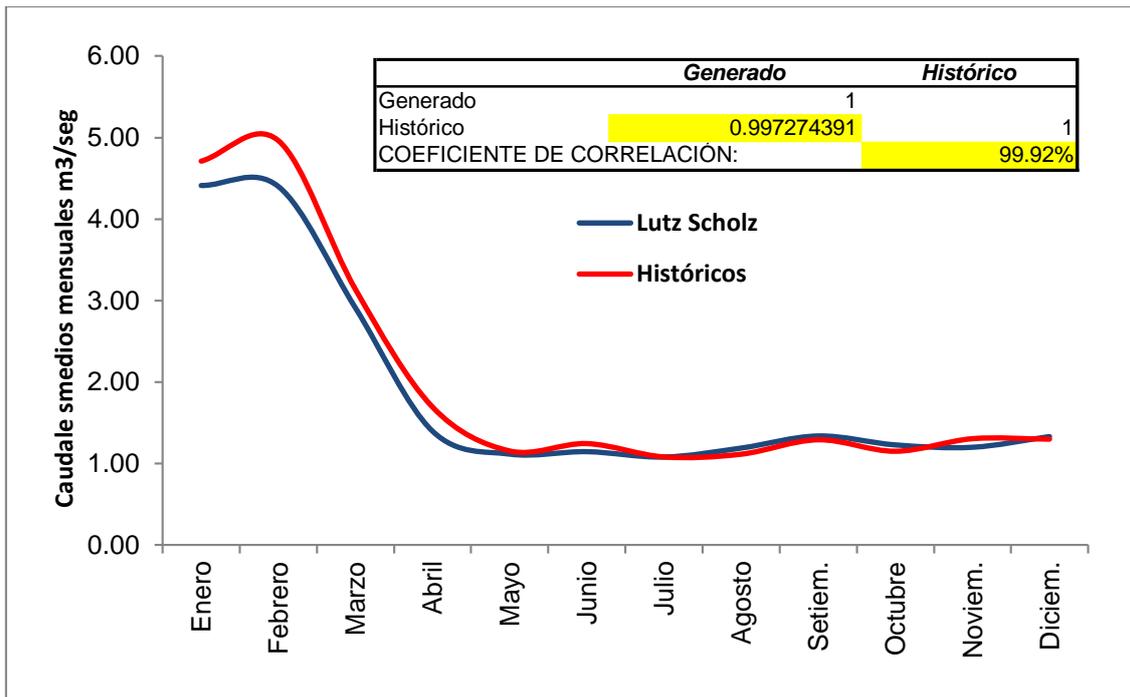
Fuente: Elaboración propia

SUB CUENCA CAMELLAQUE

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION			
		P Total mm/mes	Efectiva			Gasto		Abastecimiento	
			PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE mm/mes	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Enero	30	147.50	33.39	61.37	41.8			0.400	24.0
Febrero	28	129.25	22.13	45.09	29.0			0.200	12.0
Marzo	31	108.82	13.21	29.81	18.2			0.000	0.0
Abril	30	36.86	1.08	3.89	1.9	0.597	24.9		
Mayo	31	9.09	0.07	1.08	0.4	0.356	14.8		
Junio	30	3.37	0.01	0.43	0.1	0.213	8.9		
Julio	31	3.50	0.01	0.45	0.1	0.127	5.3		
Agosto	31	11.61	0.11	1.33	0.5	0.076	3.2		
Setiem.	30	19.35	0.31	2.07	0.8	0.045	1.9		
Octubre	31	31.90	0.81	3.31	1.6	0.027	1.1		
Noviem.	30	44.44	1.56	4.95	2.6			0.050	3.0
Diciem.	31	81.11	5.93	14.96	8.6			0.350	21.0
AÑO		626.8	78.6	168.8	105.7	1.441	60.0	1.000	60.0
Coeficientes		0.44	-1.164	2.164	1.000				

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°4.3 Comparación Grafica de Caudales Generados por el Método de LUTZ SCHOLZ VS Históricos



Cuadro de Datos de Caudales Generados por el Método de LUTZ SCHOLZ y Históricos para la Grafica de Comparación

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Lutz Scholz (m3/seg)	4.414	4.402	2.911	1.398	1.116	1.146	0.916	1.328	1.339	1.229	1.096	1.331	22.626
Hostóricos (m3/seg)	4.709	4.961	3.135	1.692	1.153	1.243	1.080	1.113	1.290	1.149	1.304	1.298	24.128

Resumen de los Caudales Medios Multimensuales Calculados por el Método de LUTZ SCHOLZ para las Sub Cuencas Siguietes:

CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Camellaque (m3/seg)	1.518	3.291	0.846	0.442	0.592	0.687	0.660	0.586	0.514	0.443	0.469	0.581	10.628
Camillaqui (m3/seg)	1.035	1.980	0.619	0.216	0.257	0.248	0.253	0.242	0.224	0.214	0.243	0.365	5.897

4.6.- COMPARACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES GENERADOS CON LOS HISTÓRICOS

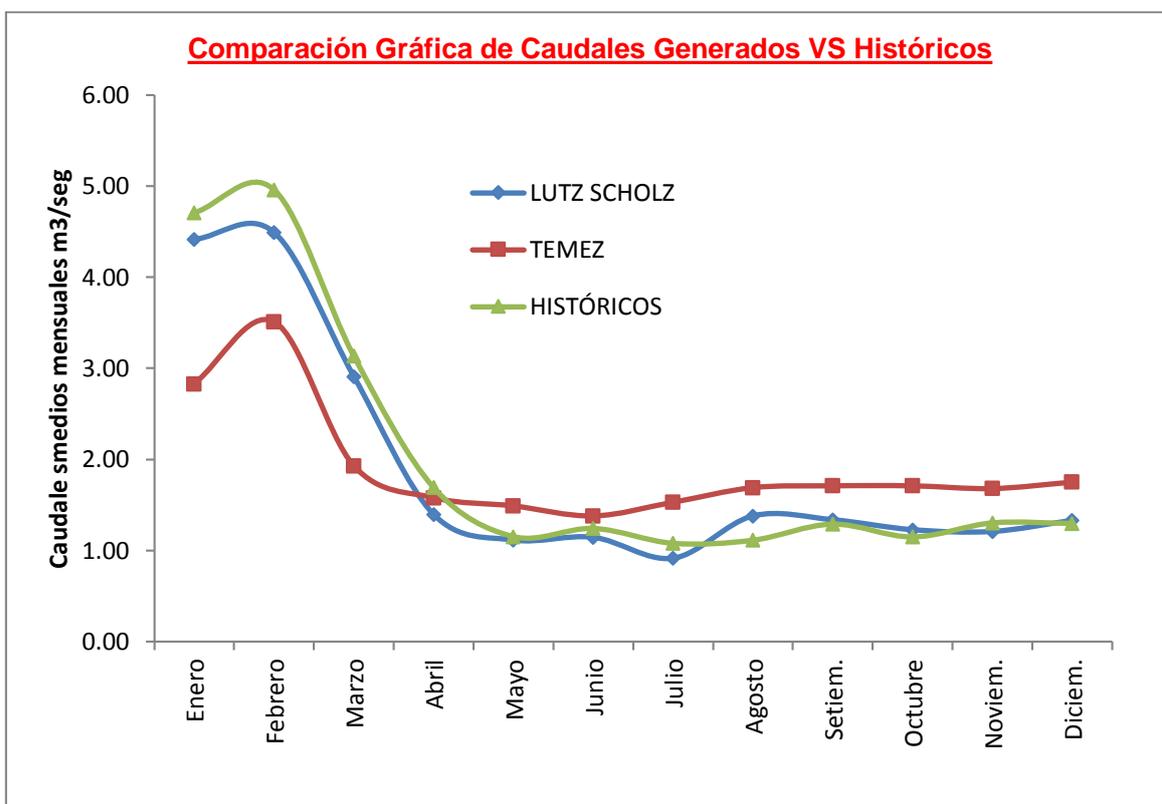
Obteniéndose ya los caudales medios mensuales generados por los dos métodos como son TEMEZ y LUTZ SCHOLZ se realiza la calibración correspondiente con los parámetros calculados por los dos métodos y se muestran en el cuadro N° 4.17 los caudales medios históricos en la estación puente Zapatilla se muestran en anexo 7.2. El cual se observa en este cuadro de comparación de caudales que el método de LUTZ SCHOLZ es el que más se aproxima a los caudales medios históricos aforados.

Cuadro N° 4.17 Comparación de Caudales mensuales promedio (anuales 1952-2011)

CUENCA DEL RIO ZAPATILLA			
MESES	Lutz Scholz m3/s	Temez m3/s	Histórico m3/s
Enero	4.41	2.830	4.709
Febrero	4.49	3.510	4.961
Marzo	2.91	1.930	3.135
Abril	1.40	1.580	1.692
Mayo	1.12	1.490	1.153
Junio	1.15	1.380	1.243
Julio	0.92	1.530	1.080
Agosto	1.38	1.690	1.113
Setiembre	1.34	1.710	1.290
Octubre	1.23	1.710	1.149
Noviembre	1.21	1.680	1.304
Diciembre	1.33	1.750	1.298
PROMEDIO	1.91	1.90	2.01

Fuente: Elaboración propia

Grafica N° 4.4



	<i>Lutz Scholz</i>	<i>Temez</i>	<i>Histórico</i>
Lutz Scholz	0.994745431		
Temez	0.969908358	1	
Histórico	0.984745431	0.969908358	1
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	99.47%	96.99%	98.47%

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones

1. Para la generación de caudales medios por los dos métodos se realizó el cálculo de los parámetros y calibración de los mismos para el método de TEMEZ son: $H_{\max}=200$ mm, $P_0=70$ mm, $C=0.3$ y LUTZ SCHOLZ son $R=60$ mm/año, $a=0.01469$ y los parámetros coeficiente de gasto de retención (b_i), gasto (G_i), coeficiente de abastecimiento (a_i) y abastecimiento (A_i), para cada mes de las sub cuencas con los cuales se generaron caudales medios, de la misma forma para la cuenca del río Zapatilla.
2. La comparación de los modelos hidrológicos TEMEZ y LUTZ SCHOLZ, se realizó con los caudales medios mensuales históricos aforados en el puente Zapatilla en donde se llegó a un cálculo final de caudales medios para el método de TEMEZ el caudal promedio máximo es 3.51 m³/seg y el mínimo 1.38 m³/seg. El caudal promedio máximo de la cuenca del río Zapatilla por el método de LUTZ SCHOLZ es 4.49 m³/seg y el mínimo 0.92 m³/seg, y los históricos como máximo se tiene 4.961 m³/seg y el mínimo 1.08 m³/seg de estos cálculos realizados vemos que el método de LUTZ SCHOLZ es el que más se ajusta a los caudales medios históricos de la estación puente Zapatilla. Este estudio se realizó para la cuenca del río Zapatilla mas no para las sub cuencas divididas puesto que no se cuenta con la información necesaria.
3. Con todos estos cálculos realizados damos validez al método hidrológico de LUTZ SCHOLZ como el modelo hidrológico que más se ajusta para el cálculo de caudales medios mensuales en base a precipitación mensual para la cuenca del río Zapatilla.

5.2.- Recomendaciones

- Como una primera comparación de los modelos hidrológicos los caudales medios mensuales calculados por el método de LUTZ SCHOLZ se pueden utilizar, ya que es el que más se aproxima a la curva de los caudales históricos aforados en el puente del río Zapatilla.
- Verificar la calidad de la información de las series hidrometeorológicas para tener una información más confiable para procesos de modelamiento matemático.
- Se recomienda utilizar los parámetros calculados por el método de LUTZ SCHOLZ para la generación de caudales medios en las sub cuencas del río Zapatilla puesto que dicho cálculo realizado demuestran la validación de estos parámetros.
- Comparar los resultados obtenidos, aplicando otros modelos hidrológicos, ya sea determinístico, conceptual entre otros.
- Seguir investigando y aplicando la metodología propuesta para otras cuencas de la vertiente del lago Titicaca.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1.- Bibliografía

1. Absalón, Vásquez Villanueva, 2000 "Manejo de Cuencas Alto andinas" tomo I, II, Universidad Nacional Agraria La Molina Lima – Perú.
2. Absalón Vásquez V., Lorenzo Ch., 1992 "El Riego", Tomo I.
3. Aguirre Núñez M., 1999 Copias del curso "Hidro informática", Sección de Post-Grado, FIC-UNI, Lima-Perú.
4. Aguirre Núñez M., 1999 "Modelo Matemático en Hidrología ", Modelo Mike SHE.
5. Aparicio Mijares, F.J., 1995 "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Editorial Limusa.
6. Aliaga A., S.V., 1985 "Hidrología Estadística", Lima-Perú.
7. Aliaga A., S.V., 1983 "Tratamiento de Datos hidrometeorológicos", Lima-Perú.
8. Chereque Moran, W., 1989 "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil", Pontificia Universidad Católica del Perú.
9. Chow Ven Te, 1994 "Hidrología Aplicada", Editorial Mc Graw Hill Interamericana.
10. Germán, Monsalve Saenz, 1995 "Hidrología para la Ingeniería", Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogota Colombia.
11. Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana. 1980 "Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones-Plan Meris II".
12. PRORRIDRE, 1995 "Estudio Hidrológico Proyecto Derivación Kovire-Huenque".
13. Tarazona santos N. E., 2005 "generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del rio santa utilizando el método de lutz scholz", UNALAM – Lima – Perú.
14. Temez Peláez, J. R., 1977 "Modelo Matemático de Transformación Precipitación – Aportación", Asociación de Investigación Industrial Eléctrica (ASINEL), Madrid-España.
15. Villon Bejar, M., 1983 "Hidrológica Estadística", Editorial Lima – Perú.
16. Villon Bejar, M., 2002 "Hidrológica", Editorial Villon, Lima – Perú.

7. ANEXO

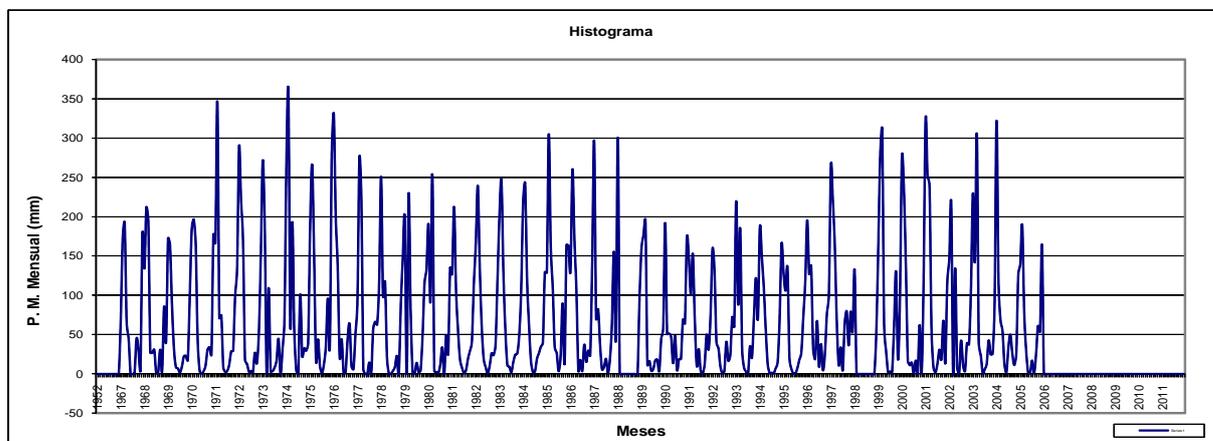
7.1.- INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA ORIGINAL

Cuadro N° 7.1

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

Estacion : JULI Latitud : 16°12'13.6" S Departamento : PUNO
Tipo : Longitud : 69°27'36.7" W Provincia : CHUCUITO
 Altitud : 3,812.00 msnm Distrito : JULI

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952													0.00
2	1953													0.00
3	1954													0.00
4	1955													0.00
5	1956													0.00
6	1957													0.00
7	1958													0.00
8	1959													0.00
9	1960													0.00
10	1961													0.00
11	1962													0.00
12	1963													0.00
13	1964													0.00
14	1965													0.00
15	1966	64.80	95.50	52.70	27.50	12.20	0.00	0.0	0.0	13.00	58.60	66.90	98.60	489.80
16	1967	68.00	172.10	191.70	66.40	45.10	0.00	0.0	1.0	44.90	30.30	5.70	177.10	802.30
17	1968	134.30	212.00	193.80	27.00	26.7	30.70	1.00	2.00	30.90	3.50	85.50	41.10	786.50
18	1969	172.10	164.00	87.40	31.80	8.30	7.00	1.80	9.10	22.40	23.10	17.30	98.40	642.70
19	1970	184.50	196.70	166.30	44.50	3.80	0.20	3.50	10.3	30.70	34.00	24.40	177.50	876.40
20	1971	166.80	345.90	71.00	74.90	8.4	2.30	3.7	11.50	28.8	29.50	98.90	134.90	976.50
21	1972	288.90	221.00	169.20	17.80	12.90	2.70	3.80	1.60	26.90	13.40	50.00	148.50	956.70
22	1973	271.40	189.90		109.20	3.00	3.5	8.10	17.10	44.60		30.90	68.60	746.25
23	1974	269.00	357.90	60.30	193.20	55.60	4.20	0.20	101.20	22.50	32.60	29.40	38.90	1,165.00
24	1975	184.30	266.30	156.70	16.60	44.00	9.70	1.3	12.10	36.00	95.90	35.70	280.10	1,138.70
25	1976	331.20	201.20	136.30	21.00	44.00	1.00	2.40	43.60	63.40	9.50	5.90	51.00	916.50
26	1977	91.90	275.20	222.50	5.40	0.00	0.00	14.50	1.00	57.60	66.40	62.80	114.90	912.20
27	1978	250.90	99.20	117.50	19.70	0.00	0.00	4.00	8.70	22.90	0.90	88.20	147.40	759.40
28	1979	197.20		229.10	80.40	2.20	0.00	14.10	2.20	4.10	47.10	115.50	133.10	825.00
29	1980	190.30	91.40	253.20	3.40	2.40	1.40	11.90	33.70		49.20	26.20	134.80	797.90
30	1981	126.70	212.50	106.20	55.20	18.30	7.80	1.30	4.20	18.80	29.00	40.40	113.30	733.70
31	1982	166.40	239.20	137.00	60.40	18.90	8.40	0.50	9.90	26.30	23.80	36.70	120.80	848.30
32	1983	202.50	245.40	128.70	55.30	10.80	9.20	2.00	15.00	24.60	25.90	49.20	107.00	875.60
33	1984	219.50	242.00	119.40	61.10	15.00	1.90	3.10	19.20	26.40	34.80	39.70	129.60	911.70
34	1985	128.80	304.80	162.60	110.10	34.10	26.80	3.4	22.30	89.70	13.30	164.20	163.30	1,223.35
35	1986	131.50	260.10	171.70	107.00	4.30	17.8	3.60	37.30	15.20	29.80	23.40	139.50	941.15
36	1987	296.30	70.30	82.60	37.30	5.50	8.70	19.20	1.30	18.60	64.20	155.40	43.70	803.10
37	1988	300.30												96.20
38	1989	160.20	176.50	195.10	11.30	16.40	3.80	6.30	17.30	18.10	3.70	45.00	58.40	712.10
39	1990	192.00	50.80	51.40	47.70	13.60	48.50	5.1	18.90	19.10	69.30	64.30	173.00	753.65
40	1991	147.10	101.80	152.80	70.80	10.10	31.50	3.80	0.60	11.80	49.80	30.90	74.00	686.00
41	1992	159.30	130.90	40.20	32.80	8.9	0.70	3.70	40.90	16.5	24.00	72.60	60.70	591.10
42	1993	219.60	88.20	185.20	30.80	7.60	2.90	0.00	35.10	21.10	73.00	122.00	69.80	855.30
43	1994	186.50	149.10	109.50	55.40	11.70	1.00	1.60	0.80	7.10	14.30	69.20	165.30	771.50
44	1995	128.90	105.90	134.50	19.90	6.10	0.5	0.60	7.20	17.80	26.70	71.60	117.20	636.90
45	1996	195.50	127.00	137.30	32.30	18.80	67.4	9.10	38.00	4.50	26.60	77.20	101.60	835.30
46	1997	264.10	220.80	162.30	66.10	11.10	33.7	4.6	64.00	79.70	36.20	79.20	54.00	1,075.80
47	1998	132.40												51.30
48	1999	158.70	278.20	309.80	61.50	28.40	2.20	3.10	1.90	58.10	130.30	18.50	94.00	1,144.70
49	2000	275.30	236.30	138.40	16.70	10.90	14.30	0.60	17.00	1.20	62.20	1.90	119.50	894.30
50	2001	324.00	251.90	239.60	57.40	7.90	1.90	12.70	30.90	18.80	67.70	13.80	116.20	1,142.80
51	2002	145.80	216.80		134.20	8.60		42.40	10.90	3.70	39.40	37.40	107.10	746.30
52	2003	229.70	142.70	304.80	39.30	23.40	1.0	5.90	12.60	42.60	24.60	25.60	89.60	941.80
53	2004	322.00	115.90	68.40	54.90	11.60	2.00	34.00	49.90	25.30	11.10	25.70	126.30	847.10
54	2005	139.10	189.20	78.70	29.50	1.50	1.0	17.0	1.00	24.70	61.20	54.00	164.20	761.10
55	2006													0.00
56	2007													0.00
57	2008													0.00
58	2009													0.00
59	2010													0.00
60	2011													0.00
N° Datos		40	37	36	38	38	37	38	38	37	37	38	40	60
Media		195.45	190.39	147.89	52.26	15.05	9.61	6.68	18.72	28.06	38.78	54.24	112.51	551.66
Desv. Estandar		70.25	76.97	67.73	38.72	13.68	15.19	9.07	21.17	20.23	27.35	39.00	48.63	427.32
Coef. Variacion		35.95	40.42	45.80	74.09	90.87	158.07	135.90	113.10	72.09	70.52	71.91	43.22	77.46
Prec. Max.		331.20	357.90	309.80	193.20	55.60	67.40	42.40	101.20	89.70	130.30	164.20	280.10	1223.35
Prec. Min.		64.80	50.80	40.20	3.40	0.00	0.00	0.00	1.20	0.90	0.90	1.90	38.90	0.00
Precip. 75% Conf.		148.02	138.44	102.17	26.12	5.82	-0.64	0.55	4.43	14.41	20.32	27.91	79.69	263.22



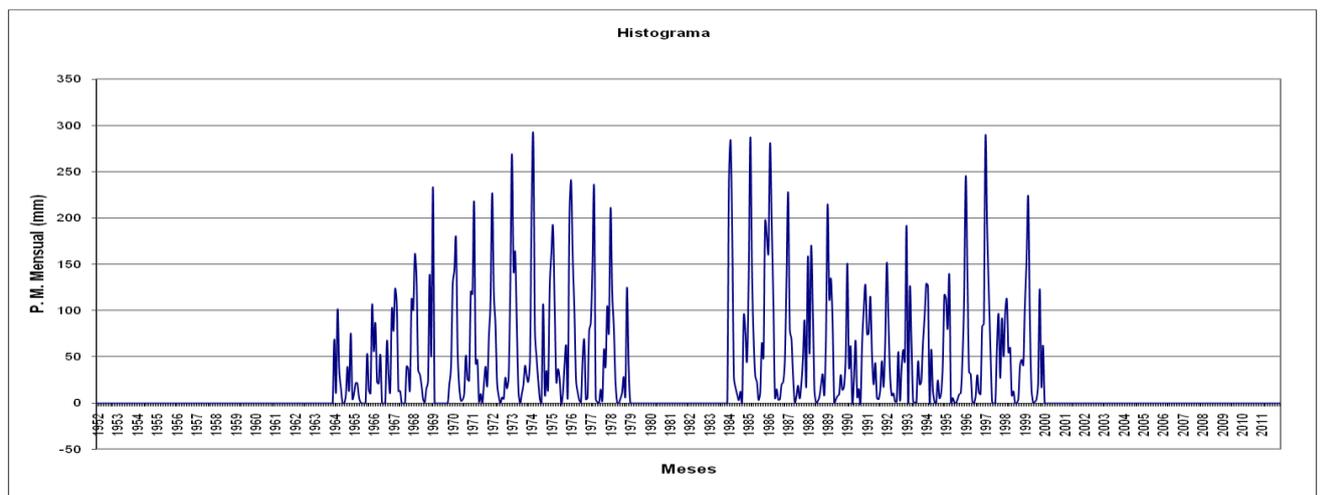
FUENTE: senamhi

Cuadro N° 7.2

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA
REGISTROS HISTÓRICOS
(mm)

Estacion : **ILAVE** Latitud : 16°06'0" S Departamento : **PUNO**
 Tipo : Longitud : 69°38'0" W Provincia : **EL COLLAO**
 Altitud : 3,880.00 msnm Distrito : **ILAVE**

N° REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1952													0.00
2	1953													0.00
3	1954													0.00
4	1955													0.00
5	1956													0.00
6	1957													0.00
7	1958													0.00
8	1959													0.00
9	1960													0.00
10	1961													0.00
11	1962													0.00
12	1963													0.00
13	1964	69.0	10.9	101.5	36.0	16.0	0.0	0.0	8.5	39.5	13.5	75.5	4.4	374.80
14	1965	10.6	21.8	21.7	6.4	0.8	0.0	0.0	0.0	53.5	14.0	11	106.5	245.75
15	1966	56.0	86.5	23.0	21.0	52.4	0.0	0.0	0.0	67.4	30.2	12.7	101.3	450.45
16	1967	78.2	123.9	105.8	12.7	13.3	0.0	0	0.0	39.8	36.7	14.8	112.2	537.40
17	1968	100.4	161.3	134.9	36.0	31	19.9	4.2	1.0	16.1	23.6	139	51.7	719.40
18	1969	233.4										21.3	39.9	294.60
19	1970	127.9	143.3	177.7	57.7	17.4	2.4	3.7	10.2	51.5	25.9	24.1	120.9	762.65
20	1971	117.8	217.3	42.5	47.2	1.8	10.1	0.1	20.3	39.6	18.4	72.2	110.5	697.80
21	1972	227.2	120.2	85.9	21.7	7.0	0.0	6.4	4.5	27.7	15.7	28.6	122	667.30
22	1973	269.3	142.8	163.9	83.5	12.2	0.0	9.9	20.1	40.6	29.1	23.4	47.9	842.70
23	1974	211.0	288.8	80.0	49	24.6	4.0	0.0	107.1	10.0	35.0	15.0	125.0	949.45
24	1975	162.0	191.1	105.0	23.0	37.0	27.0	0	10.0	41.0	62.0	9	202.0	869.10
25	1976	241.0	157.0	101.0	25.0	12	3.0	1.0	47.0	68.0	4.0	6	78.0	742.80
26	1977	87.0	150.0	232	4.0	1.3	0.0	15.0	2.8	58.0	39.4	104.8	76.9	771.20
27	1978	211.0	120.0	81.4	23.0	0.7	0	5.1	11	28.6	7.9	124.8	38.5	652.30
28	1979													0.00
29	1980													0.00
30	1981													0.00
31	1982													0.00
32	1983													0.00
33	1984	242.4	284.3	179.8	28.5	16.6	9	3.0	13	1.0	94.4	76	45.8	993.50
34	1985	134.4	287.6	144.8	69.8	29.2	23.0	3.2	11.4	65.2	49	196.6	181.0	1,195.60
35	1986	162.3	281.1	194.3	111.3	5.8	15.2	3.4	4.3	20.3	23.0	45.5	133.7	1,000.15
36	1987	227.6	80.1	69.5	29.5	1.1	7.3	19.1	4.8	20.2	48.1	89.3	18.0	614.60
37	1988	158.7	53.3	169.8	101.3	13.7	0.4	2.0	7.2	19.8	31.3	9.0	71.4	637.90
38	1989	214.8	113.2	135.0	91.3	0.3	3.9	7.8	10	30.6	14.2	18.1	50.9	689.70
39	1990	151.2	39.1	61.5		25.0	67.7	6.6	15.5		65.9	101.2	127.8	661.50
40	1991	74.2	75.2	115.1	50.6	20.0	43.4	5.4	4.0	14.2	45.6	17.3	63.4	528.40
41	1992	151.9	88.8	29.7	8.2	10.8	1.6	1.4	55.5	2.4	38.8	57.8	45.1	491.95
42	1993	191.7		125.3	65.3	1.5	1.0	0.3	45.3	20.0	23.8	65.3	94.2	633.70
43	1994	129.4	126.7		58.1	14.8	1.2	0.0	24.8	5	10.8	39.5	117.1	527.55
44	1995	113	80.2	138.2		5.7	1.4	0.0	4.2	9.6	11.2	47.5	113.4	524.30
45	1996	245.6	141.1	33.9	31.5	2	0.0	7.2	30.5	11.5	9.5	83.2	86	682.30
46	1997	288.0	190.8	122.9	60.7	1.4	0	0.0	61.7	96.1	27.1	91.7	50.2	990.60
47	1998	97.3	112.13	54.7	59.9	8.2	13.0	0.0	0.1	5	41.0	47	41.1	479.08
48	1999	107.1	154	223.4	89.7	14.9	0.6	1.5	3.9	21.0	123.3	17.9	62.3	819.40
49	2000													0.00
50	2001													0.00
51	2002													0.00
52	2003													0.00
53	2004													0.00
54	2005													0.00
55	2006													0.00
56	2007													0.00
57	2008													0.00
58	2009													0.00
59	2010													0.00
60	2011													0.00
N° Datos		31	29	29	28	30	30	30	30	29	30	31	31	60
Media		157.78	139.39	112.21	46.50	13.28	8.51	3.54	17.94	31.83	33.76	54.34	85.15	350.80
Desv. Estandar		70.80	76.71	58.56	29.76	12.49	15.13	4.68	23.87	23.61	26.01	45.89	45.39	375.17
Coef. Variacion		44.87	55.03	52.19	64.01	94.06	177.86	132.06	133.04	74.19	77.06	84.45	53.31	106.95
Prec. Max.		288.00	288.80	232.00	111.30	52.40	67.70	19.10	107.10	96.10	123.30	196.60	202.00	1195.60
Prec. Min.		10.60	10.90	21.70	4.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	4.00	6.00	4.40	0.00
Precip. 75% Conf.		109.99	87.61	72.68	26.41	4.85	-1.71	0.38	1.83	15.89	16.20	23.36	54.51	97.56



Fuente: Senamhi

7.2.- DATOS HISTÓRICOS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL PUNTO DE AFORO. (PUENTE ZAPATILLA)

Cuadro N° 7.4

Caudal medio (m³/s) Estación Puente Zapatilla

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1957	0.61	0.51	0.96	1.98	2.06	2.54	0.14	0.52	1.70	0.41	0.41	0.14
1958	4.23	4.26	0.94	0.14	0.23	0.52	0.97	0.72	0.73	0.47	1.86	1.12
1959	0.63	0.49	5.88	2.90	3.12	1.06	2.16	0.12	1.22	1.70	2.62	1.82
1960	6.22	6.79	1.88	1.83	0.15	0.18	0.14	0.44	0.84	1.00	0.52	2.43
1961	3.43	1.70	0.14	1.65	0.26	0.37	1.36	1.42	1.80	1.62	0.20	0.14
1962	5.65	6.50	2.04	1.06	1.08	1.43	1.17	0.38	2.28	1.65	1.21	1.40
1963	7.93	3.01	0.51	1.74	0.31	0.14	1.17	1.47	2.78	2.43	2.35	1.91
1964	1.70	1.45	1.06	0.30	0.14	1.26	1.34	1.51	1.33	0.35	1.79	1.91
1965	0.40	0.31	0.53	0.58	0.50	1.50	1.45	0.65	1.92	0.14	1.20	3.87
1966	1.71	0.64	0.53	1.55	1.71	1.52	1.57	2.26	1.55	1.56	2.55	0.97
1967	1.66	2.01	5.15	1.98	0.69	1.71	0.72	1.29	1.53	0.92	0.68	0.47
1968	2.71	5.85	4.97	1.87	3.19	2.51	1.94	2.19	1.48	1.50	0.77	0.09
1969	6.46	2.99	0.28	1.44	1.63	1.48	1.37	0.61	1.46	1.46	1.94	0.14
1970	1.40	5.93	4.15	1.87	2.14	2.52	1.49	1.20	2.46	1.32	0.65	4.43
1971	4.41	12.72	3.82	2.80	1.30	0.39	0.14	0.14	0.56	1.11	0.96	1.54
1972	9.11	8.34	3.06	0.74	0.14	0.88	1.62	0.06	0.37	1.22	0.96	1.22
1973	8.66	6.23	2.13	1.62	1.17	1.97	1.39	1.14	1.26	1.23	1.10	0.15
1974	9.01	15.45	4.63	1.13	1.47	1.29	1.11	1.49	2.47	0.43	0.01	1.17
1975	5.33	8.79	1.70	0.56	1.06	1.36	0.36	0.23	1.20	1.04	0.6	8.24
1976	11.12	6.85	2.70	2.65	0.92	0.86	1.02	2.33	1.79	2.33	1.48	2.19
1977	0.72	6.64	8.41	3.52	0.34	1.77	1.02	0.18	0.14	0.07	1.07	1.49
1978	7.58	2.58	1.31	0.87	1.59	0.79	2.58	1.89	1.71	0.45	1.26	1.95
1979	3.36	1.32	0.67	1.95	1.94	1.38	0.14	0.98	1.40	1.97	0.53	1.54
1980	3.41	0.99	4.05	2.79	0.72	2.07	0.40	0.58	0.14	1.90	1.29	1.00
1981	2.28	7.53	2.15	0.59	0.50	1.51	1.70	1.52	0.08	0.14	0.66	0.25
1982	4.00	7.80	2.27	1.28	0.89	2.10	0.29	0.17	0.72	0.20	0.14	0.14
1983	4.97	7.36	2.40	0.14	1.55	0.14	0.31	0.15	0.76	1.04	2.33	0.80
1984	8.09	11.19	4.21	2.79	0.40	1.57	2.22	0.82	1.05	0.33	1.34	1.11
1985	1.58	10.85	3.50	2.06	1.25	1.85	0.45	1.40	2.00	0.42	4.87	4.21
1986	2.42	11.09	8.23	2.69	0.83	1.39	1.39	1.62	0.49	1.31	2.31	1.94
1987	9.02	3.39	2.73	0.14	0.69	0.85	1.66	2.01	2.48	0.07	1.17	1.31
1988	8.06	3.36	6.74	3.43	1.87	1.20	1.00	0.94	0.14	1.05	1.19	1.38
1989	5.17	5.91	6.55	3.82	0.71	1.39	0.91	0.45	1.45	2.73	2.47	1.48
1990	3.64	1.65	0.35	0.95	0.80	1.46	0.18	1.17	1.78	0.52	1.13	1.96
1991	1.68	0.99	1.73	0.91	1.33	2.29	1.16	0.30	0.18	1.34	2.30	0.82
1992	0.95	1.67	1.30	1.45	2.91	1.06	0.43	1.74	0.97	0.01	1.59	0.23
1993	5.57	1.20	0.85	1.46	1.17	0.14	2.12	1.46	2.20	1.26	0.79	0.86
1994	2.66	1.58	1.89	1.38	0.77	0.51	0.05	1.63	2.97	2.09	1.24	1.04
1995	0.68	0.63	1.11	1.70	0.94	1.24	1.59	1.29	0.14	0.76	1.45	0.73
1996	5.52	1.58	0.43	1.10	0.58	2.41	1.15	1.67	2.09	0.92	0.14	0.14
1997	8.94	9.17	3.87	0.24	0.32	0.95	1.05	0.97	0.75	1.99	1.79	0.25
1998	0.24	0.53	0.04	0.66	0.99	0.33	1.40	0.95	1.52	0.59	1.17	0.17
1999	2.96	8.88	10.25	4.38	1.59	0.12	0.46	1.04	0.55	1.02	0.87	1.27
2000	7.87	7.44	3.87	1.90	1.82	0.33	0.14	0.56	0.76	1.65	1.91	0.75
2001	12.22	12.58	7.79	2.20	1.04	1.39	0.14	1.59	2.58	1.37	0.20	0.64
2002	1.68	8.04	9.78	4.45	2.06	0.75	0.65	1.85	1.56	1.53	0.49	0.14
2003	5.03	2.70	8.36	2.52	0.88	1.19	0.26	1.19	0.14	1.78	2.42	0.74
2004	11.23	4.07	2.28	0.58	1.78	0.89	1.86	0.11	0.16	2.91	1.21	0.62
2005	1.82	5.09	0.58	0.99	1.61	1.81	0.98	1.29	2.44	1.64	1.27	1.16
2006	12.89	4.84	3.51	3.80	0.33	0.95	2.14	1.94	1.41	1.93	1.84	1.00
2007	0.23	0.15	4.81	0.07	0.14	1.23	1.60	1.98	0.97	0.12	0.14	0.01
2008	8.45	3.63	1.03	1.80	1.37	1.76	1.95	1.65	1.37	0.97	1.33	1.28
2009	2.26	5.69	2.06	0.67	2.14	1.59	1.16	1.75	0.56	0.95	0.62	1.03
MEDIA	4.709	4.961	3.135	1.692	1.153	1.243	1.080	1.113	1.290	1.149	1.304	1.298

Fuente: Tesis "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE EMBALSE POR EL MÉTODO MONTE CARLO CON APLICACIÓN AL RIO ZAPATILLA - PUNO" UNA-PUNO-FIA-2011, Fausto Alarcón Atahuachi.

7.3 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA EL MÉTODO DE TEMEZ

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO HARGREAVES EN BASE A LA TEMPERATURA CUENCA ZAPATILLA
ETP = MF*TMF*CH*CE EN MM/MES

LATITUD : 16°12'13.6" TIPO : DPTO : PUNO
LONGITUD : 69°27'35.7" PERIODO : PROV. : COLLAO
ALTITUD : 3970 M.S.N.M. DISTR. : ILAVE

Nº	DESCRIPCIÓN	UND	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	Días del mes		31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
2	Temperatura media (Tº med)	º C	8.46	8.39	8.00	6.80	4.93	3.79	3.24	4.02	5.48	6.81	8.73	8.42
3	Temperatura media (ºF med) TMF	º F	47.22	47.10	46.41	44.23	40.87	38.81	37.83	39.24	41.86	44.26	47.72	47.16
4	Humedad relativa media (HRmed)	%	68.17	69.80	69.57	62.77	55.30	57.52	52.02	53.72	55.32	55.57	57.58	65.86
5	Factor mensual de latitud mm MF		2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.500	2.610	2.769
6	Factor de correccion por hr CH		0.94	0.91	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
	Elevacion	m	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970	3,970
7	factor de correccion de altura CE		1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
8	ETP	MM/MES	130.51	108.47	106.29	91.38	73.50	61.33	64.36	77.84	98.10	119.43	134.43	136.74
9	ETP	MM/DIA	4.21	3.87	3.43	3.05	2.37	2.04	2.15	2.51	3.27	3.85	4.48	4.41

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO HARGREAVES EN BASE A LA TEMPERATURA SUB CUENCA CAMELLAQUE
ETP = MF*TMF*CH*CE EN MM/MES

LATITUD : 16°12'13.6" TIPO : DPTO : PUNO
LONGITUD : 69°27'35.7" PERIODO : PROV. : COLLAO
ALTITUD : 4333 M.S.N.M. DISTR. : ILAVE

Nº	DESCRIPCIÓN	UND	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	Días del mes		31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
2	Temperatura media (Tº med)	º C	7.70	7.50	7.10	5.00	2.40	1.30	0.70	1.50	3.10	4.60	6.20	7.20
3	Temperatura media (ºF med) TMF	º F	45.86	45.50	44.78	41.00	36.32	34.34	33.26	34.70	37.58	40.28	43.16	44.96
	Humedad relativa media (HRmed)	%	61.80	65.20	65.00	58.40	53.60	62.90	50.70	51.10	53.10	49.60	52.10	65.86
	Factor mensual de latitud mm MF		2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.500	2.610	2.769
4	Factor de correccion por hr CH		1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	Elevacion	m	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333	4,333
6	factor de correccion de altura CE		1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
8	ETP	MM/MES	136.25	113.25	110.73	85.27	65.75	54.63	56.96	69.31	88.66	109.43	122.41	135.28
9	ETP	MM/DIA	4.40	4.04	3.57	2.84	2.12	1.82	1.90	2.24	2.96	3.53	4.08	4.36

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO HARGREAVES EN BASE A LA TEMPERATURA SUB CUENCA CAMILLAQUI
ETP = MF*TMF*CH*CE EN MM/MES

LATITUD : 16°12'13.6" TIPO : DPTO : PUNO
LONGITUD : 69°27'35.7" PERIODO : PROV. : COLLAO
ALTITUD : 3921 M.S.N.M. DISTR. : ILAVE

Nº	DESCRIPCIÓN	UND	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	Días del mes		31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
2	Temperatura media (Tº med)	º C	9.21	9.27	8.91	8.59	7.46	6.27	5.78	6.54	7.86	9.02	11.26	9.65
3	Temperatura media (ºF med) TMF	º F	48.58	48.69	48.04	47.46	45.43	43.29	42.41	43.77	46.15	48.23	52.28	49.37
4	Humedad relativa media (HRmed)	%	74.53	74.40	74.13	67.13	57.00	52.13	53.33	56.33	57.53	61.53	63.07	65.86
5	Factor mensual de latitud mm MF		2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.500	2.610	2.769
6	Factor de correccion por hr CH		0.84	0.84	0.84	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
	Elevacion	m	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921
7	factor de correccion de altura CE		1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
8	ETP	MM/MES	119.99	103.16	101.33	93.23	81.61	68.34	72.08	86.76	108.04	130.04	147.14	143.00
9	ETP	MM/DIA	3.87	3.68	3.27	3.11	2.63	2.28	2.40	2.80	3.60	4.19	4.90	4.61

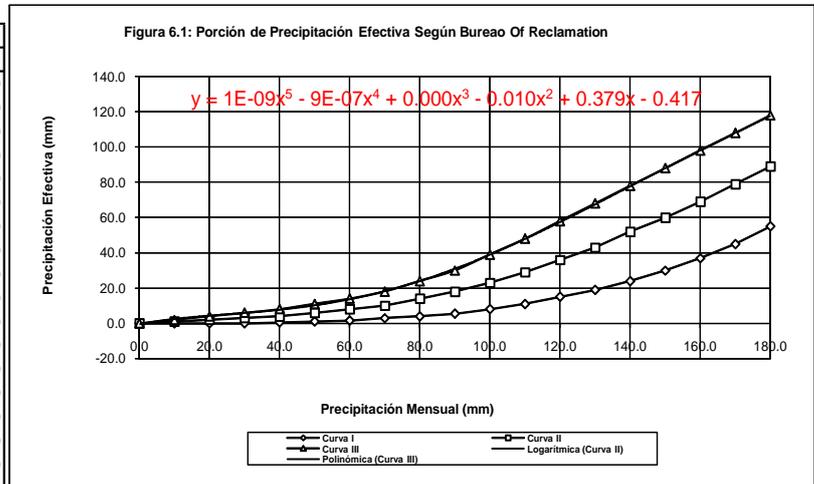
Fuente: Elaboración Propia

7.4.- PARÁMETROS CALCULADOS Y GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS PARA EL MÉTODO DE LUTZ SCHOLZ PARA CADA SUB CUENCA

SUSTENTO Y CALCULO EN HOJA ELECTRONICA EXCEL
GENERACION CAUDALE SMEDIOS MENSUALES PARA LA SUB CUENCA DEL RIO CAMELLAQUE

Precipitación Efectiva según el Bureau of Reclamation

P mm	P. Efectiva: PE (mm)		
	Curva I	Curva II	Curva III
0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	1.0	2.0
20.0	0.0	2.0	4.0
30.0	0.0	3.0	6.0
40.0	0.5	4.0	8.0
50.0	1.0	6.0	11.0
60.0	1.5	8.0	14.0
70.0	3.0	10.0	18.0
80.0	4.0	14.0	24.0
90.0	5.5	18.0	30.0
100.0	8.0	23.0	39.0
110.0	11.0	29.0	48.0
120.0	15.0	36.0	58.0
130.0	19.0	43.0	68.0
140.0	24.0	52.0	78.0
150.0	30.0	60.0	88.0
160.0	37.0	69.0	98.0
170.0	45.0	79.0	108.0
180.0	55.0	89.0	118.0
	0.15	0.3	0.5



Cálculo del Coeficiente de Escorrentía

Método de la Misión Alemana		Método de L - Turc	
Precipitación Media Anual: P	626.8 mm	Temperatura Media Anual: T	4.5 °C
Evaporación Total Anual: ETP	1147.9 mm	Coefficiente de Temperatura: L	417.8
		Déficit de Escurrimiento: D	353.1 mm/año
Coefficiente de Escorrentía: C	0.42	Coefficiente de Escorrentía: C	0.44

Características Generales de la Microcuenca

Area de la cuenca: A	161.09	Km2
Altitud Media de la Microcuenca: H	3925.000	msnm
Pendiente Media de la Microcuenca	0.00447337	m/m
Precipitación Media Anual: P	626.8	mm
Evaporación Total Anual: ETP	1147.92	mm
Temperatura Media Anual: T	4.525	°C
Déficit de Escurrimiento: D	353.1	mm/año
Coefficiente de Escorrentía: C	0.44	
Coefficiente de Agotamiento: a	0.0172	
Relación de Caudales (30 días): bo	0.597	
Area de lagunas y acuíferos	0.00	Km2
Gasto Mensual de Retención: R	60.000	mm/año

Coefficientes de Cálculo - Precipitación Efectiva

Coef.	Curva I	Curva II	Curva III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.00185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1.204E-05	0.00004349	0.00005534
a4	1.44E-07	-8.9E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

El rango de aplicación de los coeficientes de la ecuación Polinómica de la PE está comprendida para 0 < P < 250 mm

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de la regresión

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.984247151 R ²
Coefficiente de determinación R ²	0.968742454
R ² ajustado	0.961796332
Error típico	1.561066047 S
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	679.7332536	339.8666268	139.465236	1.68771E-07
Residuos	9	21.93234483	2.436927203		
Total	11	701.6655984			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	b1	0.873049837	6.59767688	9.9541E-05	3.785124789	7.735076668	3.785124789	7.735076668	-6.535473782	7.488278873
Variable X 1	b2	0.071250638	2.545476689	0.03142711	0.020186697	0.342546979	0.020186697	0.342546979	0.201041621	0.512840565
Variable X 2	b3	0.0414086	12.22185281	6.5864E-07	0.412417057	0.59976258	0.412417057	0.59976258	0.503876073	0.752291601

CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION PARA EL AÑO PROMEDIO

Qt	Qt-1	PE
17.786	9.200	41.786
17.021	17.786	29.021
18.193	17.021	18.193
10.200	18.193	1.921
11.500	10.200	0.370
6.250	11.500	0.134
5.427	6.250	0.139
3.635	5.427	0.478
2.723	3.635	0.838
2.689	2.723	1.564
5.000	2.689	2.575
9.200	5.000	8.636

Fuente: Elaboración propia

b1	5.760100728 b2	0.181366838 b3
S	1.561066047 R ²	0.984247151

PRECIPITACION EFECTIVA GENERADA EN SUB CUENCA CAMELLAQUE
PERIODO: 1952-2011

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
1952	2.2	7.9	6	0.3	7.6	11	9.6	6.6	0.9	2.6	1.1	2.1	57.9
1953	0.2	16.5	6.5	0	7.8	10.9	9.9	0.5	0.3	3	4.5	0	60.1
1954	2.2	0	0.4	2.2	9.2	12.1	10	11.3	6	4.3	0.5	2.6	60.8
1955	3.3	12.8	1.9	0.4	8.8	12	9.5	8.1	5.9	0	3.2	0.5	66.4
1956	31.2	17.9	12	0.7	8.2	10.6	9.2	7.8	6.3	1.5	0.3	2.3	108.0
1957	15.1	24.6	6.1	5.3	9.3	11.3	11.2	9.5	6	1.6	0.9	1	101.9
1958	31.4	20.8	13.2	2.9	8.1	11.6	10.2	6.7	4.2	0.9	0.2	3.3	113.5
1959	19.6	8.8	27	2.7	5.4	11.6	11.5	5.9	4.3	6	0.4	13.8	117.0
1960	8.3	2.7	2.8	0.5	9.5	10.9	11.5	8.4	1	1.2	2.7	0.4	59.9
1961	34.6	28.2	15.2	0.1	4.5	9.9	10.9	7.5	4.1	1.5	0.1	11.3	127.9
1962	3.2	29.3	10.8	0	7.9	11.8	11.6	10.8	1.7	10.9	3.1	4.5	105.6
1963	22.4	13.1	7.2	3.4	8.1	11.8	11.6	7	1.2	2.3	6.8	3.2	98.1
1964	4.8	8.5	17.9	3.1	4.5	12	11.4	9.1	4.7	3.2	0.4	5.3	84.9
1965	22.2	3.2	1.9	1.4	10.9	10	9.1	10.1	2.1	4.6	5.1	18.6	99.2
1966	0.2	6.8	0.5	5.7	1	12.1	8.5	12.1	10.1	2	1.4	0.5	60.9
1967	7.1	24.3	45	0.3	4.6	12.1	10.4	12	0	0.5	7.4	35.8	159.5
1968	23.3	16.8	30.5	3.3	1	8.3	12	11.8	7.7	0.9	8.4	1.4	125.4
1969	18.8	7.1	1.4	8.2	10.2	11.2	11.9	10.9	7.7	4.9	0.3	1	93.6
1970	31.1	25.4	27.2	0.5	7.9	12.1	11.6	10.7	5.8	1.2	3.2	33.3	170.0
1971	34.5	80.8	5.5	0.1	9.7	11.2	11.6	10.6	5.4	6.2	0.1	20.2	195.9
1972	93.8	65.5	31.5	8.9	10.4	11.7	10.9	11.9	4.9	1.4	0.7	9.1	260.7
1973	74.3	29.8	29.2	2	6.7	11.6	10.2	6.6	3.1	4.6	6.6	1	185.7
1974	87.4	98.5	0	0.6	5.8	11.5	12.1	3.5	6.6	6.4	5.1	0.4	237.9
1975	38.4	83.4	27.5	9.9	2.3	10.8	11.9	10.5	4.7	2.3	3.4	49.4	254.5
1976	115.4	40.8	7.6	5.2	5.9	12	9.3	1	2.3	6.7	10.6	0.8	217.6
1977	0.6	69.3	38.6	6.6	9.4	12.1	10.2	12	1.4	1.1	4.4	8	173.7
1978	82.2	1	5.3	1	12.1	12.1	7.3	7.3	7.2	9.6	4.2	10.5	159.8
1979	40.6	8	19.1	0.6	11.8	12.1	7.1	9.9	8.5	2.2	1.7	5.4	127.0
1980	2.7	0.1	45.5	11.6	11.8	11.9	10.5	7.3	1	0.7	4.1	1.3	108.5
1981	42.1	53.3	2.8	2.9	9.7	10.2	11.9	1.6	5.3	1.2	2.1	5.6	148.7
1982	71.5	9.9	23.1	0	6.9	9.8	12	7.8	0.1	2.9	2	0.3	146.3
1983	2.7	3.6	0.8	4.5	10.7	10.9	11.8	7.3	4	6.2	0.7	16.5	79.7
1984	124.9	102.6	16.6	5.3	10.1	10.9	11.7	6.9	6.2	4.9	20.2	9.5	329.8
1985	35.5	130.4	19.2	7	3	8.7	11.6	6.2	2.2	6.1	11.6	36.8	278.3
1986	26.1	40.8	55.2	10.4	7.8	9.8	8.2	4.6	8.9	6.4	0	36.5	214.7
1987	78	0.5	0.4	3.5	11.4	9.6	2.9	8.8	5.7	0.6	4.8	2.6	128.8
1988	80.4	0	42.6	9.6	8	12.1	8.8	7	1	3.6	6.1	2.7	181.9
1989	25.7	12.7	26.2	2	4.3	8.7	8.2	5.4	6	1.2	0.1	0.4	100.9
1990	35.7	1.2	0.2	0.2	6.2	0.8	8.4	3.6	7	2.3	2.7	18	86.3
1991	10.3	2.3	20.7	0	10.8	8.2	9.1	10.7	4.1	0.1	3.6	0.7	80.6
1992	26.5	1.2	2.8	2.9	10.3	10.2	9.8	0.2	9.7	0.6	0.1	4.2	78.5
1993	18.8	9.8	44.1	0	6.5	11.1	8.9	0.4	3.5	3.3	5.2	6.3	117.9
1994	28.8	45.4	18.8	1.5	6	11.6	10.2	11.3	9.3	1.2	3.4	23.4	170.9
1995	11	14.6	13.4	5	8.5	11.1	12	10.4	4.4	3.1	0	13.1	106.6
1996	56.9	20.2	4.3	0	9.7	4.8	10.9	2.6	9.4	5.3	1.7	11.8	137.6
1997	58.9	49.6	13.5	0.1	10.6	7.3	11.5	0	1.7	0.9	5.6	2.5	162.2
1998	21.3	8.1	1.8	2.4	9.6	3.3	11.6	7.9	10	1.5	0.5	1.4	79.4
1999	17.4	87.4	107.3	0.6	6.6	11.1	11.7	11.8	3.8	4.6	6	11.7	280.0
2000	30.8	31.4	12	0	6	10.2	11.2	6.7	6.5	5.3	9.7	0	129.8
2001	33.3	10.7	11.9	0.9	7.5	10.9	10.4	6.5	5.7	4.8	9	0.1	111.7
2002	46.3	24.1	19.1	0.2	9.1	10	6.8	10.3	2.3	0.6	0.1	2	130.9
2003	43	10.5	21.9	0.9	7.8	10.9	11.3	10.4	5.4	0.5	1.6	0.1	124.3
2004	50.9	10.6	6.7	1.4	9.1	11.8	7.6	6.3	5.5	2.6	4.3	0	116.8
2005	23.6	25.1	10.6	1.2	10.7	11.8	9.2	10.4	3.1	2.9	3	0	111.6
2006	45.7	6.1	1.5	0.1	5.7	11.8	11.3	9.9	5.8	1.9	0.2	0.5	100.5
2007	7	14.4	2.7	3	8.1	9.7	12	11.6	8	0.1	1.2	1.7	79.5
2008	24.1	7.2	23.5	0	9.7	11.6	12	11.2	6.1	4	1.4	3.4	114.2
2009	4.4	3.4	0.8	3.4	8.7	8.7	11.6	9.4	2.8	6	7.7	0.6	67.5
2010	37.1	53.3	11.2	4.4	10.4	11.8	11.1	11	6.7	1	4	0.6	162.6
2011	34.8	7.7	3.6	1.1	7.9	11.4	12	5.7	8.3	7.9	1.7	0.7	102.8
MAX.	124.9	130.4	107.3	11.6	12.1	12.1	12.1	12.1	10.1	10.9	20.2	49.4	329.8
MED.	33.4	25.8	16.4	2.7	8.0	10.5	10.3	7.9	4.9	3.1	3.5	7.7	134.2
MIN.	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.9
D.EST	28.9	29.5	18.2	3.0	2.6	2.1	1.7	3.4	2.7	2.5	3.7	11.1	61.3

Elaboración propia

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (mm) - SUB CUENCA CAMELLAQUE

PERIODO: 1952 - 2011

Coefficientes de Regresión Múltiple:

b1	5.7601	b2	0.18137	b3	0.50609
S	1.5611	R^2	0.98425		

Modelo Matemático:

$$Qt = b1 + b2*Qt-1 + b3*PEt + Z*S*(1 - R^2)^{0.5}$$

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
Prom.	17.8	17.0	18.2	10.2	11.5	6.3	5.4	3.6	2.7	2.7	5.0	9.2	109.6
1952	8.6	29.7	8.9	6.2	9.8	11.5	10.6	9.1	6.0	7.2	6.3	7.0	120.8
1953	7.1	35.6	8.8	5.7	10.0	11.1	11.2	6.2	6.0	7.0	7.8	5.9	122.5
1954	7.9	28.1	5.9	6.8	10.5	11.9	10.5	11.3	8.8	7.4	6.0	7.2	122.4
1955	8.9	34.4	6.7	6.1	10.6	11.9	10.4	10.0	8.5	5.6	7.4	6.3	126.8
1956	22.7	38.1	12.1	6.4	9.9	11.4	10.7	9.9	8.7	6.7	5.7	7.2	149.5
1957	14.6	45.5	8.8	8.3	10.4	11.6	11.7	10.3	9.1	6.7	6.3	6.2	149.5
1958	22.7	43.0	12.4	7.2	9.9	11.5	11.0	9.0	8.1	6.0	5.8	7.3	154.1
1959	17.0	38.0	19.4	7.3	8.8	11.3	11.5	8.8	8.2	9.3	5.8	13.0	158.4
1960	12.2	35.9	7.0	6.1	10.5	11.0	11.8	10.0	6.2	6.7	7.2	5.7	130.1
1961	24.6	43.6	13.8	5.8	8.2	10.5	11.5	9.3	7.9	6.4	6.0	11.3	158.8
1962	9.6	49.5	11.4	5.6	9.6	12.1	11.6	11.1	6.5	11.3	7.8	8.0	154.0
1963	18.6	40.3	9.7	7.1	9.9	11.3	11.5	9.3	6.5	7.2	9.3	7.3	148.0
1964	9.6	36.7	14.7	7.4	8.0	12.3	11.5	10.3	8.3	7.4	6.4	8.4	141.1
1965	17.9	33.3	6.9	6.3	11.4	10.7	10.4	10.8	6.7	8.4	8.5	15.3	146.5
1966	8.4	36.0	6.0	8.5	6.3	11.6	9.9	11.7	11.1	6.5	6.2	6.1	128.3
1967	10.3	41.1	28.7	6.0	8.0	11.7	11.4	11.7	5.8	6.2	9.6	24.0	174.6
1968	21.9	45.6	21.3	7.2	6.3	10.2	11.4	11.5	9.9	6.2	9.9	6.5	167.8
1969	16.6	39.7	6.2	9.9	10.9	11.4	11.7	11.3	9.6	7.7	6.3	6.7	147.9
1970	22.7	45.5	19.4	6.2	9.7	11.7	11.6	11.2	8.6	6.3	7.4	22.5	182.9
1971	27.4	79.7	8.6	5.5	10.6	11.5	11.8	11.2	8.5	8.8	6.3	16.2	206.0
1972	56.1	76.1	21.8	10.4	10.9	11.7	11.3	11.8	8.1	6.6	6.4	10.8	241.9
1973	45.2	64.7	20.8	6.7	9.2	11.7	10.3	9.2	7.1	7.9	9.2	6.6	208.6
1974	51.1	93.4	6.0	5.9	8.7	11.1	11.8	7.4	8.8	9.0	8.1	5.8	227.1
1975	26.2	89.0	19.9	10.7	7.1	11.5	11.8	10.9	8.6	6.8	7.5	30.9	240.8
1976	69.9	70.0	9.6	8.3	8.9	12.0	10.8	6.1	7.0	9.2	11.3	6.2	229.2
1977	7.3	82.3	25.4	8.7	10.4	11.8	10.8	11.9	6.5	6.3	8.0	9.6	198.9
1978	49.3	42.4	8.2	6.3	11.7	11.7	9.5	9.8	9.6	10.6	8.0	10.9	188.0
1979	28.5	43.8	15.4	5.9	11.7	11.6	9.5	10.6	10.0	6.8	6.7	8.5	169.0
1980	8.9	36.3	28.6	11.6	11.8	11.5	11.2	9.6	6.2	5.9	7.8	6.2	155.6
1981	28.0	61.0	7.0	7.3	10.9	11.1	11.6	7.0	8.5	6.3	6.6	8.4	173.7
1982	43.6	42.4	17.6	5.7	9.6	10.6	12.0	9.6	5.7	7.4	6.8	5.8	176.7
1983	8.0	39.7	6.1	7.5	11.1	11.2	11.8	9.6	7.5	8.8	6.2	14.4	141.9
1984	71.3	83.4	14.3	8.3	10.6	11.3	11.4	9.1	9.2	8.1	16.5	10.3	264.0
1985	25.5	119.8	15.9	9.3	7.4	10.2	11.8	8.9	6.8	8.9	11.7	24.3	260.3
1986	23.4	73.9	33.7	11.0	9.9	10.9	10.2	7.8	10.1	9.3	5.5	24.4	230.1
1987	49.6	47.6	5.7	7.4	11.4	10.8	7.2	10.4	8.6	6.1	8.0	6.9	179.7
1988	47.7	38.3	27.1	10.6	9.7	11.6	10.2	9.6	6.2	7.6	8.7	7.1	194.4
1989	20.2	47.6	18.9	6.6	8.2	10.1	9.9	8.4	8.9	6.5	5.8	6.0	157.1
1990	24.7	34.9	5.9	5.9	8.4	6.0	10.1	7.4	9.2	7.3	7.1	14.5	141.5
1991	13.4	32.6	16.2	6.0	11.3	9.9	10.2	11.3	8.1	5.8	7.6	6.1	138.6
1992	20.0	31.3	7.0	7.6	11.2	10.6	10.5	5.9	10.8	6.2	5.8	7.7	134.6
1993	16.9	35.0	28.5	6.0	9.0	11.5	10.3	5.9	7.4	7.7	8.3	8.8	155.4
1994	21.9	57.0	15.0	6.6	8.9	11.6	10.9	11.7	10.3	6.6	7.5	17.5	185.7
1995	14.4	46.8	12.7	8.1	9.8	11.6	11.9	11.0	8.1	7.4	5.9	12.8	160.6
1996	36.7	45.2	8.1	5.7	11.2	8.2	11.2	7.1	11.0	8.5	6.3	11.8	170.9
1997	37.9	62.0	12.3	5.6	11.2	9.3	11.3	5.8	7.0	6.2	8.5	7.0	184.2
1998	17.6	43.5	6.8	6.7	10.6	7.5	11.3	9.5	10.9	6.4	6.0	6.4	143.2
1999	16.0	75.9	60.3	6.0	9.0	11.2	11.7	11.7	7.9	8.5	8.6	11.1	237.8
2000	23.6	65.1	11.9	6.1	8.9	11.0	11.3	9.2	9.0	8.6	10.5	5.3	180.3
2001	23.4	43.9	11.9	6.4	9.6	11.3	10.8	9.2	8.4	8.0	10.0	6.1	158.9
2002	30.3	46.7	15.2	6.4	10.5	11.0	9.3	11.1	6.9	6.5	5.9	6.8	166.5
2003	29.0	41.2	16.9	5.6	9.8	11.2	11.3	11.1	8.2	6.2	6.6	5.9	163.1
2004	32.9	40.6	9.0	6.7	10.4	11.5	9.5	9.0	8.6	7.1	7.7	5.7	158.7
2005	19.0	47.0	11.1	6.6	11.3	11.7	10.0	11.2	7.0	7.0	7.0	5.9	154.9
2006	30.1	36.8	6.3	5.9	8.5	11.6	11.5	11.0	8.9	6.4	5.5	5.8	148.3
2007	10.2	39.8	7.3	7.4	10.0	10.8	11.6	11.8	10.1	6.0	6.5	6.7	138.1
2008	19.4	34.8	18.0	6.0	11.1	12.1	12.3	11.8	9.3	8.3	6.9	7.9	158.0
2009	9.4	36.1	6.2	7.4	10.2	10.1	11.6	10.5	7.2	8.8	9.7	6.1	133.4
2010	25.1	56.5	11.1	7.6	10.9	11.3	10.8	11.1	8.8	5.7	7.5	5.8	172.2
2011	24.6	41.1	7.8	6.5	9.9	11.8	12.1	8.8	10.2	10.0	6.8	6.3	155.7
MAX.	71.3	119.8	60.3	11.6	11.8	12.3	12.3	11.9	11.1	11.3	16.5	30.9	264.0
MED.	24.4	49.4	14.1	7.1	9.8	11.1	11.0	9.7	8.3	7.4	7.5	9.7	169.5
MIN.	7.1	28.1	5.7	5.5	6.3	6.0	7.2	5.8	5.7	5.6	5.5	5.3	120.8
D. EST.	15.0	18.5	9.2	1.5	1.3	1.1	0.9	1.7	1.4	1.3	1.9	5.6	35.1

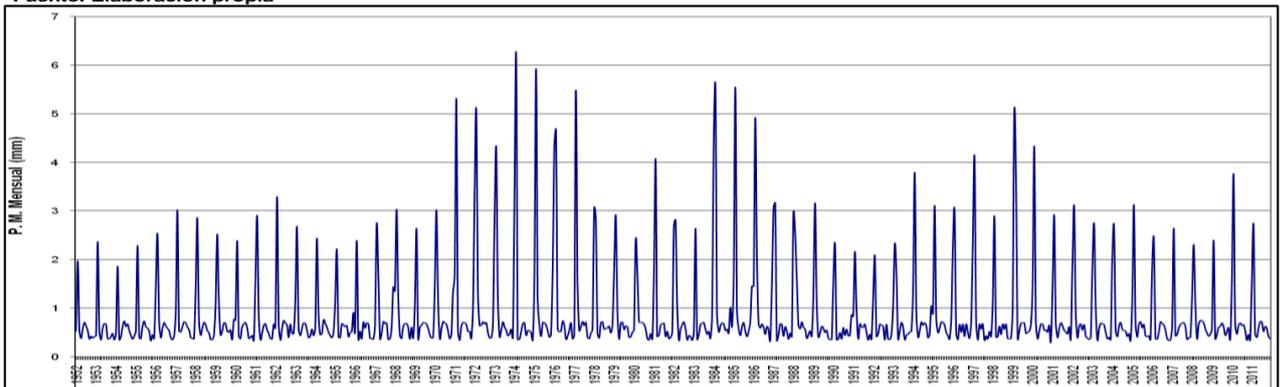
Fuente: Elaboración propia

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (m³/s) - SUB CUENCA CAMELLAQUE
PERIODO: 1952 - 2011

Area **161.09** Km²

Año	Ene. 30	Feb. 28	Mar. 31	Abr. 30	May. 31	Jun. 30	Jul. 31	Ago. 31	Set. 30	Oct. 31	Nov. 30	Dic. 31	Prom. (m ³ /s)
1952	0.54	1.98	0.53	0.38	0.59	0.71	0.64	0.55	0.37	0.43	0.39	0.42	0.628
1953	0.44	2.37	0.53	0.35	0.60	0.69	0.68	0.37	0.38	0.42	0.49	0.35	0.639
1954	0.49	1.87	0.36	0.42	0.63	0.74	0.63	0.68	0.55	0.44	0.37	0.44	0.635
1955	0.55	2.29	0.40	0.38	0.64	0.74	0.63	0.60	0.53	0.33	0.46	0.38	0.661
1956	1.41	2.54	0.73	0.40	0.59	0.71	0.64	0.59	0.54	0.40	0.36	0.43	0.779
1957	0.91	3.03	0.53	0.52	0.63	0.72	0.70	0.62	0.56	0.40	0.39	0.37	0.782
1958	1.41	2.86	0.75	0.45	0.60	0.71	0.66	0.54	0.50	0.36	0.36	0.44	0.805
1959	1.06	2.53	1.17	0.45	0.53	0.71	0.69	0.53	0.51	0.56	0.36	0.78	0.823
1960	0.76	2.39	0.42	0.38	0.63	0.68	0.71	0.60	0.38	0.40	0.45	0.34	0.679
1961	1.53	2.90	0.83	0.36	0.49	0.65	0.69	0.56	0.49	0.38	0.37	0.68	0.828
1962	0.59	3.30	0.68	0.35	0.58	0.75	0.70	0.67	0.40	0.68	0.48	0.48	0.805
1963	1.16	2.69	0.59	0.44	0.60	0.70	0.69	0.56	0.40	0.43	0.57	0.44	0.772
1964	0.60	2.45	0.88	0.46	0.48	0.77	0.69	0.62	0.51	0.45	0.40	0.50	0.734
1965	1.12	2.21	0.41	0.39	0.69	0.66	0.63	0.65	0.42	0.51	0.53	0.92	0.760
1966	0.52	2.40	0.36	0.53	0.38	0.72	0.59	0.70	0.69	0.39	0.39	0.37	0.670
1967	0.64	2.74	1.72	0.37	0.48	0.73	0.69	0.71	0.36	0.37	0.59	1.45	0.904
1968	1.36	3.04	1.28	0.45	0.38	0.63	0.69	0.69	0.61	0.37	0.61	0.39	0.875
1969	1.03	2.64	0.38	0.61	0.65	0.71	0.71	0.68	0.59	0.46	0.39	0.40	0.772
1970	1.41	3.03	1.17	0.39	0.58	0.73	0.70	0.68	0.53	0.38	0.46	1.35	0.951
1971	1.70	5.31	0.52	0.34	0.64	0.71	0.71	0.67	0.53	0.53	0.39	0.98	1.085
1972	3.49	5.07	1.31	0.65	0.66	0.73	0.68	0.71	0.50	0.40	0.40	0.65	1.269
1973	2.81	4.31	1.25	0.42	0.55	0.72	0.62	0.55	0.44	0.47	0.57	0.40	1.093
1974	3.17	6.22	0.36	0.36	0.52	0.69	0.71	0.45	0.55	0.54	0.51	0.35	1.203
1975	1.63	5.93	1.20	0.66	0.43	0.72	0.71	0.66	0.54	0.41	0.46	1.86	1.266
1976	4.35	4.66	0.58	0.52	0.53	0.74	0.65	0.37	0.43	0.55	0.70	0.37	1.205
1977	0.45	5.48	1.53	0.54	0.63	0.73	0.65	0.71	0.41	0.38	0.50	0.58	1.048
1978	3.07	2.82	0.49	0.39	0.70	0.73	0.57	0.59	0.60	0.63	0.50	0.66	0.979
1979	1.77	2.91	0.93	0.37	0.71	0.72	0.57	0.64	0.62	0.41	0.41	0.51	0.881
1980	0.55	2.42	1.72	0.72	0.71	0.71	0.67	0.58	0.38	0.35	0.48	0.37	0.807
1981	1.74	4.06	0.42	0.45	0.65	0.69	0.70	0.42	0.53	0.38	0.41	0.51	0.914
1982	2.71	2.82	1.06	0.35	0.58	0.66	0.72	0.58	0.35	0.44	0.42	0.35	0.921
1983	0.49	2.65	0.36	0.47	0.67	0.69	0.71	0.57	0.47	0.53	0.39	0.86	0.739
1984	4.43	5.55	0.86	0.52	0.64	0.70	0.69	0.55	0.57	0.49	1.02	0.62	1.388
1985	1.58	7.98	0.96	0.58	0.44	0.63	0.71	0.53	0.42	0.53	0.73	1.46	1.380
1986	1.45	4.92	2.03	0.68	0.60	0.68	0.61	0.47	0.63	0.56	0.34	1.47	1.203
1987	3.08	3.17	0.34	0.46	0.68	0.67	0.43	0.62	0.54	0.37	0.50	0.42	0.940
1988	2.96	2.55	1.63	0.66	0.58	0.72	0.61	0.58	0.39	0.46	0.54	0.43	1.009
1989	1.25	3.17	1.14	0.41	0.49	0.63	0.60	0.51	0.55	0.39	0.36	0.36	0.822
1990	1.54	2.32	0.35	0.37	0.50	0.37	0.61	0.45	0.57	0.44	0.44	0.87	0.737
1991	0.83	2.17	0.97	0.37	0.68	0.62	0.61	0.68	0.50	0.35	0.47	0.37	0.720
1992	1.24	2.09	0.42	0.47	0.68	0.66	0.63	0.35	0.67	0.37	0.36	0.46	0.701
1993	1.05	2.33	1.71	0.37	0.54	0.71	0.62	0.36	0.46	0.47	0.52	0.53	0.806
1994	1.36	3.80	0.90	0.41	0.54	0.72	0.66	0.70	0.64	0.40	0.47	1.05	0.971
1995	0.90	3.12	0.76	0.50	0.59	0.72	0.71	0.66	0.51	0.44	0.37	0.77	0.838
1996	2.28	3.01	0.49	0.36	0.67	0.51	0.68	0.43	0.68	0.51	0.39	0.71	0.892
1997	2.36	4.13	0.74	0.35	0.67	0.58	0.68	0.35	0.44	0.37	0.53	0.42	0.968
1998	1.09	2.90	0.41	0.42	0.64	0.46	0.68	0.57	0.68	0.38	0.37	0.38	0.749
1999	0.99	5.06	3.63	0.37	0.54	0.69	0.71	0.70	0.49	0.51	0.53	0.67	1.241
2000	1.46	4.33	0.72	0.38	0.53	0.68	0.68	0.55	0.56	0.51	0.66	0.32	0.949
2001	1.45	2.92	0.71	0.40	0.58	0.70	0.65	0.55	0.52	0.48	0.62	0.37	0.830
2002	1.88	3.11	0.91	0.40	0.63	0.68	0.56	0.67	0.43	0.39	0.36	0.41	0.870
2003	1.80	2.75	1.02	0.35	0.59	0.70	0.68	0.67	0.51	0.38	0.41	0.36	0.850
2004	2.04	2.70	0.54	0.42	0.63	0.71	0.57	0.54	0.54	0.43	0.48	0.34	0.828
2005	1.18	3.13	0.67	0.41	0.68	0.73	0.60	0.67	0.43	0.42	0.44	0.35	0.810
2006	1.87	2.45	0.38	0.37	0.51	0.72	0.69	0.66	0.55	0.38	0.34	0.35	0.773
2007	0.63	2.65	0.44	0.46	0.60	0.67	0.70	0.71	0.63	0.36	0.40	0.40	0.721
2008	1.21	2.32	1.08	0.37	0.67	0.75	0.74	0.71	0.58	0.50	0.43	0.47	0.819
2009	0.58	2.40	0.37	0.46	0.61	0.63	0.70	0.63	0.45	0.53	0.60	0.37	0.695
2010	1.56	3.76	0.67	0.47	0.65	0.70	0.65	0.67	0.55	0.34	0.47	0.35	0.904
2011	1.53	2.74	0.47	0.40	0.60	0.73	0.73	0.53	0.63	0.60	0.42	0.38	0.813
MAX.	4.43	7.98	3.63	0.72	0.71	0.77	0.74	0.71	0.69	0.68	1.02	1.86	1.39
MED.	1.518	3.291	0.846	0.442	0.592	0.687	0.660	0.586	0.514	0.443	0.469	0.581	0.886
MIN.	0.440	1.869	0.343	0.342	0.377	0.375	0.431	0.346	0.351	0.334	0.342	0.321	0.628
D. EST	0.932	1.229	0.556	0.093	0.078	0.067	0.054	0.103	0.089	0.077	0.117	0.338	0.187

Fuente: Elaboración propia

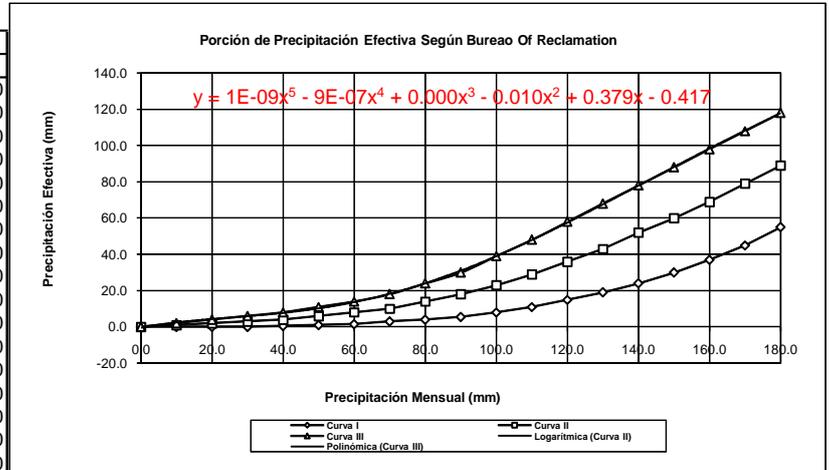


SUSTENTO Y CALCULO EN HOJA ELECTRONICA EXCEL

GENERACION CAUDALE SMEDIOS MENSUALES PARA LA SUB CUENCA DEL RIO CAMILLAQUI

Precipitación Efectiva según el Bureau of Reclamation

P mm	P. Efectiva: PE (mm)		
	Curva I	Curva II	Curva III
0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	1.0	2.0
20.0	0.0	2.0	4.0
30.0	0.0	3.0	6.0
40.0	0.5	4.0	8.0
50.0	1.0	6.0	11.0
60.0	1.5	8.0	14.0
70.0	3.0	10.0	18.0
80.0	4.0	14.0	24.0
90.0	5.5	18.0	30.0
100.0	8.0	23.0	39.0
110.0	11.0	29.0	48.0
120.0	15.0	36.0	58.0
130.0	19.0	43.0	68.0
140.0	24.0	52.0	78.0
150.0	30.0	60.0	88.0
160.0	37.0	69.0	98.0
170.0	45.0	79.0	108.0
180.0	55.0	89.0	118.0
	0.15	0.3	0.5



Cálculo del Coeficiente de Escurrimiento

Método de la Misión Alemana		Método de L - Turc	
Precipitación Media Anual: P	764.8 mm	Temperatura Media Anual: T	8.32 °C
Evaporación Total Anual: ETP	1202.39 mm	Coefficiente de Temperatura: L	536.8
		Déficit de Escurrimiento: D	446.8 mm/año
Coefficiente de Escurrimiento: C	0.32	Coefficiente de Escurrimiento: C	0.42

Características Generales de la Microcuenca

Area de la cuenca: A	61.64	Km2
Altitud Media de la Microcuenca: H	3875.00	msnm
Pendiente Media de la Microcuenca	0.00	m/m
Precipitación Media Anual: P	764.81	mm
Evaporación Total Anual: ETP	1202.39	mm
Temperatura Media Anual: T	8.32	°C
Déficit de Escurrimiento: D	446.78	mm/año
Coefficiente de Escurrimiento: C	0.42	
Coefficiente de Agotamiento: a	0.02	
Relación de Caudales (30 días): bo	0.56	
Area de lagunas y acuíferos	0.00	Km2
Gasto Mensual de Retención: R	50.000	mm/año

Coefficientes de Cálculo - Precipitación Efectiva

Coef.	Curva I	Curva II	Curva III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.00185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1.204E-05	0.00004349	0.00005534
a4	1.44E-07	-8.9E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

El rango de aplicación de los coeficientes de la ecuación Polinómica de la PE está comprendida para $0 < P < 250$ mm

Resultado de la regresión

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98436261 R ²
Coefficiente de determinación R ²	0.96886974
R ² ajustado	0.96207413
Error típico	1.55538009 S
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	679.8927334	339.9463667	140.5197388	1.63318E-07
Residuos	9	21.77286499	2.419207221		
Total	11	701.6655984			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	b1	0.86819386	6.475449843	0.000114683	3.657954838	7.585936746	3.657954838	7.585936746	-6.535473782	7.488278873
Variable X 1	b2	0.070337804	2.781833325	0.021336733	0.036552881	0.354783216	0.036552881	0.354783216	0.201041621	0.512840565
Variable X 2	b3	0.038095121	12.26921867	6.37249E-07	0.381220222	0.553574525	0.381220222	0.553574525	0.503876073	0.752291601

CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION PARA EL AÑO PROMEDIO

Qt	Qt-1	PE
28.010	12.050	45.370
28.300	28.010	30.860
17.950	28.300	18.862
9.510	17.950	2.333
6.882	9.510	0.432
6.840	6.882	0.217
5.650	6.840	0.126
8.190	5.650	0.517
9.250	8.190	1.065
7.580	9.250	1.761
9.540	7.580	3.048
12.050	9.540	8.773

Fuente: Elaboración propia

b1	5.621945792	b2	0.195668049	b3	0.467397374
S	1.555380089	R ²	0.984362607		

PRECIPITACION EFECTIVA GENERADA EN LA SUB CUENCA CAMILLAQUI
PERIODO: 1952-2011

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
1952	36.5	34.2	16.5	0	3.5	8.9	8.6	5.8	0	0.8	0.4	3.4	118.6
1953	80.3	64.7	21.2	0.2	4.4	6.2	8	5.4	1.6	5.4	3.6	13.7	214.7
1954	60.8	46.3	25	0.2	6.1	8.1	7.2	7.2	0.1	0.3	6.9	7.2	175.4
1955	43.1	51	26.1	4.8	6.3	8.9	8	7.5	1	1.6	1.8	13.7	173.8
1956	42.8	23.4	25.8	0.7	5	6.8	8.6	6.5	3.8	0.3	0.5	0	124.2
1957	67.3	59.8	24.6	0.2	6.5	7.6	8.2	5.5	0.4	1.2	0.9	0.9	183.1
1958	43.1	52.4	28.2	0.1	6.6	7.7	6.7	4.4	0	0.1	0.2	16.4	165.9
1959	61.9	31	46	0.4	4.8	7.7	8.6	0	0.1	2.1	0	3.9	166.5
1960	41.4	31.1	33	0.1	5.2	6.2	8.9	6.2	0.2	0.1	7.8	1	141.2
1961	52.1	47.5	33.1	2.8	3.3	7.1	7.6	5.7	1	0	0.2	6	166.4
1962	49.7	60.4	39.8	0	1.7	7.7	8.9	8.2	1.7	1.6	0.2	6.6	186.5
1963	60.3	26.4	17.1	0.4	6.3	7.5	8.7	2.1	0.2	0.4	0.5	2.4	132.3
1964	15.2	32.6	15.6	0	3.1	8.9	7.6	4.6	0.5	0.1	0	0.4	88.6
1965	26.1	8	29.9	0.6	7.4	9.3	6.9	7.2	1.9	0	0.9	6.8	105.0
1966	2.9	12.7	0.1	0.8	0.7	9.3	8	9.3	0.1	0.7	0.6	15.7	60.9
1967	5.4	46	50.1	0.6	0.1	9.3	9.3	8.9	0.2	0.1	5.1	45.5	180.6
1968	26.9	72.1	57.6	0.3	0.4	0.6	8.1	8.4	0.7	4.4	17.8	0.3	197.6
1969	71.6	57.3	15.2	0	6.1	6	8.6	5.8	0.8	0.1	2	7.4	180.9
1970	52.1	60.9	55.7	0.7	5.2	8.7	7.4	4.4	0	0.2	0.9	47.6	243.8
1971	42.5	155	2.7	3.7	6.2	6.7	8	3.1	0.1	0.8	11.6	29	269.4
1972	127.6	66.2	36.8	1.9	4.3	8.3	6.9	7.9	0.6	3.2	0.2	36.4	300.3
1973	130.2	57.8	43.9	16	6.2	8.1	5.1	2.2	0.2	0	0.4	2.8	272.9
1974	112.8	182.6	4.2	38.4	0.3	7.1	9.2	17.4	2.2	0.1	0.9	4.7	379.9
1975	59.8	106.1	35.9	2	0.1	2.8	8.8	4.1	0	9.5	0.7	116	345.8
1976	153.9	66.2	27.7	1.3	0.1	8.3	8.2	0.3	3.7	5.6	6.3	2.6	284.2
1977	11.8	99.5	95.2	6.8	9	9.3	3.1	8.4	2.1	1.9	7.2	16.7	271.0
1978	103.7	18.9	18.2	1.6	8.5	9.3	7	4.8	0.9	7.5	16.4	25.5	222.3
1979	69.1	22.8	67.9	3.6	7.2	8	4.3	6.8	5	0.1	13.1	19.3	227.2
1980	53.5	9.7	98.7	2.5	7.2	7.6	5	0.4	6.8	0.6	0.2	16.2	208.4
1981	43.3	82.9	11.2	1.2	3	5.7	8.4	3.7	1.4	0.4	0.1	19.8	181.1
1982	51.1	68	25.1	1.2	3	5.5	8.7	4.4	0.6	0.7	0.6	13.9	182.8
1983	58.5	80	13.9	0.4	4.9	5.3	8.2	3.4	1	0.8	0.2	13.1	189.7
1984	96.5	119.1	37	0.8	2.8	7	7.6	2.5	2.3	1.7	1.2	16.1	294.6
1985	31.4	153.2	46.7	14.2	0.1	0.8	7.5	2.1	8.5	0.7	59.2	55.1	379.5
1986	38.1	127.6	61.9	19.9	6.8	2.5	7.4	0.7	2.4	0.5	0.2	35.3	303.3
1987	131.5	6	7.4	0	7.2	5.3	1.9	7.9	1.9	2.2	32.3	0	203.6
1988	114.5	3.5	92.1	23.6	4.4	9.1	8.5	5.2	1.4	0.7	1.5	10.8	275.3
1989	61.7	45.5	58.2	0	4.3	7.3	5.9	3.1	1.3	5.7	0	1.7	194.7
1990	60.7	0.5	1.6	0.6	2.3	1.6	6.4	2.3	3	4.4	7.1	47.2	137.7
1991	26.5	12.8	36.5	3.4	3.4	0	7	8.3	3.7	0.6	0.7	5	107.9
1992	46.9	23.7	0	1	4.8	8.7	7.7	0.4	4.1	0.4	4.3	1.6	103.6
1993	83.3	5	51.8	0.2	6.5	8.1	9.2	0	1.6	1.7	16.9	7.5	191.8
1994	53.2	37.5	18.8	1.8	3.7	8.7	8.7	5	6.1	3.6	2.3	41.8	191.2
1995	27.4	14.6	34.3	2.2	6.3	8.8	9.1	6.2	3	1.5	3.2	23.5	140.1
1996	85.6	32.1	16.5	0.1	3.6	0.2	5.2	0	5.9	1.6	7.8	14.3	172.9
1997	131.6	83.7	41.8	3.5	5.5	0.7	7.7	3.2	10	0.1	9.3	1.2	298.3
1998	25.7	11.5	24.1	2.8	2.8	3.5	7.9	1.4	4.8	3.3	2.4	0.6	90.8
1999	37.1	102	137.5	5.3	1	8.4	7.9	7.9	0.3	29.8	2.1	9.1	348.4
2000	81	64.5	30.9	0.1	5.2	4.8	8.9	0.8	4.1	3.6	1.6	9.8	215.3
2001	120.9	71	82.1	2.8	5.3	2.2	5.3	1.7	2.8	12.7	0.1	9.9	316.8
2002	51.1	70.6	65.9	17.5	5	4.4	0.5	5.5	1.9	0	0.3	14	236.7
2003	86.7	35.1	95.6	0.2	2.2	6.1	7.3	5.3	0.1	0.1	0.2	5.2	244.1
2004	124.9	25.3	7.2	0.8	4.3	8.4	1.2	0.1	1	1.8	0.6	14	189.6
2005	37.6	59.2	10.4	0	7.6	8.4	3.5	8	0.3	0.5	0.7	23.4	159.6
2006	82.8	21.3	14.2	1.9	1.1	8.2	7.2	4.8	1.4	0	2.1	4.1	149.1
2007	41.7	33.5	11.7	1.2	2.2	3.7	8.7	7.9	3.2	0.2	0.1	5.7	119.8
2008	68.2	37.1	25.7	0.4	5.6	8.3	8.9	7.5	1.3	0.1	4.9	9.6	177.6
2009	38.3	20.5	21.9	0	3.6	2.1	7.9	4.9	1.1	0	0.7	7.2	108.2
2010	66.4	90.8	14.4	1.3	6.1	8.2	8.5	8	0.6	0	0.2	1.7	206.2
2011	53	37.8	39.1	3.7	2.6	7.7	8.9	4.3	4	2.8	5.5	6.5	175.9
MAX.	153.9	182.6	137.5	38.4	9.0	9.3	9.3	17.4	10.0	29.8	59.2	116.0	379.9
MED.	62.7	53.0	35.5	3.4	4.3	6.5	7.3	4.9	2.0	2.2	4.6	14.9	201.2
MIN.	2.9	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.9
D.EST	34.7	39.4	28.0	6.8	2.3	2.7	2.0	3.2	2.2	4.4	9.2	18.9	73.9

Fuente: Elaboración propia

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (mm) - SUB CUENCA CAMILLAQUI
PERIODO: 1952 - 2011

Coefficientes de Regresión Múltiple:

b1	7.6539	b2	0.173	b3	0.531
S	11.528	R^2	0.82		

Modelo Matemático:

$$Qt = b1 + b2*Qt-1 + b3*PEt + Z*S*(1 - R^2)^{0.5}$$

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
Prom.	46.5	42.0	30.5	25.7	13.1	4.6	4.0	2.8	2.5	2.7	0.8	42.5	217.8
1952	37.00	64.65	18.81	14.36	13.77	15.67	12.61	10.19	1.63	10.32	7.57	13.78	220.34
1953	51.33	70.81	11.48	6.18	16.82	7.05	23.24	15.45	11.75	3.68	4.19	18.00	239.98
1954	41.09	76.09	20.26	6.34	13.33	13.60	2.63	8.24	7.70	-5.84	10.57	15.51	209.53
1955	36.05	70.91	20.43	12.61	21.39	15.20	7.51	14.16	3.09	3.52	9.55	22.73	237.17
1956	35.39	69.00	27.10	14.09	8.96	17.91	19.15	15.08	4.17	13.03	3.71	13.81	241.39
1957	43.83	84.49	20.50	3.92	9.96	15.61	17.73	4.16	14.59	11.89	9.39	6.75	242.82
1958	28.88	67.50	22.75	8.11	13.18	7.73	14.34	6.97	13.52	2.57	5.84	14.12	205.51
1959	43.66	55.18	30.73	12.31	18.36	4.64	10.01	9.97	13.94	21.30	2.49	15.00	237.60
1960	29.36	67.15	20.44	8.81	8.06	3.25	17.56	11.43	5.20	15.62	13.25	1.04	201.17
1961	42.17	67.27	32.85	8.28	13.54	4.64	16.05	4.85	8.83	3.81	12.11	7.59	221.97
1962	38.63	81.77	32.40	3.58	4.97	20.41	11.49	8.32	5.19	7.96	18.91	10.72	244.37
1963	42.97	64.10	25.24	-1.23	12.44	0.90	8.20	8.47	10.01	14.00	9.16	7.98	202.25
1964	18.46	55.56	12.40	9.65	8.88	24.96	11.57	9.35	11.01	8.48	19.08	5.57	194.98
1965	8.33	52.78	27.06	4.79	14.45	8.49	12.14	9.05	6.07	16.42	11.14	13.31	184.03
1966	4.87	52.32	7.63	5.66	8.05	5.62	7.21	7.43	13.07	0.04	1.57	19.17	132.65
1967	9.15	50.12	37.65	9.57	6.66	8.20	22.59	9.85	9.65	12.30	11.89	36.08	223.72
1968	26.94	76.80	40.14	2.09	9.38	13.23	1.88	6.73	13.21	9.03	13.81	8.41	221.65
1969	49.96	73.40	10.15	6.44	9.65	9.81	11.14	11.58	5.68	-5.03	18.32	21.18	222.28
1970	39.78	78.99	34.13	12.66	9.18	8.76	11.55	11.70	4.49	5.80	8.44	30.38	255.86
1971	37.09	131.98	11.72	2.01	8.94	12.21	15.37	10.17	6.96	6.76	24.95	29.45	297.62
1972	78.38	89.81	30.24	11.85	7.77	11.83	11.85	12.39	4.65	12.26	13.90	36.96	321.89
1973	79.94	92.68	37.80	14.99	11.60	12.49	-3.91	10.82	2.61	2.64	10.42	17.27	289.34
1974	67.17	154.75	14.93	23.20	8.53	0.06	9.94	13.91	1.26	6.62	2.83	7.24	310.46
1975	39.83	113.45	32.62	6.19	11.96	16.29	11.90	6.44	20.16	8.80	7.37	71.63	346.63
1976	106.28	99.96	21.46	7.23	11.39	15.59	19.78	4.26	10.28	10.87	16.44	9.16	332.70
1977	18.81	116.00	59.82	1.54	9.35	10.21	5.84	13.19	10.26	7.64	11.03	10.95	274.63
1978	70.07	65.59	10.75	8.71	7.87	8.96	13.54	18.54	14.04	10.07	18.58	16.62	263.34
1979	53.53	62.08	42.65	6.01	11.84	4.12	12.48	7.47	9.98	4.90	15.73	19.05	249.81
1980	45.64	52.73	55.51	8.98	13.57	4.11	13.83	11.95	9.17	1.40	6.76	9.95	233.63
1981	27.99	94.00	9.76	9.49	14.22	13.89	7.15	19.76	10.88	6.41	1.80	13.81	229.17
1982	40.02	86.35	24.42	5.57	17.91	8.79	16.72	7.63	4.10	11.57	9.48	11.68	244.25
1983	35.23	94.93	12.61	-4.76	8.93	7.47	13.69	11.98	2.19	6.38	10.80	20.84	220.29
1984	55.68	108.98	31.50	4.98	2.92	11.88	4.81	5.41	16.99	6.21	20.77	10.73	280.88
1985	22.68	141.02	42.90	14.36	10.65	8.40	15.43	8.31	10.29	9.01	40.99	34.90	358.92
1986	34.06	144.48	39.88	17.31	16.84	14.49	18.09	0.30	5.75	14.52	1.37	31.71	338.80
1987	80.71	65.91	4.94	5.15	7.57	15.17	7.07	15.27	8.14	10.70	19.26	4.45	244.35
1988	69.13	51.67	51.14	18.89	6.08	6.50	11.04	17.79	7.03	8.52	4.14	13.30	265.21
1989	45.05	80.95	35.40	3.10	16.19	11.13	11.47	7.97	10.35	14.34	6.94	10.47	253.36
1990	36.30	52.33	9.30	9.48	-4.03	5.17	13.60	5.09	6.43	19.64	11.14	24.37	188.81
1991	21.56	47.99	26.16	15.41	11.84	8.41	7.54	14.00	16.34	8.55	7.87	9.37	195.04
1992	26.52	49.26	4.18	18.50	17.11	3.16	5.83	8.70	13.99	10.40	10.14	3.00	170.78
1993	57.26	37.16	45.06	13.60	10.85	14.60	14.46	6.80	4.97	16.24	14.95	8.09	244.03
1994	35.83	71.90	11.92	11.67	12.85	12.09	11.86	15.90	7.57	15.20	10.45	27.58	244.83
1995	25.14	58.04	30.15	4.27	4.46	18.36	13.66	10.09	13.00	9.60	13.63	29.82	230.21
1996	53.23	67.44	20.32	6.80	22.27	8.39	9.72	8.26	21.89	9.51	3.05	16.25	247.12
1997	86.11	97.29	22.00	5.48	12.84	3.97	5.76	9.14	23.50	6.92	9.60	8.38	291.02
1998	17.75	70.81	23.03	2.06	8.15	10.79	4.37	2.89	12.10	6.01	9.41	5.56	172.91
1999	34.17	90.46	87.46	8.18	5.67	7.01	13.45	11.20	12.08	32.76	3.43	-0.93	304.95
2000	55.41	101.75	25.47	15.62	11.91	11.19	9.33	8.10	8.94	12.36	5.44	2.44	267.96
2001	66.98	90.89	53.05	14.97	11.82	10.08	4.07	12.10	2.90	9.27	0.64	20.34	297.10
2002	37.12	95.09	36.18	29.51	14.39	13.30	9.62	14.04	8.80	18.23	8.93	16.36	301.57
2003	61.58	77.67	59.66	-7.37	10.47	9.45	8.23	11.99	1.37	13.33	7.57	12.74	266.69
2004	83.74	64.77	6.93	13.88	11.48	5.83	4.69	10.19	10.07	8.40	3.07	12.38	235.43
2005	35.98	74.38	13.17	13.34	14.82	11.60	0.03	15.08	-0.52	3.13	1.87	23.48	206.35
2006	59.22	49.96	10.08	10.70	4.71	9.94	12.14	15.95	13.18	-0.53	-0.17	4.90	190.09
2007	26.79	54.57	16.95	12.38	11.11	13.00	5.48	16.04	17.01	13.56	10.42	12.67	209.98
2008	52.73	71.58	29.81	14.57	21.02	24.65	23.72	19.98	20.85	20.24	21.68	22.73	343.55
2009	31.60	76.94	20.27	6.63	10.66	8.00	12.02	9.53	8.74	7.00	9.50	13.11	213.99
2010	31.03	82.92	7.87	-1.39	6.60	0.64	-2.11	5.48	0.41	-6.00	1.36	1.42	128.24
2011	40.28	54.41	32.75	13.88	12.66	17.75	18.29	13.49	14.65	15.27	15.71	15.82	264.97
MAX.	106.28	154.75	87.46	29.51	22.27	24.96	23.72	19.98	23.50	32.76	40.99	71.63	358.92
MED.	43.52	77.73	26.90	9.09	11.15	10.44	11.01	10.51	9.44	9.29	10.24	15.85	245.17
MIN.	4.87	37.16	4.18	-7.37	-4.03	0.06	-3.91	0.30	-0.52	-6.00	-0.17	-0.93	128.24
D. EST.	20.51	24.91	16.08	6.41	4.62	5.35	5.82	4.20	5.46	6.66	7.14	11.59	49.88

Fuente: Elaboración propia

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS (m³/s) - SUB CUENCA CAMILLAQUI PERIODO: 1952 - 2011

Area Km²

1952	0.88	1.65	0.43	0.34	0.32	0.37	0.29	0.23	0.04	0.24	0.18	0.32	0.441
1953	1.22	1.80	0.26	0.15	0.39	0.17	0.53	0.36	0.28	0.08	0.10	0.41	0.480
1954	0.98	1.94	0.47	0.15	0.31	0.32	0.06	0.19	0.18	-0.13	0.25	0.36	0.423
1955	0.86	1.81	0.47	0.30	0.49	0.36	0.17	0.33	0.07	0.08	0.23	0.52	0.474
1956	0.84	1.76	0.62	0.34	0.21	0.43	0.44	0.35	0.10	0.30	0.09	0.32	0.482
1957	1.04	2.15	0.47	0.09	0.23	0.37	0.41	0.10	0.35	0.27	0.22	0.16	0.489
1958	0.69	1.72	0.52	0.19	0.30	0.18	0.33	0.16	0.32	0.06	0.14	0.33	0.412
1959	1.04	1.41	0.71	0.29	0.42	0.11	0.23	0.23	0.33	0.49	0.06	0.35	0.472
1960	0.70	1.71	0.47	0.21	0.19	0.08	0.40	0.26	0.12	0.36	0.32	0.02	0.403
1961	1.00	1.71	0.76	0.20	0.31	0.11	0.37	0.11	0.21	0.09	0.29	0.17	0.444
1962	0.92	2.08	0.75	0.09	0.11	0.49	0.26	0.19	0.12	0.18	0.45	0.25	0.491
1963	1.02	1.63	0.58	-0.03	0.29	0.02	0.19	0.19	0.24	0.32	0.22	0.18	0.405
1964	0.44	1.42	0.29	0.23	0.20	0.59	0.27	0.22	0.26	0.20	0.45	0.13	0.391
1965	0.20	1.34	0.62	0.11	0.33	0.20	0.28	0.21	0.14	0.38	0.26	0.31	0.366
1966	0.12	1.33	0.18	0.13	0.19	0.13	0.17	0.17	0.31	0.00	0.04	0.44	0.267
1967	0.22	1.28	0.87	0.23	0.15	0.19	0.52	0.23	0.23	0.28	0.28	0.83	0.442
1968	0.64	1.96	0.92	0.05	0.22	0.31	0.04	0.15	0.31	0.21	0.33	0.19	0.445
1969	1.19	1.87	0.23	0.15	0.22	0.23	0.26	0.27	0.14	-0.12	0.44	0.49	0.447
1970	0.95	2.01	0.79	0.30	0.21	0.21	0.27	0.27	0.11	0.13	0.20	0.70	0.512
1971	0.88	3.36	0.27	0.05	0.21	0.29	0.35	0.23	0.17	0.16	0.59	0.68	0.603
1972	1.86	2.29	0.70	0.28	0.18	0.28	0.27	0.29	0.11	0.28	0.33	0.85	0.643
1973	1.90	2.36	0.87	0.36	0.27	0.30	-0.09	0.25	0.06	0.06	0.25	0.40	0.582
1974	1.60	3.94	0.34	0.55	0.20	0.00	0.23	0.32	0.03	0.15	0.07	0.17	0.633
1975	0.95	2.89	0.75	0.15	0.28	0.39	0.27	0.15	0.48	0.20	0.18	1.65	0.694
1976	2.53	2.55	0.49	0.17	0.26	0.37	0.46	0.10	0.24	0.25	0.39	0.21	0.668
1977	0.45	2.96	1.38	0.04	0.22	0.24	0.13	0.30	0.24	0.18	0.26	0.25	0.554
1978	1.67	1.67	0.25	0.21	0.18	0.21	0.31	0.43	0.33	0.23	0.44	0.38	0.526
1979	1.27	1.58	0.98	0.14	0.27	0.10	0.29	0.17	0.24	0.11	0.37	0.44	0.498
1980	1.09	1.34	1.28	0.21	0.31	0.10	0.32	0.28	0.22	0.03	0.16	0.23	0.464
1981	0.67	2.39	0.22	0.23	0.33	0.33	0.16	0.45	0.26	0.15	0.04	0.32	0.463
1982	0.95	2.20	0.56	0.13	0.41	0.21	0.38	0.18	0.10	0.27	0.23	0.27	0.490
1983	0.84	2.42	0.29	-0.11	0.21	0.18	0.31	0.28	0.05	0.15	0.26	0.48	0.445
1984	1.32	2.78	0.72	0.12	0.07	0.28	0.11	0.12	0.40	0.14	0.49	0.25	0.568
1985	0.54	3.59	0.99	0.34	0.24	0.20	0.36	0.19	0.24	0.21	0.97	0.80	0.723
1986	0.81	3.68	0.92	0.41	0.39	0.34	0.42	0.01	0.14	0.33	0.03	0.73	0.684
1987	1.92	1.68	0.11	0.12	0.17	0.36	0.16	0.35	0.19	0.25	0.46	0.10	0.490
1988	1.64	1.32	1.18	0.45	0.14	0.15	0.25	0.41	0.17	0.20	0.10	0.31	0.526
1989	1.07	2.06	0.81	0.07	0.37	0.26	0.26	0.18	0.25	0.33	0.16	0.24	0.507
1990	0.86	1.33	0.21	0.23	-0.09	0.12	0.31	0.12	0.15	0.45	0.26	0.56	0.377
1991	0.51	1.22	0.60	0.37	0.27	0.20	0.17	0.32	0.39	0.20	0.19	0.22	0.388
1992	0.63	1.25	0.10	0.44	0.39	0.08	0.13	0.20	0.33	0.24	0.24	0.07	0.342
1993	1.36	0.95	1.04	0.32	0.25	0.35	0.33	0.16	0.12	0.37	0.36	0.19	0.482
1994	0.85	1.83	0.27	0.28	0.30	0.29	0.27	0.37	0.18	0.35	0.25	0.63	0.489
1995	0.60	1.48	0.69	0.10	0.10	0.44	0.31	0.23	0.31	0.22	0.32	0.69	0.458
1996	1.27	1.72	0.47	0.16	0.51	0.20	0.22	0.19	0.52	0.22	0.07	0.37	0.494
1997	2.05	2.48	0.51	0.13	0.30	0.09	0.13	0.21	0.56	0.16	0.23	0.19	0.586
1998	0.42	1.80	0.53	0.05	0.19	0.26	0.10	0.07	0.29	0.14	0.22	0.13	0.349
1999	0.81	2.30	2.01	0.19	0.13	0.17	0.31	0.26	0.29	0.75	0.08	-0.02	0.608
2000	1.32	2.59	0.59	0.37	0.27	0.27	0.21	0.19	0.21	0.28	0.13	0.06	0.541
2001	1.59	2.32	1.22	0.36	0.27	0.24	0.09	0.28	0.07	0.21	0.02	0.47	0.595
2002	0.88	2.42	0.83	0.70	0.33	0.32	0.22	0.32	0.21	0.42	0.21	0.38	0.604
2003	1.46	1.98	1.37	-0.18	0.24	0.22	0.19	0.28	0.03	0.31	0.18	0.29	0.532
2004	1.99	1.65	0.16	0.33	0.26	0.14	0.11	0.23	0.24	0.19	0.07	0.28	0.472
2005	0.86	1.89	0.30	0.32	0.34	0.28	0.00	0.35	-0.01	0.07	0.04	0.54	0.415
2006	1.41	1.27	0.23	0.25	0.11	0.24	0.28	0.37	0.31	-0.01	0.00	0.11	0.381
2007	0.64	1.39	0.39	0.29	0.26	0.31	0.13	0.37	0.40	0.31	0.25	0.29	0.419
2008	1.25	1.82	0.69	0.35	0.48	0.59	0.55	0.46	0.50	0.47	0.52	0.52	0.682
2009	0.75	1.96	0.47	0.16	0.25	0.19	0.28	0.22	0.21	0.16	0.23	0.30	0.430
2010	0.74	2.11	0.18	-0.03	0.15	0.02	-0.05	0.13	0.01	-0.14	0.03	0.03	0.265
2011	0.96	1.39	0.75	0.33	0.29	0.42	0.42	0.31	0.35	0.35	0.37	0.36	0.526
MAX.	2.53	3.94	2.01	0.70	0.51	0.59	0.55	0.46	0.56	0.75	0.97	1.65	0.72
MIN.	0.116	0.947	0.096	-0.175	-0.093	0.001	-0.090	0.007	-0.012	-0.138	-0.004	-0.021	0.265
D. EST	0.488	0.635	0.370	0.152	0.106	0.127	0.134	0.097	0.130	0.153	0.170	0.267	0.100

Fuente: Elaboración propia

