



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**ALTERACIÓN DE LOS CAUDALES DEL RÍO ASMAYACU POR
LA PRESENCIA DE LOS FENÓMENOS DEL NIÑO Y DE LA NIÑA
EN LOS ULTIMOS 30 AÑOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
LAS PROBABLES ZONAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA
ASMAYACU-CURAHUASI**

Presentado por:

Bach. Canaza Quispe, Milner

Bach. Gamarra Sánchez, Elissbam

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Luna Loayza, Carlos

CUSCO – PERÚ

2017



DEDICATORIA

A mi madre Florencia.

Por haberme apoyado en todo momento, por creer en mí, por todos sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi padre Marcelino.

Por su paciencia, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado desde siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A Mi hermano Carlos Álvaro

Por estar conmigo en los buenos y malos momentos y apoyarme siempre.

A familiares y amigos

Con quienes nos apoyamos mutuamente siempre en todos los aspectos y quienes celebran conmigo este logro.

Milner Canaza Quispe



DEDICATORIA

Esta tesis la dedico principalmente a la paciencia de mi madre, a su continuo apoyo, calidad y confianza, agradezco a Dios por la tranquilidad y agradable época que pasé desarrollando este proyecto, a mi Padre y hermanos por su aporte, a mi Compañero por las horas de arduo trabajo, pues gracias a todos ellos y a muchos más puedo hoy concluir una de las primeras etapas en mi vida como estudiante.

Elissbam Gamarra Sánchez



AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios en primer lugar por habernos permitido terminar una etapa más en nuestras vidas como es la vida universitaria. A nuestros Padres por estar siempre apoyándonos en los buenos y malos momentos.

A nuestro asesor de Proyecto el Ingeniero Carlos Luna quien siempre estuvo muy pendiente aportando sus recomendaciones e ideas para el desarrollo y culminación de este trabajo.

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Civil, a los Docentes por brindarnos conocimientos durante toda la carrera.

A los amigos y compañeros que aportaron en este proyecto mediante sus consejos, sugerencias y experiencias.

A todos, nuestros más sinceros Agradecimientos.



RESUMEN

Los fenómenos naturales causan anomalías las cuales se expresan en el clima, ya sea mediante vientos, lluvias, temperatura, etc. La alteración de los caudales generados en los últimos 30 años con la presencia de los fenómenos el Niño y de la Niña, es producto de la variación en la precipitación debido a estos fenómenos. Los modelos hidrológicos Lutz Scholz Hec-Hms y el Método Racional Modificado, nos proporcionan datos de los caudales mensuales y caudales máximos, en presencia de los fenómenos anteriormente mencionados y sus variaciones a lo largo de estos últimos años, con los resultados de los caudales mensuales generados (Lutz Scholz), evaluamos la disponibilidad hídrica y con los caudales máximos evaluamos la estructura más importante que es el puente Pisonay, que es nuestro punto de interés en la cuenca Asmayacu, también evaluaremos el tirante más crítico que alcanza el río, el cual ya produjo un desborde e inundación en el poblado de Pisonaypata .

Los máximos caudales generados de 19.9m³/seg. 24.0m³/seg. 30.7m³/seg y 32.9m³/seg para periodos de retorno de 50, 100, 348 y 500 años respectivamente indican que el río se desbordaría en dos zonas vulnerables, puntualmente estas zonas están en las progresivas 0+200 (costado del pueblo de Pisonaypata) y en la progresiva 0+800 río arriba (áreas de cultivo) en donde anteriormente ya se desbordo en el año 2012, teniéndose aun defensa riverieña con muros de gavión en 300 metros desde el puente a lo largo del río.



ABSTRACT

Natural phenomena cause anomalies which are expressed in the climate, whether by means of winds, rains, temperature, etc. The alteration in the flows generated for the last 30 years with the presence of the El Niño and La Niña phenomena is a product of the variation in precipitation due to these phenomena. The Lutz Scholz and Hec-Hms hydrological models and the Rational Modified Method provide us with data on the monthly flows and maximum flows, in the presence of the aforementioned phenomena and their variations over the last years, with the results of the monthly flows (Lutz Scholz), we will evaluate the water availability and with the maximum flows we will evaluate the most important structure that is the Asmayacu bridge, which is our point of interest in the Asmayacu basin, we will also evaluate the most critical bridge that reaches the river, which Already caused an overflow and flood in the town of Pisonaypata.

.The maximum flows generated are $19.9\text{m}^3 / \text{sec}$. $24.0\text{m}^3 / \text{sec}$. $30.7\text{m}^3 / \text{sec}$ and $32.9\text{m}^3 / \text{sec}$ for return periods of 50, 100, 348 and 500 years respectively indicate that the river would overflow in two vulnerable zones, punctually these zones are in the progressive 0 + 200 (side of the village of Pisonaypata) And in the progressive 0 + 800 upstream (areas of cultivation) where it was already already overrun in 2012, having a riverine defense with gabion walls at 300 meters from the bridge along the river.



INTRODUCCIÓN

En nuestra región se presentan diferentes fenómenos naturales, como son El Niño y la Niña, estos fenómenos se presentan cada cierto periodo de tiempo, trayendo como consecuencias distorsiones climáticas, en diferentes zonas del país, algunas más que en otras, tales como precipitaciones excesivas y sequías, estando asociados estos eventos a la ocurrencia del fenómeno del Niño y de la Niña. Es por eso que queremos demostrar la incidencia de estos fenómenos naturales expresados en la alteración de los caudales producidos cuando sucede este tipo de eventos, para así tomar medidas preventivas ante sucesos posteriores, por lo tanto, se toma como zona de estudio la cuenca Asmayacu perteneciente al distrito de Curahuasi siendo nuestro punto de interés para la medición de caudales el puente Asmayacu el cual se encuentra dentro del poblado de Pisonaypata, debido a esto es fundamental conocer las variaciones en los caudales que se presentan en la zona durante la presencia del fenómeno de la Niña que en la sierra está asociado al incremento precipitaciones.

Para realizar este estudio se cuenta con una estación meteorológica muy cerca de la cuenca, la cual nos brinda el historial de datos de las precipitaciones, temperaturas y vientos durante los últimos años.

Esta investigación surge como la necesidad de conocer la alteración de los caudales que se generan en la cuenca en estudio, los cuales han ocasionado desbordes y la erosión excesiva de las paredes del río, hemos definido a este como la problemática en esta zona. Para proseguir debemos buscar objetivos tanto para solucionar el problema principal como los problemas específicos.

Una vez definidos los objetivos procederemos a plantear hipótesis las cuales deben ser corroboradas o descartadas con los estudios realizados en la presente investigación.

De la investigación realizada y con los resultados obtenidos podremos dar conclusiones y las recomendaciones respectivas sobre el tema en investigación y también para futuras investigaciones relacionadas a este tema



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
1 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.....	2
1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general	2
1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos	2
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	2
1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	3
1.2.3 JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD.....	3
1.2.4 JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA.....	3
1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5 HIPÓTESIS.....	5
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL	5
1.5.2 SUB HIPÓTESIS.....	5
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES	5
1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
1.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES	6
1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	7
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL	8
2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	8
2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	9
2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES.....	13



- 2.2.1 FENÓMENOS NATURALES..... 13
 - 2.2.1.1 FENÓMENO NATURAL 13
 - 2.2.1.2 FENÓMENO EL NIÑO..... 14
 - 2.2.1.2.1 El Niño en el Perú: registro histórico..... 15
 - 2.2.1.3 Fenómeno la niña 18
 - 2.2.1.3.1 Características del fenómeno de la Niña 18
 - 2.2.1.3.2 Registro histórico del fenómeno de la niña..... 19
- 2.2.2 EL CICLO HIDROLÓGICO 20
- 2.2.3 LA CUENCA HIDROLÓGICA..... 22
- 2.2.4 CARACTERISTICAS DEL SUELO 22
 - 2.2.4.1 Geología general 22
 - 2.2.4.1.1 Litología 22
 - 2.2.4.1.2 Geomorfología local..... 24
 - 2.2.4.1.3 Estructura y geodinámica 24
 - 2.2.4.2 Geotecnia..... 25
 - 2.2.4.2.1 Geotecnia de la Zona 25
- 2.2.5 CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA..... 25
 - 2.2.5.1 Superficie de la cuenca..... 25
 - 2.2.5.2 Perímetro de la cuenca 26
 - 2.2.5.3 Curva hipsométrica 26
 - 2.2.5.4 Polígono de frecuencia de altitudes 26
 - 2.2.5.4.1 Altitud media 27
 - 2.2.5.4.2 Altitud más frecuente 27
- 2.2.6 ÍNDICES REPRESENTATIVOS..... 27
 - 2.2.6.1 Índice o factor de forma de una cuenca (kf)..... 27
 - 2.2.6.2 Índice de compacidad o índice de gravelius 28
 - 2.2.6.3 Número de orden 29
 - 2.2.6.4 Rectángulo equivalente 29
 - 2.2.6.5 Pendiente de la cuenca (s%): 30
 - 2.2.6.6 Pendiente del cauce principal 31
 - 2.2.6.6.1 Pendiente uniforme..... 31
 - 2.2.6.7 Precipitación 32
 - 2.2.6.7.1 Medición de la precipitación 32
 - 2.2.6.7.2 Cálculo de la precipitación media sobre una zona 33
 - 2.2.6.7.3 Polígonos de Thiessen 33



- 2.2.6.8 Estudio de una tormenta 35
 - 2.2.6.8.1 Intensidad 35
 - 2.2.6.8.2 Duración 35
 - 2.2.6.8.3 Frecuencia 36
- 2.2.7 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN..... 36
 - 2.2.7.1 Análisis visual grafico..... 36
 - 2.2.7.2 Análisis estadístico 37
 - 2.2.7.2.1 Análisis de Saltos 38
 - 2.2.7.2.2 Análisis de Tendencias..... 39
- 2.2.8 COMPLETACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS ... 42
 - 2.2.8.1 Completación de datos 42
- 2.2.9 MODELO HIDROLÓGICO 43
- 2.2.10 GENERACIÓN DE CAUDALES POR EL MÉTODO LUTZ SCHOLZ 43
 - 2.2.10.1 Balance hídrico 43
 - 2.2.10.2 Caudal medio mensual..... 44
 - 2.2.10.3 Escorrentía..... 44
 - 2.2.10.3.1 Escorrentía superficial 44
 - 2.2.10.3.2 Escorrentía subterránea 44
 - 2.2.10.3.3 Coeficiente de escorrentía..... 44
- 2.2.11 COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO..... 45
 - 2.2.11.1 Agotamiento 45
 - 2.2.11.2 definición de coeficiente de agotamiento 45
 - 2.2.11.3 Retención de la cuenca..... 46
 - 2.2.11.4 Precipitación efectiva 46
 - 2.2.11.5 Déficit de escurrimiento..... 46
 - 2.2.11.6 Evapotranspiración..... 47
 - 2.2.11.7 Evapotranspiración potencial 47
 - 2.2.11.8 Almacenamiento 48
- 2.2.12 MODELO HIDROLÓGICO DE GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LUTZ SCHOLZ 48
 - 2.2.12.1 Parámetros hidrológicos para generación de caudales..... 48
 - 2.2.12.1.1 Ecuación de balance hídrico..... 48
 - 2.2.12.1.2 Coeficiente de escurrimiento 49
 - 2.2.12.1.3 Precipitación efectiva para el modelo Scholz 52
 - 2.2.12.1.4 Retención en la cuenca 55



- 2.2.12.1.5 Relación entre descarga y retención 55
- 2.2.12.1.6 Gasto de la retención..... 56
- 2.2.12.1.7 Coeficiente de agotamiento 57
- 2.2.12.1.8 Almacenamiento hídrico 59
- 2.2.12.1.9 Abastecimiento de la retención..... 59
- 2.2.13 CAUDALES MÁXIMOS 60
 - 2.2.13.1 Periodo de retorno de una avenida 60
 - 2.2.13.2 Riesgo de falla de una estructura..... 61
- 2.2.14 MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS..... 62
 - 2.2.14.1 Parámetros empleados en el hec - hms..... 63
 - 2.2.14.1.1 Pérdidas iniciales..... 63
 - 2.2.14.1.2 Número de curva 64
 - 2.2.14.1.3 Tiempo de retraso (Lag time) 65
- 2.2.15 MÉTODO RACIONAL MODIFICADO 65
- 2.2.16 SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLOGICO HEC-RAS
VERSION 5.0.3..... 67
 - 2.2.16.1 Funciones que realiza el Hec Ras..... 67
 - 2.2.16.2 Ventajas y limitaciones del modelo hec-ras v5.0.3..... 68
 - 2.2.16.3 Datos necesarios para el hec-ras..... 70
- 2.2.17 INUNDACIONES..... 72
- 2.2.18 ESTACIÓN METEOROLÓGICA CURAHUASI 73
 - 2.2.18.1 Descripción y estado de la estación meteorológica Curahuasi
73
- 3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 75
 - 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... 75
 - 3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN..... 75
 - 3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN 75
 - 3.1.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 75
 - 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... 76
 - 3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO..... 76
 - 3.2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA..... 77
 - 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA 78
 - 3.3.1 POBLACIÓN 78
 - 3.3.1.1 Descripción de la población 78
 - 3.3.1.2 Cuantificación de la población 78
 - 3.3.2 MUESTRA..... 78



- 3.3.2.1 Descripción de la muestra..... 78
- 3.3.2.2 Cuantificación de la muestra..... 79
- 3.3.2.3 Método de muestreo 79
- 3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra..... 79
- 3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN 79
- 3.4 INSTRUMENTOS 80
- 3.4.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 80
- 3.4.1.1 Formato de precipitación diaria..... 80
- 3.4.1.2 Precipitación mensual..... 81
- 3.4.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERIA 83
- 3.5 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 83
- 3.5.1 PRECIPITACIÓN 83
- 3.6 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS 86
- 3.6.1 UBICACIÓN 86
- 3.6.2 PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACION..... 87
- 3.6.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA ASMAYACU..... 87
- 3.6.3.1 Delimitación de la cuenca 87
- 3.6.3.2 Cálculo del área de la cuenca..... 89
- 3.6.3.3 Cálculo del perímetro de la cuenca..... 90
- 3.6.3.4 Cálculo de la curva hipsometrica 90
- 3.6.3.5 Cálculo de la cota media de la cuenca 93
- 3.6.3.6 Forma de la cuenca 93
- 3.6.3.6.1 Cálculo del Índice o factor de forma (Kf) 93
- 3.6.3.6.2 Cálculo del Índice de compacidad o índice de Gravelius (Kc)
94
- 3.6.3.6.3 Cálculo del Rectángulo Equivalente 95
- 3.6.3.7 Cálculo de la pendiente de la cuenca 97
- 3.6.3.8 Pendiente longitudinal del cauce 98
- 3.6.3.9 Número de orden 99
- 3.6.4 PLUVIOMETRÍA 101
- 3.6.4.1 Red de estaciones meteorológicas 101
- 3.6.4.2 Influencia de las estaciones meteorológicas..... 102
- 3.6.4.2.1 Polígonos de Thiessen para la influencia de las estaciones sobre la cuenca Asmayacu..... 102



- 3.6.5 ANALISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS 104
 - 3.6.5.1 Análisis visual gráfico..... 104
 - 3.6.5.2 Análisis estadístico de saltos y tendencias 107
 - 3.6.5.2.1 Análisis de saltos 109
 - 3.6.5.2.2 Análisis de tendencias 115
- 3.6.6 COMPLETACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL CON EASY FIT 127
 - 3.6.6.1 Histórico de datos de precipitación de la estación meteorológica de Curahuasi 127
 - 3.6.6.2 Completación del histórico de precipitaciones de la estación de Curahuasi 128
- 3.6.7 GENERACIÓN DE LOS CAUDALES MENSUALES POR EL MODELO LUTZ SCHOLZ 144
 - 3.6.7.1 Parámetros morfométricos de la cuenca 144
 - 3.6.7.2 Datos básicos de la cuenca de estudio..... 145
 - 3.6.7.3 Cálculo de parámetros para la obtención de caudales mensuales 148
 - 3.6.7.3.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial anual 148
 - 3.6.7.3.2 Determinación del coeficiente de escurrimiento “C” y el déficit de escurrimiento “D” 149
 - 3.6.7.3.3 Determinación del Coeficiente de agotamiento 150
 - 3.6.7.3.4 Cálculo del coeficiente de agotamiento mediante aforos 152
 - 3.6.7.3.5 Retención de la cuenca (R) 153
 - 3.6.7.3.6 Precipitación efectiva 156
 - 3.6.7.3.7 Gasto de la retención..... 159
 - 3.6.7.3.8 Abastecimiento de la retención..... 161
 - 3.6.7.3.9 Cálculo de los caudales mensuales..... 163
- 3.6.8 CAUDALES MAXIMOS 169
 - 3.6.8.1 Determinación del caudal máximo por el método racional modificado 169
- 3.6.9 CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS CON EL MODELO HEC-HMS 171
- 3.6.10 DETERMINACIÓN DE LAS PROBABLES ZONAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DE ASMAYACU 193
 - 3.6.10.1 Proceso para la determinación de las zonas de inundación con Hec-Ras 194
 - 3.6.10.1.1 Creación del proyecto..... 194
 - 3.6.10.1.2 Importación de secciones del Autocad civil 3D..... 194



3.6.10.1.3 Introducción de las secciones del río..... 195

3.6.10.1.4 Longitud entre sección y sección..... 202

3.6.10.1.5 Introducción del coeficiente de Manning..... 202

3.6.10.1.6 Introducción de los caudales para los diferentes periodos de retorno 204

3.6.10.1.7 Condiciones de borde..... 204

3.6.10.1.8 Ejecución del programa 205

3.6.10.1.9 Resultados del proceso 206

3.6.10.1.10 Probables zonas de inundación..... 209

3.6.10.1.11 Secciones que presentan desbordes..... 209

3.6.10.1.12 Perfil general de velocidades de los caudales 212

4 CAPITULO IV: RESULTADOS213

4.1 CAUDALES MENSUALES GENERADOS LUTZ SCHOLZ 213

4.2 CAUDALES MÁXIMOS GENERADOS CON EL METODO RACIONAL MODIFICADO..... 214

4.3 CAUDALES MÁXIMOS GENERADOS CON EL MODELO HEC-HMS 214

4.4 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN 215

5 CAPITULO V: DISCUSIÓN.....219

6 GLOSARIO221

7 CONCLUSIONES223

8 RECOMENDACIONES226

9 BIBLIOGRAFIA227

10 ANEXOS230

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.....	7
Tabla 2 Recurrencia del fenómeno el Niño por años de presentación.....	16
Tabla 3 Resumen cronológico del fenómeno el niño según su intensidad 1847-1997-19998.....	16
Tabla 4 Cronología de ocurrencia de los fenómenos del Niño en el Perú	17
Tabla 5 Fenómenos del Niño ocurridos en los últimos 30 años.....	17
Tabla 6 Histórico de fenómeno de la Niña 1950-2016	20
Tabla 7 Numero de ocurrencias de el fenomeno la niña en los ultimos 30 años.....	20
Tabla 8 Ecuaciones del coeficiente de escurrimiento y su coeficiente de correlación.....	51
Tabla 9 Límite superior para la precipitación efectiva	53
Tabla 10 Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva	53
Tabla 11 Lámina de agua acumulada en los 3 tipos de almacén hídrico.....	55
Tabla 12 Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje	62
Tabla 13 VALORES DEL NUMERO DE CURVA	64
Tabla 14 Formato de precipitación total diario	80
Tabla 15 Formato de registro de precipitación mensual	82
Tabla 16 Registro de precipitación diaria (ejemplo: año 1985)	84
Tabla 17 Registro de precipitación mensual	85
Tabla 18 Cálculos curva hipsometrica	92
Tabla 19 Cálculo de los valores li del rectángulo equivalente.....	96
Tabla 20 Longitudes de las franjas de las curvas de nivel de la cuenca según su altitud	98
Tabla 21 Precipitación total mensual (mm) - Estación Curahuasi.....	105
Tabla 22 Precipitación mensual (mm) – Estación Curahuasi: Serie 1 y 2.....	108
Tabla 23 Tabla de distribución “t – Student”	111
Tabla 24 Valores para la distribución F de Fischer (a = 0.05).....	114
Tabla 25 Valores registrables entre la precipitación mensual (mm) Vs. el tiempo (1er bloque).....	116
Tabla 26 Valores registrables entre la precipitación mensual (mm) Vs. el tiempo (2do bloque).....	117
Tabla 27 Desviaciones estándar de cada período	122



Tabla 28 Cálculo del producto $t \cdot Sp$ 123

Tabla 29 Datos de precipitación mensual de la estación Curahuasi..... 129

Tabla 30 Resultados de la prueba de bondad de ajuste (enero) 131

Tabla 31 Resultados de la prueba de bondad de ajuste (enero) 133

Tabla 32 Precipitación mensual completada en mm (enero) 137

Tabla 33 Histórico de datos de precipitación mensual de la estación de Curahuasi completado..... 143

Tabla 34 Parámetros morfométricos de la cuenca Asmayacu 144

Tabla 35 Coordenadas del centroide de la cuenca Asmayacu 145

Tabla 36 Cálculo de la radiación extraterrestre de la cuenca 146

Tabla 37 Cuadro resumen: datos básicos de la cuenca 147

Tabla 38 Formulas para la obtencion del coeficiente de escurrimiento..... 149

Tabla 39 Aforos realizados al río Asmayacu 152

Tabla 40 Cálculo de coeficiente de agotamiento por medio de aforos..... 152

Tabla 41 Lámina de agua según la pendiente del suelo 153

Tabla 42 Áreas de los lagos y lagunas 155

Tabla 43 Cálculo de la retención de la cuenca Asmayacu 156

Tabla 44 Cálculo de las precipitaciones efectivas mensuales para el año 1985 159

Tabla 45 Valores de "i" para la temporada seca 160

Tabla 46 Cálculo del gasto mensual (1985)..... 161

Tabla 47 Coeficientes de abastecimiento propuesto por Scholz para la región cusco..... 161

Tabla 48 Coeficientes de abastecimiento propuesto para esta investigación 162

Tabla 49 Calculo del abastecimiento mensual (1985)..... 162

Tabla 50 Calculo de los caudales mensuales por el modelo hidrológico Lutz Scholz 164

Tabla 51 Generación de caudales mensuales con el modelo Lutz Scholz desde 1985 hasta el 2016..... 166

Tabla 52 Cálculo del periodo de retorno 176

Tabla 53 Resultados de las pruebas de bondad de ajuste 178

Tabla 54 Precipitaciones máximas en 24 hrs según el periodo de retorno 179

Tabla 55 Patrón de tormenta..... 181

Tabla 56 Resultados de los caudales máximos con el hec-hms 193



Tabla 57 Valores del coeficiente de Manning	203
Tabla 58 Variación de las velocidades del flujo del río.....	212
Tabla 59 Caudales mensuales (Lutz Scholz)	213
Tabla 60 Caudal máximo (método racional modificado)	214
Tabla 61 Resultados con el modelo HEC-HMS	214
Tabla 62 Incremento de los caudales con fenómeno de la Niña.....	224



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Cuenca de Asmayacu-Curahuasi vista desde el puente.....	1
Ilustración 2 Calentamiento de las aguas del océano Pacífico	15
Ilustración 3 Variación de la temperatura durante el fenómeno de la Niña	18
Ilustración 4 Registro histórico de fenómenos de la Niña	19
Ilustración 5 Ciclo hidrológico.....	21
Ilustración 6 Curva hipsométrica	26
Ilustración 7 Polígono de frecuencia de altitudes (ejemplo)	27
Ilustración 8 Representación del índice de compacidad o de Gravelius	28
Ilustración 9 Número de orden.....	29
Ilustración 10 Rectángulo equivalente	30
Ilustración 11 Longitud del cauce principal	32
Ilustración 12 Polígonos de Thiessen	34
Ilustración 13 Seria histórica del río Bebedero.....	37
Ilustración 16 Almacenamiento hídrico durante época de lluvias (coeficientes a_i %)	60
Ilustración 17 Valores de periodo de retorno.....	61
Ilustración 18 Flujo de diseño de ingeniería	77
Ilustración 19 Mapa de ubicación de la cuenca	86
Ilustración 20 Delimitación de la cuenca	87
Ilustración 21 Delimitación de la cuenca asmayacu.....	88
Ilustración 22 Cálculo de áreas y perímetro en AutoCAD.....	89
Ilustración 23 Áreas según sus altitudes.....	91
Ilustración 24 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes	92
Ilustración 25 Cálculo del factor de forma	94
Ilustración 26 Rectángulo equivalente	96
Ilustración 27 Longitud de franjas	97
Ilustración 28 Número de orden de la cuenca.....	100
Ilustración 29 Mapa de estaciones.....	101
Ilustración 30 Cuenca Asmayacu y las estaciones meteorológicas más cercanas	102
Ilustración 31 Polígonos de Thiessen de las 4 estaciones adyacentes a la cuenca	103
Ilustración 32 Histograma Estación Curahuasi.....	106



Ilustración 33 Histograma con línea de tendencia en la media – Estación Curahuasi..... 120

Ilustración 34 Histograma con línea de tendencia en la Des. Estándar – Estación Curahuasi..... 126

Ilustración 35 Precipitación en (mm) enero (Easyfit)..... 130

Ilustración 36 Precipitación en (mm) enero (Easyfit)..... 132

Ilustración 37 Histograma de distribución log Pearson 3 (enero)..... 134

Ilustración 38 Histograma de distribución normal (enero) 134

Ilustración 39 Histograma de distribución log normal (enero) 135

Ilustración 40 Generación de números aleatorios log Pearson 3 (enero) 135

Ilustración 41 Números aleatorios generados (enero) 136

Ilustración 42 Histograma de distribución log normal (febrero) 138

Ilustración 43 Histograma de distribución log Pearson (febrero)..... 138

Ilustración 44 Histograma de distribución normal (febrero) 139

Ilustración 45 Generación de números aleatorios log normal por Easyfit (febrero) 139

Ilustración 46 Números aleatorios generados (febrero) 140

Ilustración 47 Precipitación mensual completada en mm (febrero)..... 141

Ilustración 48 Conversión de coordenadas UTM a grados minutos y segundos 145

Ilustración 49 Pendientes de la cuenca..... 154

Ilustración 50 Lagos y lagunas de la cuenca asmayacu 155

Ilustración 51 Precipitaciones efectivas (1985) 159

Ilustración 52 Variación del caudal (1985) 165

Ilustración 53 Variación de los caudales mensuales segun el modelo Lutz Scholz en los últimos 30 años 167

Ilustración 54 Sequia severa con fenómeno del niño..... 167

Ilustración 55 Incremento notable de caudales con fenómeno del Niño 168

Ilustración 56 Máximos caudales sin fenómenos naturales 168

Ilustración 57 Creación del proyecto 172

Ilustración 58 Sistema de drenaje embalse y unión 172

Ilustración 59 Elementos de base, pérdida, transformación, base flujo 173

Ilustración 60 Mapa de numero de curva 174

Ilustración 61 Área de lagunas..... 175



Ilustración 62 Máximas precipitaciones..... 177

Ilustración 63 Histograma distribución lognormal 3p 178

Ilustración 64 Cuadro de probabilidades y precipitaciones máximas 179

Ilustración 65 Modelo meteorologico..... 180

Ilustración 66 Control de especificaciones 181

Ilustración 67 Datos de la serie de tiempo 186

Ilustración 68 Simulación de los caudales máximo 187

Ilustración 69 Pico de descarga del caudal..... 188

Ilustración 70 Caudal y altura de precipitación..... 189

Ilustración 71 Resultados de la descarga para un periodo de retorno=50 años
..... 190

Ilustración 72 Caudales en función a los intervalos de tiempo de 6 min 191

Ilustración 73 Caudal máximo para tiempo de retorno 100 años 192

Ilustración 74 Caudal máximo para tiempo de retorno 348 años 192

Ilustración 75 Caudal máximo para tiempo de retorno 500 años 193

Ilustración 76 Creación y archivo del proyecto..... 194

Ilustración 77 Importación de secciones 195

Ilustración 78 Sección 1 (0+00)..... 195

Ilustración 79 Sección 02 (0+50)..... 196

Ilustración 80 Sección 03 (0+100)..... 196

Ilustración 81 Sección 04 (0+150)..... 196

Ilustración 82 Sección 05 (0+200)..... 197

Ilustración 83 Sección 06 (0+250)..... 197

Ilustración 84 Sección 07 (0+300)..... 197

Ilustración 85 Sección 08 (0+350)..... 198

Ilustración 86 Sección 09 (0+400)..... 198

Ilustración 87 Sección 10 (0+450)..... 198

Ilustración 88 Sección 11 (0+500)..... 199

Ilustración 89 Sección 12 (0+550)..... 199

Ilustración 90 Sección 13 (0+600)..... 199

Ilustración 91 Sección 14 (0+650)..... 200

Ilustración 92 Sección 15 (0+700)..... 200

Ilustración 93 Sección 16 (0+750)..... 200

Ilustración 94 Sección 17 (0+800)..... 201



Ilustración 95 Sección 18 (0+850)..... 201

Ilustración 96 Sección 19 (0+900)..... 201

Ilustración 97 Longitudes entre secciones del rio..... 202

Ilustración 98 Coeficiente de Manning para cada sección del río 203

Ilustración 99 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno..... 204

Ilustración 100 Condiciones de borde 205

Ilustración 101 Flujo subcritico..... 205

Ilustración 102 Compilando Hec Ras 206

Ilustración 103 Modelamiento del rio en la zona llana de la cuenca 209

Ilustración 104 Sección Critica 04 (0+150)..... 210

Ilustración 105 Sección Critica 05 (0+200)..... 210

Ilustración 106 Sección Critica 06 (0+250)..... 211

Ilustración 107 Sección Critica 17 (0+800)..... 211

Ilustración 108 Perfil longitudinal del río..... 212

Ilustración 109 Variación de los caudales mensuales según el modelo Lutz Scholz en los últimos 30 años..... 214

Ilustración 110 Sección Critica 04 (0+150)..... 215

Ilustración 111 Sección Critica 05 (0+200)..... 216

Ilustración 112 Zona de desborde identificada (0+200) 216

Ilustración 113 Sección Critica 06 (0+250)..... 217

Ilustración 114 Sección Critica 17 (0+800)..... 217

Ilustración 115 Zona de inundacion identificada (0+800) 218

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La zona de estudio viene siendo afectada por diferentes fenómenos climatológicos a lo largo del tiempo, siendo el más reciente el fenómeno de la Niña del año 2012 el cual trajo consigo el incremento excesivo de las precipitaciones y por lo tanto también en los caudales del río Asmayacu, ocasionando desbordes e inundaciones, en el poblado de Pisonaypata.

Por otra parte, el fenómeno del Niño trae consigo sequias en la sierra, como el ocurrido en los inicios de la década del noventa, periodo en que los pobladores y la agricultura se vieron perjudicados en la cuenca de estudio.

Ante los problemas mencionados, esta investigación propone analizar la incidencia de estos fenómenos y la alteración de los caudales durante un periodo de treinta años contados desde 1985, de esta forma comprender el comportamiento de los caudales y sobre todo prevenir a los habitantes de esta zona ante futuras sequias, desbordes e inundaciones en la cuenca de estudio.

Ilustración 1 Cuenca de Asmayacu-Curahuasi vista desde el puente



Fuente: PROPIA



1.1.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida se alteran los caudales del río Asmayacu por la presencia de los fenómenos del Niño y de la Niña en los últimos 30 años y cuáles serán las probables zonas de inundación en la cuenca de Asmayacu – Curahuasi?

1.1.2.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿De qué manera se alteran los caudales por la presencia del fenómeno de la Niña en la cuenca?
- b) ¿De qué manera se alteran los caudales por la presencia del fenómeno del Niño en la cuenca?
- c) ¿Cuál es el caudal máximo generado por las precipitaciones durante los últimos 30 años?
- d) ¿Cuáles serán las zonas de probable inundación en la cuenca del río Asmayacu por efectos del Fenómeno de la Niña?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Desde el punto de vista de la ingeniería la investigación se justifica por que se dispone de los conocimientos y herramientas técnicas necesarias para absolver los problemas planteados contando así con los programas informáticos necesarios para elaborar esta investigación tales como hojas de cálculo (Excel), programas de dibujo asistido por computador (AutoCAD Civil 3D, ARCGIS), programas de cálculo hidrológico (HEC-HMS y HEC-RAS) y programas estadísticos como el EASY FIT.



Se dispone el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, también el estudio Definitivo Asmayacu – Lucmos de Plan Meris, entre otros textos que sirven como guía en esta investigación.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Se justifica por que atiende un problema social que consiste en determinar la disponibilidad hídrica que es de suma importancia para los pobladores de la zona, que tienen como principal actividad a la agricultura.

La ocurrencia de estos fenómenos altera las precipitaciones trayendo consigo sequias en los años noventa e inundaciones en el año 2012.

Esta investigación puede servir como base a futuras investigaciones a los compañeros de la facultad y a las personas interesadas en el tema.

1.2.3 JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

Esta investigación es viable porque se cuenta con la información necesaria otorgada por el SENAMHI como son los registros de precipitación tanto diaria como mensual de la estación de Curahuasi, también se cuenta con estudios realizados anteriormente por Plan Meris en el año 1995

1.2.4 JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

Esta investigación se justifica porque permitirá conocer la alteración de los caudales ya que nuestra cuenca no cuenta con información higrométrica, también permitirá identificar las probables zonas de inundación de la parte baja de la cuenca

1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene las siguientes limitaciones:



- La zona en estudio se limita a la cuenca del río Asmayacu perteneciente al distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, departamento de Apurímac.
- Se limita al periodo de estudio de 30 años contados desde el año 1985.
- El cálculo de los caudales mensuales se limita al uso del modelo hidrológico de Lutz Scholz
- El cálculo de los caudales máximos se limita al uso del método racional modificado y el modelo HEC-HMS
- El cálculo de las zonas de inundación se limita al uso del software HEC RAS

1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la alteración de los caudales del río Asmayacu ocasionados por la presencia de los fenómenos del Niño y de la Niña en los últimos 30 años e identificar las probables zonas de inundación en la cuenca Asmayacu – Curahuasi.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar el incremento de los caudales por la presencia del fenómeno de La Niña sobre la cuenca Asmayacu.
- b) Determinar la disminución de los caudales por la presencia del fenómeno El Niño sobre la cuenca Asmayacu.
- c) Determinar el caudal máximo generado producto de las precipitaciones durante los últimos 30 años.
- d) Determinar las probables zonas de inundación en la cuenca del río Asmayacu.



1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

El fenómeno del Niño genera cambios climáticos lo cual altera el régimen de los caudales produciendo sequias en el 50% de ocurrencias de estos fenómenos naturales, de igual manera el fenómeno de la Niña también genera variaciones climáticas y produce incrementos en los caudales en un 50% de ocurrencia de estos fenómenos naturales y que estos a su vez generan desbordes en la zona del poblado de Pisonaypata.

1.5.2 SUB HIPÓTESIS

- a) La presencia del fenómeno de la Niña incrementa notablemente las precipitaciones y caudales que se producen normalmente en la zona
- b) La presencia del fenómeno de El Niño disminuye notablemente las precipitaciones y caudales que se producen normalmente en la zona
- c) El caudal máximo calculado se ha presentado en el año 2012 el cual produjo un desborde del río.
- d) Las zonas de probable inundación en la cuenca del rio Asmayacu se encuentran en las zonas llanas, muy cerca al poblado de Pisonaypata.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

- **PRECIPITACIÓN EN PRESENCIA DEL FENÓMENO LA NIÑA.**

Descripción. – Es toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. Las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas de precipitación.

Indicador. - mm/h



- **PRECIPITACIÓN EN PRESENCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO**

Descripción. - Es toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. Las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas de precipitación.

Indicador. - mm/hr.

- **ÁREA DE LA CUENCA.**

Descripción. - Para esta investigación es la medida de la región o superficie de terreno delimitada por la divisoria de aguas.

Indicador. - km²

- **PENDIENTE DE LA CUENCA**

Descripción. - Se denomina pendiente a la inclinación natural de la superficie que comprende una cuenca respecto a la horizontal.

Indicador. - % (porcentaje)

1.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- **CAUDAL.-**

Descripción. – Viene a ser el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río por unidad de tiempo.

Indicador. - m³/s

1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLES DEPENDIENTES			
VARIABLE	DESCRIPCION DE VARIABLE	NIVEL	INDICADORES
Caudal	Es la cantidad de agua, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.	Alto	m3/s
		Medio	
		Bajo	
VARIABLES INDEPENDIENTES			
VARIABLE	DESCRIPCION DE VARIABLE	NIVEL	INDICADORES
Precipitación en presencia del fenómeno La Niña.	Es toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. Las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas de precipitación.	Alto	mm/hr.
		Medio	
		Bajo	
Precipitación en presencia del fenómeno El Niño	Es toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. Las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas de precipitación.	Alto	mm/hr.
		Medio	
		Bajo	
Área de la cuenca.	Para esta investigación es la medida de la superficie encerrada delimitada por la divisoria de aguas	Area	km2
pendiente de la Cuenca	Se denomina pendiente a la inclinación natural de la superficie que comprende una cuenca respecto a la horizontal.	Altura	% (porcentaje)

Fuente propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL

2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

- **TITULO:** Evaluación por comparación y contrastación de la eficacia del “Modelo hidrológico de generación de caudales medios mensuales de Lutz Scholz”, en la cuenca alta del río Apurímac hasta la estación la Angostura.

AUTOR: Bach. Ningsiar Braulio Lima Usnayo

Bach. Silvana Milagros Vengoa Valdiglesias

INSTITUCIÓN: Universidad Andina del Cusco

LUGAR: Cusco-Perú

AÑO: 2015

RESUMEN

Esta investigación compara la eficacia actual del “Modelo hidrológico de generación de caudales medios mensuales de Lutz Scholz” en la “cuenca alta del río Apurímac hasta la estación La Angostura”, en contrastación con los caudales mensuales registrados por la estación hidrométrica La Angostura, y en comparación con los caudales mensuales generados con el HEC-HMS

CONCLUSIONES:

- El “Modelo hidrológico Lutz Scholz” y los caudales registrados por la estación hidrométrica La Angostura, en la “cuenca alta del río Apurímac hasta la estación La Angostura”, existe diferencia significativa en época de estiaje mientras que en época de lluvias no existe diferencia significativa.

- Entre los caudales determinados por el HEC-HMS y los caudales registrados por la estación hidrométrica La Angostura, en la “cuenca alta del río Apurímac hasta la estación La Angostura”, no existe diferencia significativa en época de estiaje mientras que en época de lluvias existe diferencia significativa.
- Entre los caudales determinados con el “Modelo Lutz Scholz” y los caudales obtenidos con el HEC HMS, en la “cuenca alta del río Apurímac hasta la estación La Angostura”, existe diferencia significativa en época de estiaje como en época de lluvias.

2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

- **TITULO:** Efectos del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos a nivel de cuenca – implementación de un modelo integrado a nivel superficial y subterráneo

AUTOR: Figueroa Leiva, René

INSTITUCION: Universidad de Chile facultad de ingeniería civil

LUGAR: Santiago de Chile

AÑO: Junio 2008

RESUMEN

La cuenca estudiada fue la del río Cachapoal, ubicada en la VI Región Chile. Para dicha cuenca se construyó y calibró un modelo (el período de calibración fue 1999- 2005) que permitió integrar la componente superficial y subterránea de los recursos hídricos. Para simular la escorrentía superficial se utilizó el Modelo Sacramento + SNOW-17, para el Modelo de Aguas Subterráneas se actualizó y mejoró un modelo previo de la DGA en Visual Modflow, y a base de los dos modelos anteriores se elaboró un Modelo de Simulación Operacional de la cuenca. Para evaluar los efectos del cambio climático, se consideraron dos escenarios incluidos en el tercer informe del IPCC, SRES A2 y B2, para los cuales existe información disponible para la zona de estudio, del modelo de circulación

general de la atmósfera HadCM3. Para llevar a cabo el escalamiento de las variables meteorológicas, se utilizó el programa SDSM 4.2, mediante el cual se generaron 6 escenarios de cambio climático, con horizontes de 30 años (2005-2035) que fueron evaluados en el Modelo Integrado de la cuenca. En cuanto a los resultados obtenidos para los escenarios de cambio climático, para la temperatura en la estación Rengo se verificaron aumentos de los valores mensuales, estacionales y anuales promedio, mientras que para la estación Convento Viejo se verificaron disminuciones con respecto al período observado (1980-2005); para la precipitación, en las estaciones estudiadas se observó una tendencia al aumento en los valores mensuales, estacionales y anuales promedio con respecto al período observado (1971-2005). De acuerdo a esto, los caudales medios mensuales de salida de la cuenca del río Cachapoal, se verían afectados por el cambio climático, ya que con respecto al Período Base de calibración (1999-2005), se obtuvieron aumentos de los valores promedio en el período de deshielo y disminuciones en el período invernal. Para los recursos hídricos subterráneos, no se pudo concluir que existirían efectos asociados al cambio climático.

CONCLUSIONES:

- De los resultados obtenidos en la calibración de los modelos de escorrentía superficial, simulación operacional y de aguas subterráneas, se concluye que se logró cumplir el objetivo de construir un Modelo Integrado representativo del funcionamiento de la cuenca del río Cachapoal (considerando la parte superficial y subterránea), en cuanto a la generación y utilización de los recursos hídricos; el cual permitió cumplir las tareas planteadas inicialmente para este modelo, referidas a la adecuada simulación de la cuenca estudiada, integración de la fase superficial y subterránea de los recursos hídricos y la evaluación de escenarios de cambio climático.



- **TITULO: LOS FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA**

AUTOR: Curso regional sobre los desastres naturales y su impacto social en Centroamérica y México

INSTITUCION: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

LUGAR: San José, Costa Rica.

AÑO: Noviembre del 2000

RESUMEN

En general la atmósfera responde a los cambios en el océano rápidamente, mientras que el océano, debido a sus propiedades físicas, posee una mayor inercia y toma más tiempo llegar a un nuevo estado de equilibrio. Esto crea desequilibrios entre ellos, ya que el estado del océano no estaría determinado solamente por el estado actual atmosférico, sino que integra los estados atmosféricos precedentes a los cuales todavía se está ajustando. Este desequilibrio es la fuente fundamental de variabilidad en los dos Sistemas.

En general los seres humanos se adaptan a las condiciones medias del clima en la región donde viven y lidian con sus variaciones, esto incluye la existencia de eventos climáticos extremos, por lo general asociados a los desastres climáticos ya que el clima no siempre se mantiene dentro de los límites que la sociedad espera y las condiciones caen fuera del rango de lo esperado. Un evento climático extremo de baja probabilidad puede ocurrir con inusitada frecuencia e incluso repetirse en pocos años. Un desastre asociado al clima puede aparecer a través de muchas formas, desde la rápida aparición de eventos de corta vida como los huracanes hasta la lenta fluctuación que, en ocasiones, lleva a una condición de sequía, es por ello que los recursos climáticos son mejor explotados a medida que se conocen los diferentes tipos de variaciones que los afectan.

CONCLUSIONES:

- Para entender cómo es que se producen las variaciones climatológicas, debemos entender un poco de cómo es el estado “normal” de los sistemas en esta región.
- La convección profunda, formación de nubes y lluvias intensas, se experimenta al Oeste del Océano ya que el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la zona de convergencia de los Alisios. Vientos del Oeste en la alta atmósfera proveen un flujo de retorno. Cielos claros y aire subsidente se encuentra al Este del Océano.

En esta región oceánica la presión superficial es mayor al Este que al Oeste del Océano y los Alisios fluyen de Este a Oeste acumulando calor y humedad de la capa tropical oceánica.

- **TITULO: Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca alta del río Catamayo hasta la estación el arenal en el sitio el boquerón, provincia de Loja.**

AUTOR: Oscar Lenin Juera Sivilaca

INSTITUCION: Universidad de la Loja

LUGAR: San José, Costa Rica.

AÑO: 2011

RESUMEN

El estudio del balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de masas.

El área de estudio posee una superficie de; (1127,34 Km²), se la clasifica como una cuenca grande, con un perímetro de 162.73 Km y una longitud axial de 72 Km tomada desde el punto más alto hasta el punto más bajo de la cuenca.

Según el índice de compacidad (K) de Gravelius de 1.36, la clasifica como una cuenca con tendencia a ser ovalada – redonda a oval – oblonga, la altura media de la cuenca es de 2 080 m.s.n.m, valor obtenido con la curva

hipsométrica, la pendiente media de la cuenca por su valor de 56,4%, indica que es una cuenca con alta pendiente.

El valor de la pendiente media del cauce es de 10,73%, nos indica que es un cauce accidentado medio. La densidad de drenaje de 1,26 km/km², según las leyes de Horton; señala que es una cuenca bien drenada, la densidad de red de cauces con 0,546 cauces/km² indica que, es una cuenca con bastantes ríos, quebradas permanentes y perennes.

CONCLUSIONES

- Las informaciones de niveles diarios con vacíos demasiado largos en tiempo no permitieron la generación o cálculo de una estadística completa de caudales diarios.
- Según la curva de duración general los caudales que pueden ser utilizados para riego, son 16,85 y 14,03 m³/s, conforme a las probabilidades del 70 a 80%, respectivamente.
- Para el área de la cuenca en estudio, el caudal de 10,30 m³/s (90%), constituye un caudal muy bajo con severas condiciones de degradación.
- Los índices de infiltración de la cuenca en estudio, son bajos.

2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1 FENÓMENOS NATURALES

2.2.1.1 FENÓMENO NATURAL

Un fenómeno natural es un cambio de la naturaleza que sucede por si solo sin intervención directa del hombre. Aquellos procesos permanentes de movimientos y de transformaciones que sufre la naturaleza. Estos pueden influir en la vida humana (epidemias, condiciones climáticas, desastres naturales, etc).

En el lenguaje corriente, fenómeno natural aparece casi como sinónimo de acontecimiento inusual, sorprendente o bajo la desastrosa perspectiva humana.

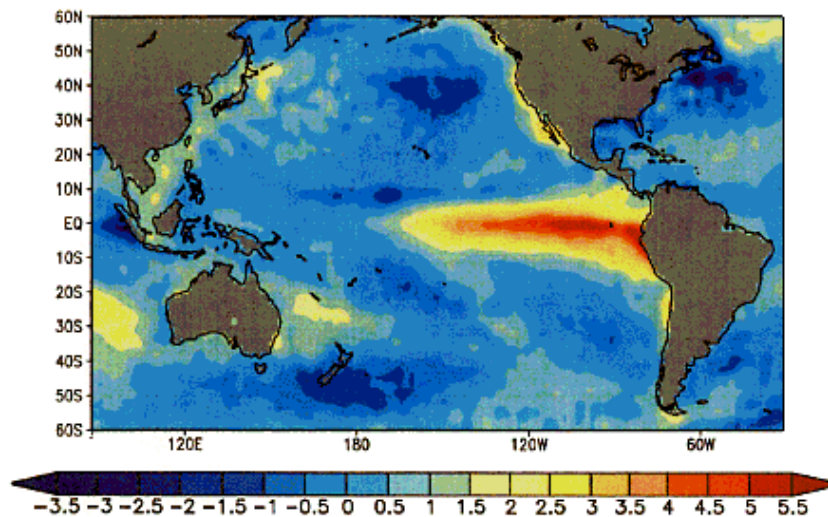
Sin embargo, la formación de una gota de lluvia es un fenómeno natural de la misma manera que un huracán. Esta expresión también se refiere, en general, a los peligrosos fenómenos naturales también llamados "desastres naturales". La lluvia, por ejemplo, no es en sí un "desastre", pero puede ser así dependiendo de la perspectiva humana, si ciertas condiciones se reúnen. La mala planificación urbana, con la construcción de estructuras en lugares vulnerables a inundaciones u otras personas puede causar efectos desastrosos para los seres humanos (SENAMHI, s.f.)

2.2.1.2 FENÓMENO EL NIÑO

Según el CENEPRED, 2012 (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres) El Niño es un fenómeno climático, erráticamente cíclico, que consiste en un cambio en los patrones de movimiento de las corrientes marinas en la zona intertropical provocando, en consecuencia, una superposición de aguas cálidas procedentes de la zona del hemisferio norte inmediatamente al norte del ecuador sobre las aguas de emersión muy frías que caracterizan la corriente de Humboldt; esta situación provoca estragos a escala zonal debido a las intensas lluvias, afectando principalmente a América del Sur, tanto en las costas atlánticas como en las del Pacífico.

El Niño, también llamado ENSO ("El Niño Southern Oscillation"), es un cambio en el sistema océano - atmósfera que ocurre en el Océano Pacífico ecuatorial, que contribuye a cambios significativos del clima, y que concluye abarcando a la totalidad del planeta. Se conoce con el nombre de "El Niño", no solamente a la aparición de corrientes oceánicas cálidas en las costas de América, sino a la alteración del sistema global océano-atmósfera que se origina en el Océano Pacífico Ecuatorial (es decir, en una franja oceánica cercana al Ecuador), generalmente durante un periodo comprendido entre diciembre y marzo.

Ilustración 2 Calentamiento de las aguas del océano Pacífico



Fuente: SENAMHI

2.2.1.2.1 El Niño en el Perú: registro histórico

En los últimos cinco siglos ha habido por lo menos 120 episodios El Niño, según las investigaciones históricas recopiladas por Quinn W., Neal V., y Antúnez de Mayolo S. A diferencia de los países del Hemisferio Norte, en el Perú la instrumentación adecuada para la observación del clima se inicia recién en la segunda década del Siglo XX y de manera puntual en algunas regiones del país. Es a partir del año 1965, cuando la mayoría de las estaciones meteorológicas e hidrológicas son instaladas en nuestro territorio, que se inicia la observación climática de manera sostenida. (SENAMHI, s.f.)

El Niño como tal, es conocido desde que civilizaciones pre-incas como los Moche, los Lima y los Nazca se asentaron en las costas del Perú antiguo. La geomorfología, los estudios de sedimentos y la paleontología señalan que el Fenómeno El Niño ocurre por lo menos desde hace 40,000 años. Además, estas investigaciones arqueológicas demuestran que cambios drásticos del clima afectaron la costa central del Perú (SENAMHI, s.f.).

La situación resultó ser especialmente dramática para la nación Moche en la costa norte del Perú (200 – 700 d.C.). Todo indica que, durante las primeras décadas del siglo VII de nuestra era, esta próspera civilización sufrió los estragos de un prolongado e implacable episodio El Niño. Durante el siglo XX

y hasta antes de El Niño extraordinario de 1997/98, ocurrieron unos 25 episodios El Niño de diferente intensidad; las referencias bibliográficas indican que los eventos El Niño de 1891 y 1925, fueron eventos de intensidad comparable a los de 1982/83 y 1997/98. En lo que va del siglo XXI, de acuerdo al índice ONI (Oceanic Niño Index) de la NOAA, se han presentado cuatro episodios El Niño en el Pacífico central; dos de intensidad débil (Años 2004/05 y 2006/07) y dos de intensidad moderada (años 2002/03 y 2009/10). (SENAMHI, s.f.)

Tabla 2 Recurrencia del fenómeno el Niño por años de presentación

1902-1903	1905-1906	1911-1912	1914-1915
1918-1919	1923-1924	1925-1926	1930-1931
1932-1933	1939-1940	1941-1942	1951-1952
1953-1954	1957-1958	1965-1966	1969-1970
1972-1973	1976-1977	1982-1983	1986-1987
1991-1992	1994-1995	1997-1998	2002-2003

Fuente: CENEPRED

Tabla 3 Resumen cronológico del fenómeno el niño según su intensidad 1847-1997-19998

<u>Intensidad</u>	<u>Frecuencia</u>	<u>Año/características</u>
Débil	9	1847 – 1963 Lluvias leves, algunos daños.
Moderado	11	1911 – 1994, 2002-2003 Lluvias moderadas, daños a la agricultura y a las viviendas.
Intenso	5	1858 - 1972/73 Lluvias intensas, secuelas de huaycos e inundaciones.
Muy intenso	4	1891, 1925, 1982-83, 1997-98 Lluvias torrenciales, huaycos, inundaciones, aludes, vientos, pérdida de vidas humanas.

Fuente: CENEPRED

Tabla 4 Cronología de ocurrencia de los fenómenos del Niño en el Perú

Año inicial	Mes inicial	Año final	Mes final	Duración (meses)	Magnitud
1951	5	1951	10	6	Moderado
1953	3	1953	6	4	Débil
1957	3	1958	5	15	Moderado
1965	3	1965	10	8	Moderado
1969	4	1969	7	4	Moderado
1972	3	1973	2	12	Fuerte
1976	5	1976	10	6	Débil
1982	7	1983	11	17	Extraordinario
1986	12	1987	12	13	Moderado
1991	10	1992	6	9	Moderado
1993	3	1993	9	7	Débil
1994	11	1995	1	3	Débil
1997	3	1998	9	19	Extraordinario
2002	3	2002	5	3	Débil
2002	9	2003	1	5	Débil
2003	11	2004	1	3	Débil
2004	10	2004	12	3	Débil
2006	8	2007	2	7	Moderado
2008	7	2008	9	3	Débil
2009	5	2009	10	6	Débil

Fuente: CENEPRED

En los últimos 30 años el fenómeno del Niño se ha presentado en 12 ocasiones las cuales las presentamos a continuación.

Tabla 5 Fenómenos del Niño ocurridos en los últimos 30 años

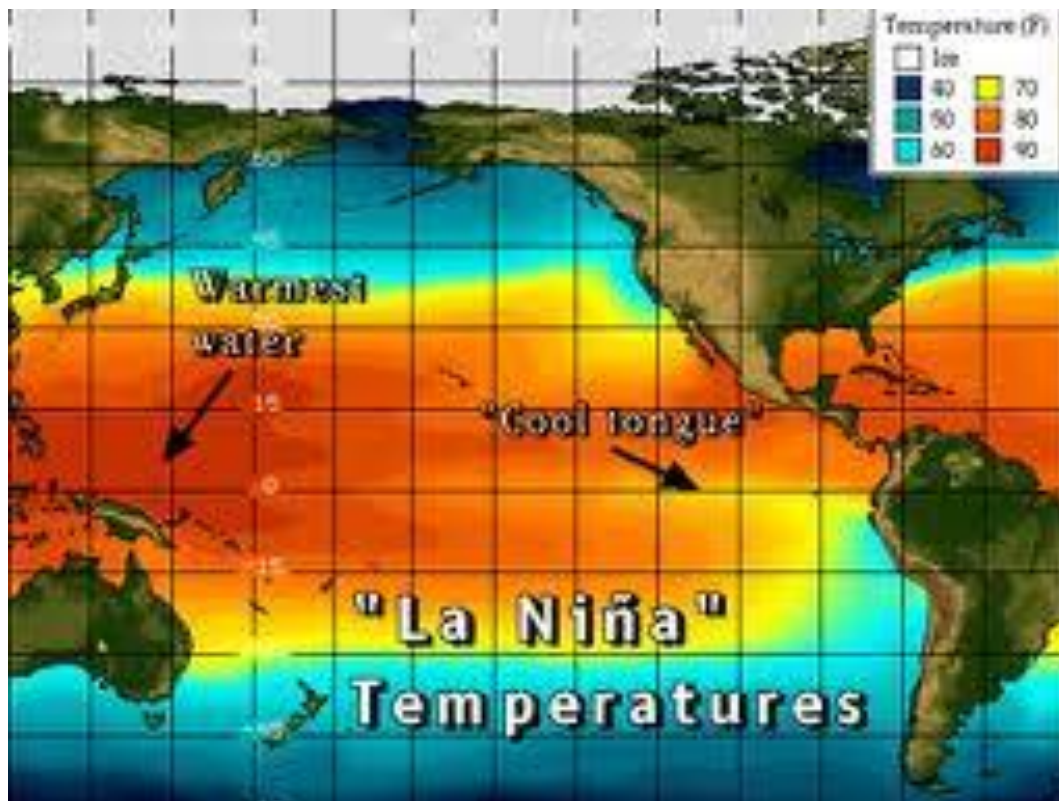
Nº	AÑO INICIAL	MES INICIAL	AÑO FINAL	MES FINAL	DURACIÓN (MESES)	MAGNITUD
1	1986	12	1987	12	13	MODERADO
2	1991	10	1992	6	9	MODERADO
3	1993	3	1993	9	7	DEBIL
4	1994	11	1995	1	3	DEBIL
5	1997	3	1998	9	19	EXTRAORDINARIO
6	2002	3	2002	5	3	DEBIL
7	2003	11	2004	1	3	DEBIL
8	2004	10	2004	12	3	DEBIL
9	2006	8	2007	2	7	MODERADO
10	2008	7	2008	9	3	DEBIL
11	2009	5	2009	10	6	DEBIL
12	2015	3	2016	5	14	MODERADO

Fuente: CENEPRED

2.2.1.3 Fenómeno la niña

Según SENAMHI, La Niña es un fenómeno climático cíclico causado por la interacción entre la superficie del océano y la atmosfera en la zona tropical del pacífico, formando parte de un ciclo natural global del clima conocido como El Niño. Este ciclo global tiene dos extremos: una fase cálida conocida como El Niño y una fase fría, precisamente conocida como La Niña. Cuando existe un régimen de vientos alisios fuertes desde el oeste, las temperaturas ecuatoriales disminuyen y comienza la fase fría o La Niña.

Ilustración 3 Variación de la temperatura durante el fenómeno de la Niña



Fuente: (NOAA, 2015)

2.2.1.3.1 Características del fenómeno de la Niña

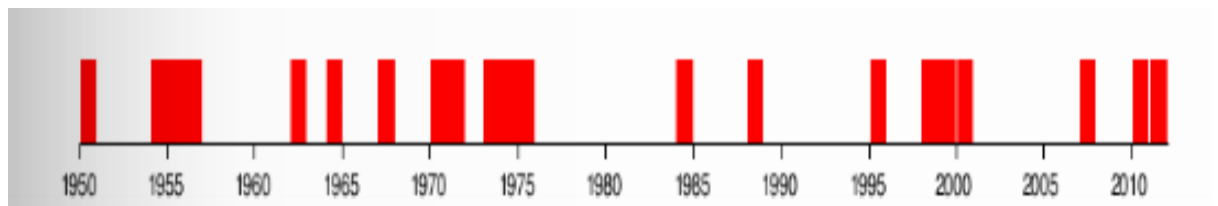
- Disminuye la presión del nivel del mar en la región de Oceanía
- Los vientos alisios se intensifican, provocando que las aguas profundas relativamente más frías a lo largo del Pacífico ecuatorial, queden en la superficie.

- Los vientos alisios anormalmente intensos, ejercen un mayor efecto de arrastre sobre la superficie del océano.
- Como resultado de la aparición de aguas relativamente frías a lo largo del Ecuador, la temperatura superficial del mar disminuye por debajo del valor medio climatológico.
- Durante los eventos de La Niña las aguas calientes en el Pacífico ecuatorial, se concentran en la región junto a Oceanía y es sobre esta región, donde se desarrolla la nubosidad y la precipitación más intensa.

2.2.1.3.2 Registro histórico del fenómeno de la niña

"La Niña" comenzó en 1903, y siguió en 1906, 1909, 1916, 1924, 1928, 1938, 1950, 1954, 1964, 1970, 1973, 1975, 1988, y en 1995. Siendo el más intenso el de 1988/1989.4 (EiClima.com.mx, s.f.)

Ilustración 4 Registro histórico de fenómenos de la Niña



Fuente: NOAA

A continuación, mostramos la ocurrencia de los fenómenos de La Niña en los últimos 30 años.

Tabla 6 Histórico de fenómeno de la Niña 1950-2016

Fenómeno La Niña		
Comienzo	Fin	Duración (meses)
mar-50	feb-51	12
jun-54	mar-56	22
may-56	nov-56	7
may-64	ene-65	9
jul-70	ene-72	19
jun-73	jun-74	13
sep-74	abr-76	20
sep-84	jun-85	10
may-88	jun-89	14
sep-95	mar-96	7
jul-98	jun-00	23
dic-00	may-01	5
jul-07	feb-08	8
jul-10	abr-12	22

Fuente: (ECURED, 2011)- (ELPAIS.COM.CO, 2012)

Tabla 7 Numero de ocurrencias de el fenomeno la niña en los ultimos 30 años

N°	AÑO INICIAL	MES INICIAL	AÑO FINAL	MES FINAL	DURACIÓN (MESES)
1	1988	Octubre	1989	Diciembre	12
2	1995	Octubre	1996	Junio	22
3	1998	Marzo	2000	Setiembre	7
4	2000	Noviembre	201	Enero	9
5	2007	Marzo	2008	Setiembre	19
6	2010	Marzo	2012	Mayo	13

FUENTE: (ECURED, 2011)- (ELPAIS.COM.CO, 2012)

2.2.2 EL CICLO HIDROLÓGICO

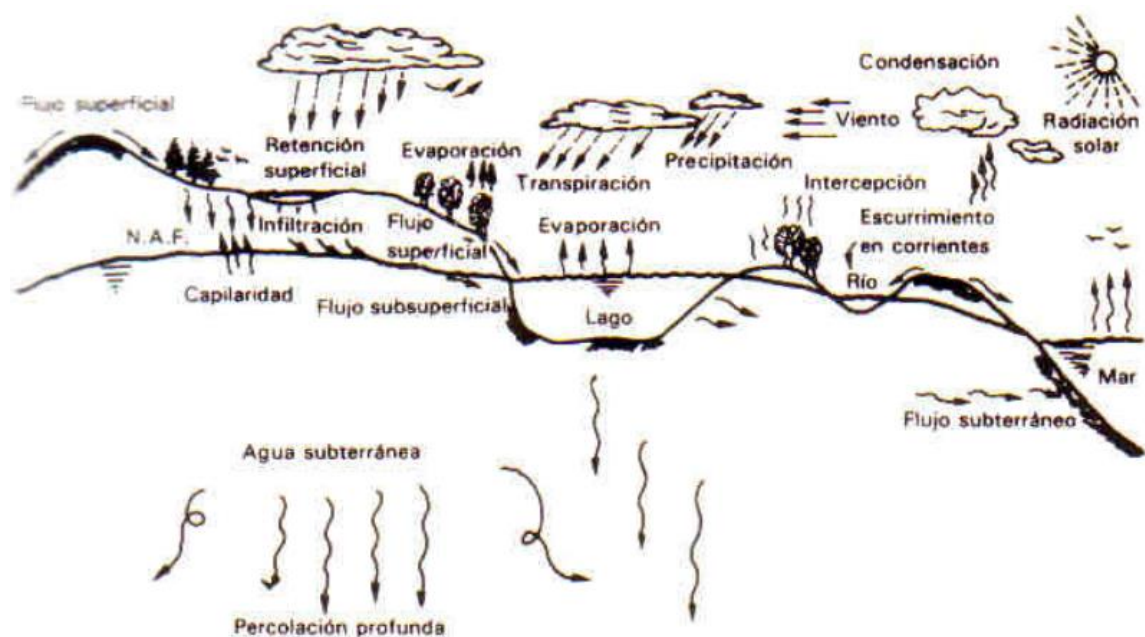
Aparicio Mijares F. (1992) considera que:

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin; y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en

forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

Por lo tanto, el ciclo hidrológico es un proceso donde el agua por efecto del calor se evapora, las plantas la transpiran, se infiltra, percola, almacena por el suelo, afloran a la superficie mediante manantes y transcurren mediante la escorrentía.

Ilustración 5 Ciclo hidrológico



Fuente: Fundamentos de Hidrología de Superficie (Aparicio)

2.2.3 LA CUENCA HIDROLÓGICA

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 recorrido (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002, pág. 21).

Se entiende por cuenca hidrológica a la superficie de terreno donde la lluvia que cae sobre esta, se junta y se drena por un solo curso de agua.

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

En general el tipo de suelo en la parte baja de la cuenca Asmayacu, es suelo para cultivo es decir que esta zona tiene una alta permeabilidad por la textura que presenta, en las zonas de mayor altitud se presentan diferentes tipos de suelo rocoso que a continuación se describen.

2.2.4.1 GEOLOGÍA GENERAL

Según Plan Meris Inka, (1995) La cuenca Asmayacu se encuentra emplazado sobre unidades rocosas y de suelo cuyas edades van del mesozoico inferior al cuaternario reciente. A continuación, se describen las principales características geológicas.

2.2.4.1.1 Litología

Localmente afloran las siguientes unidades

- **Grupo Pucará (JR – P)**

Este grupo aflora al Oeste de la localidad de Curahuasi (Lucmos y Galantin), y está conformado por calizas y evaporitas , dolomitas y sedimentos rojos continentales con inclinaciones de 40° a 50° al N.

- **Grupo Yura (Js Ki – Yu)**

Esta unidad está conformada por intercalaciones de cuarcitas con areniscas cuarzosas y horizontes muy delgados de lutitas verdesas,

fuertemente silicificadas ; afloran en el flanco derecho de Galantin y en ambos flancos de la quebrada de Asmayacu .

Se halla fuertemente fracturada y cortada por numerosos diques de rocas intrusivas (microdioritas, tonalitas , etc) con rumbos N 110° a N 140° e inclinaciones de 50° a 70° al NE.

- **ROCAS INTRUSIVAS (Ts – gd)**

Conformados por una variedad de rocas desde gabros, dioritas, tonalitas a granodioritas cortados por filones (diques) adameliticos y pegmatiticos. Esta unidad es la de mayor distribución en la zona.

- **Cuaternario Reciente(Qr)**

Formado por material detrítico acumulado en el fondo del valle quebradas y laderas como producto de la erosión y acarreo de origen fluvial, glacial y coluvial.

- **Depósito Aluvial (Qr – al)**

Se ubican a lo largo de los cauces de los ríos Asmayacu y Lucmos y en el fondo de los valles formados por los ríos mencionados, litológicamente conformados por fragmentos de roca y cantos envueltos en matriz arena – limosa a gravo – limosa, de carácter permeable a escasa cohesión.

- **Deposito Eluvio – Coluvial (Qr – el – col).**

Representado por clastos de contorno anguloso a subanguloso envueltos en matriz arena-limosa a arena – arcillosa moderadamente permeable y con regular a escasa compacidad natural ; con potencia superficial en las partes altas y gran espesor en las partes bajas de la ladera; mezcladas en ciertas zonas de escombros de talud.

- **Depósitos Glaciares – Fluvioglaciares (Qr – flgl)**

Por encima de los 4000 m.s.n.m. se presentan huellas de la acción de los glaciares, conformados por material gravoso en matriz arena limosa semiconsolidados y buen acuífero.

2.2.4.1.2 Geomorfología local

Se distinguen dos unidades unidades:

➤ **Altas Mesetas**

Zona de relieve suave ubicada en una altitud que varía de 4200 – 4500 msnm.

➤ **Valle Colgado**

Se caracteriza por ser poco profundo bordeado por flancos de pendiente regular a moderada por flancos de pendientes regular a moderada con relieve ondulado.

Entre las geoformas detectadas se distinguen:

Laderas. - De relieve irregular ondulado con pendientes que varían de 10° a 70°.

Colinas. - Son pequeñas y moderadas de relieve suave ubicados en el fondo del valle.

Quebradas. - Presentan pendientes moderadas a muy fuertes propios de un relieve joven.

2.2.4.1.3 Estructura y geodinámica

▪ **Estructura**

En la zona se presentan dos sistemas de fallamiento N11° - N14° y N11° - N 14° y N50° - N70° ; las mismas que han originado numerosas fracturas con orientaciones N-S; NE – SW y SW – SE. Estas fallas se encuentran actualmente cubiertas e inactivas.

▪ **Geodinámica**

Los fenómenos geodinámicos externos detectados se desarrollan mayormente en ladera de pendientes fuertes a muy fuerte. Se ha tipificado los fenómenos siguientes:

Deslizamientos de escombros, deslizamientos antiguos, deslizamientos de tierras, derrumbes, asentamientos; desprendimientos de roca; tramos propensos a derrumbes, flujos de lodo y cárcavas activas.

2.2.4.2 Geotecnia

2.2.4.2.1 Geotecnia de la Zona

Rocas y Suelos

Emplazadas en depósitos fluvioaluvial , conformados por fragmentos de roca de hasta 3m. de diámetro de contorno subredondeado a redondeado; bolas y cantos en matriz gravoarenosa a gravo – limosa de carácter permeable a moderadamente permeable, regular compactación natural y espesor variable.

- Consideraciones geotécnicas

La capacidad de carga de el deposito fluvio - Aluvial es superior a 1.2kg/cm². Por lo tanto se sugiere cimentar a una profundidad de no menor de 1.5m en lecho del rio.

- Estabilidad de Ladera

Las laderas morfológicamente se ubican a diferentes niveles, en torno al riachuelo Asmayacu caracterizándose por presentar perfiles longitudinales con pendientes que varían del 8 al 16% a lo largo del rio Asmayacu con flujo rápido moderadamente turbulento bordeado por flancos de pendiente que determinan en general un riesgo geodinámico mínimo.

2.2.5 CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA

2.2.5.1 Superficie de la cuenca

“Se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca” (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002, pág. 23).

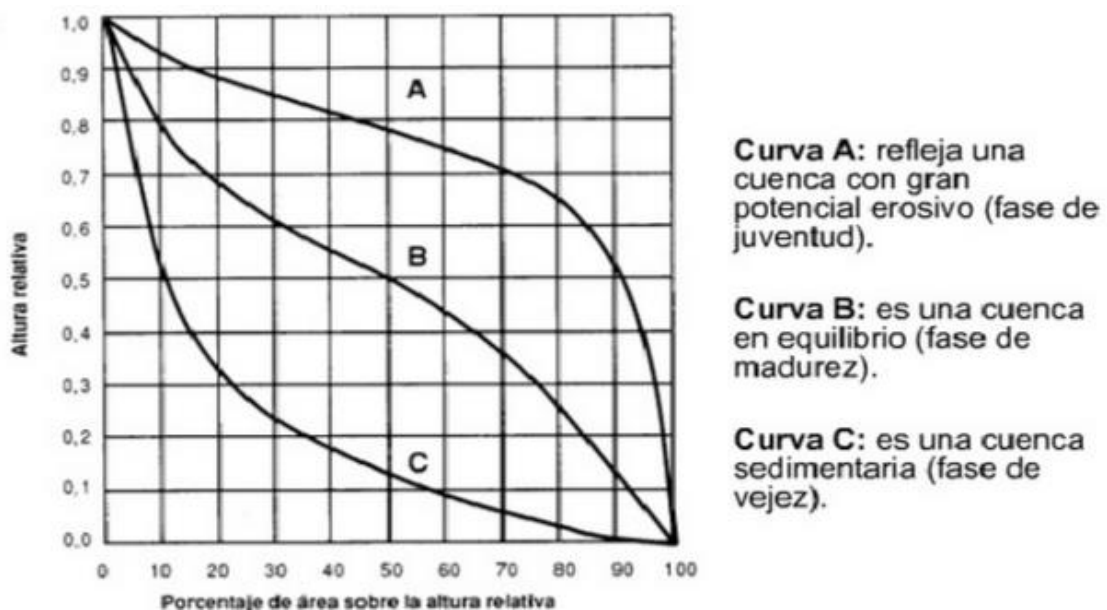
2.2.5.2 Perímetro de la cuenca

“Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de una forma irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca” (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002, pág. 32).

2.2.5.3 Curva hipsométrica

Es la curva que puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002)

Ilustración 6 Curva hipsometrica



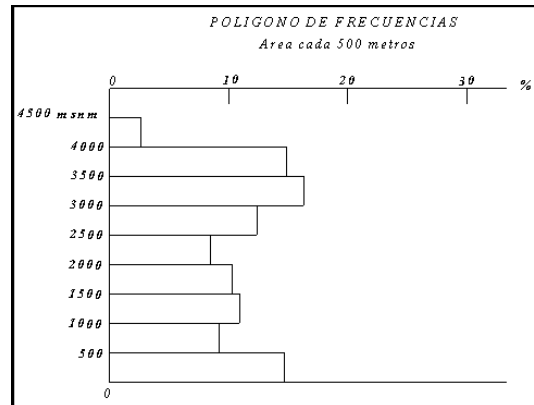
Fuente: (www.ingeciv.com, 2015)

2.2.5.4 Polígono de frecuencia de altitudes

Es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.

Es un complemento de la curva hipsométrica. La curva de frecuencia de altitudes se obtiene ploteando las columnas de áreas parciales por altitud versus el porcentaje que representan del total (Bejar, 2002).

Ilustración 7 Polígono de frecuencia de altitudes (ejemplo)

Fuente: www.plusformacion.com

Con las curvas anteriores se puede determinar las siguientes altitudes características:

2.2.5.4.1 Altitud media

Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.5.4.2 Altitud más frecuente

Es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.6 ÍNDICES REPRESENTATIVOS

2.2.6.1 Índice o factor de forma de una cuenca (kf)

Expresa la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud, es decir:

$$Kf = \frac{\text{area}}{\text{perimetro} * \text{perimetro}} = \frac{A}{L^2}$$

Si una cuenca tiene un factor F mayor que otra, existe mayor probabilidad de tener una tormenta intensa simultanea sobre toda la extensión de la cuenca. Por

el contrario, si la cuenca tiene un F menor, tiene menos tendencia a concentrar las intensidades de lluvias que una cuenca de igual área pero con un factor F mayor (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.6.2 Índice de compacidad o índice de gravelius

El índice de compacidad de una cuenca, definida por Gravelius, expresa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002), es decir:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

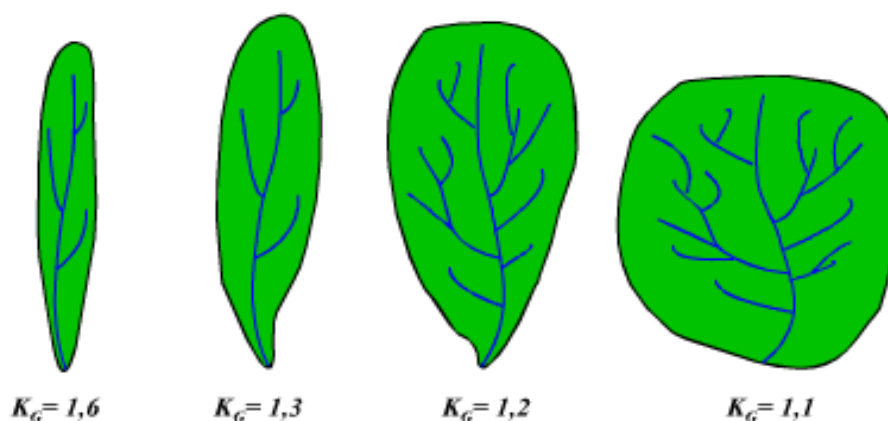
K_c = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

- Clase K_c1 : Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.
- Clase K_c2 : Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.
- Clase K_c3 : Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga. (Gobierno Regional Lambayeque, 2013)

Ilustración 8 Representación del índice de compacidad o de gravelius

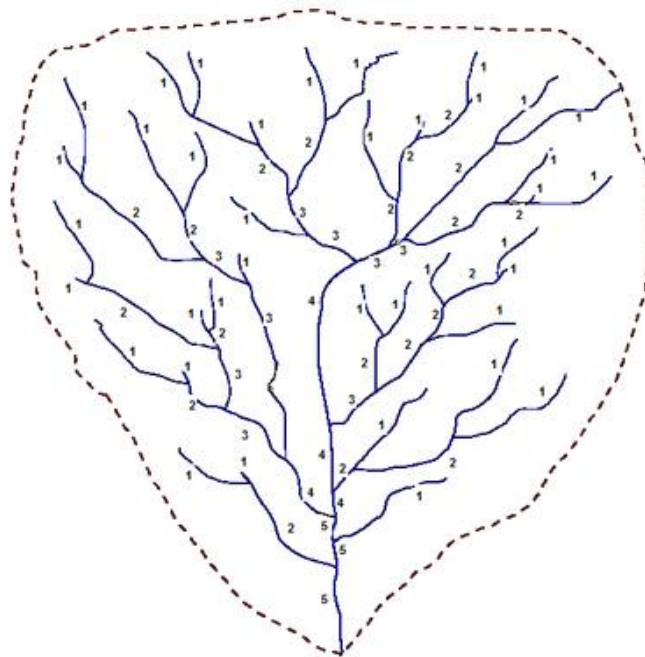


Fuente: (Musy, 2001)

2.2.6.3 Número de orden

El criterio empleado se basa en el modelo de Strahler que consiste en asignarle un número a cada uno de los cauces tributarios en forma creciente, desde el inicio de la línea divisora de aguas hasta llegar al cauce principal de manera que el número final señale el orden de la red de drenaje en la cuenca (Córdova, 2016)

Ilustración 9 Número de orden

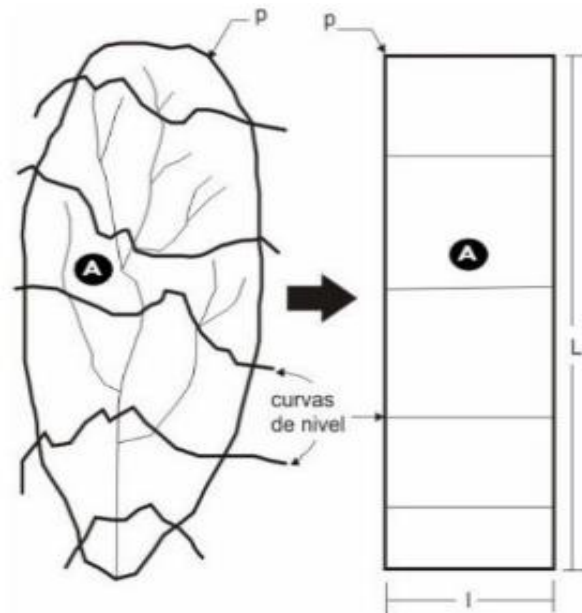


Fuente: (WIKIPEDIA, s.f.)

2.2.6.4 Rectángulo equivalente

Es una transformación geométrica que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (por lo tanto, el mismo índice de compacidad o índice de Gravelious), igual distribución de alturas (igual curva hipsométrica) e igual distribución de terreno, en cuanto a sus condiciones de cobertura. En este rectángulo las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y última curvas de nivel (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

Ilustración 10 Rectángulo equivalente



Fuente: VILLON (2002)

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$

Donde:

L=Lado mayor del rectángulo en km.

l= Lado menor del rectángulo en km.

A= superficie de la cuenca en km².

P= Perimetro de la cuenca Km.

2.2.6.5 Pendiente de la cuenca (s%):

Según Bejar, 2002, (pág. 49) es un parámetro de importancia en el estudio de una cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial y la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía, de la pendiente de la cuenca también depende el tiempo de escurrimiento y concentración en los canales de drenaje (ríos) y tiene una importancia directa en la magnitud de las crecidas. El criterio utilizado para su estimación es:

Criterio de ALVORD

La pendiente de la cuenca mediante este criterio se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$S = \frac{D(l_1 + l_2 + \dots + l_n)}{A}$$

Haciendo $L = \sum l$ longitud total de las curvas de nivel de la cuenca se tiene

$$S = \frac{DL}{A}$$

Donde:

S = Pendiente de la cuenca, %

D= desnivel constante entre curvas de nivel, Km

L= Longitud de las curvas de nivel dentro de la cuenca, Km

A= Área de la cuenca, Km² (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002)

2.2.6.6 Pendiente del cauce principal

Según Villon Bejar (2002), el conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico.

La pendiente de un tramo de un cauce de un río se puede considerar como el cociente que resulta de dividir el desnivel de los extremos del tramo entre la longitud horizontal de dicho tramo. Existen varios métodos para medir la pendiente de un cauce, entre los que tenemos (pág. 55):

2.2.6.6.1 Pendiente uniforme

Según Villon Bejar (2002), este método considera la pendiente del cauce, como la relación entre el desnivel que hay entre los extremos del cauce y la proyección horizontal de su longitud (pag. 55).

$$S = \frac{H}{L}$$

S = Pendiente

H = Diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en km

L = Longitud del cauce, en km

Ilustración 11 Longitud del cauce principal



Fuente: (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002)

2.2.6.7 Precipitación

Se define precipitación a toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de precipitación (Chereque Moran, pág. 15)

2.2.6.7.1 Medición de la precipitación

Se mide en términos de la altura de lámina de agua, y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura de agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó.

Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación registrando su altura. Los aparatos

de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviografos (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.6.7.2 Cálculo de la precipitación media sobre una zona

En general la altura de la precipitación que cae sobre un sitio dado difiere de la que cae sobre los alrededores, aunque sea en sitios cercanos.

Los pluviómetros registran la lluvia puntual es decir la que se produce en el punto que está instalado el aparato. Para muchos problemas hidrológicos que se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona, la cual puede estar referida a la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

Altura de precipitación diaria. - Es la suma de las lecturas observadas en un día.

Altura de precipitación media diaria. - Es el promedio aritmético de las lecturas observadas en un día.

Altura de precipitación mensual. - Es la suma de las alturas diarias ocurridas en un mes.

Altura de precipitación media mensual. - Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual correspondientes a un cierto número de meses.

Altura de precipitación anual. - Es la suma de las alturas de precipitación mensual ocurridas en un año

Altura de precipitación media anual.- Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación media anual I correspondientes a un cierto número de años (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.6.7.3 Polígonos de Thiessen

Según Aparicio, (1996), Para este método es necesario conocer la localización de las estaciones en la zona bajo estudio, ya que, para su aplicación, se requiere

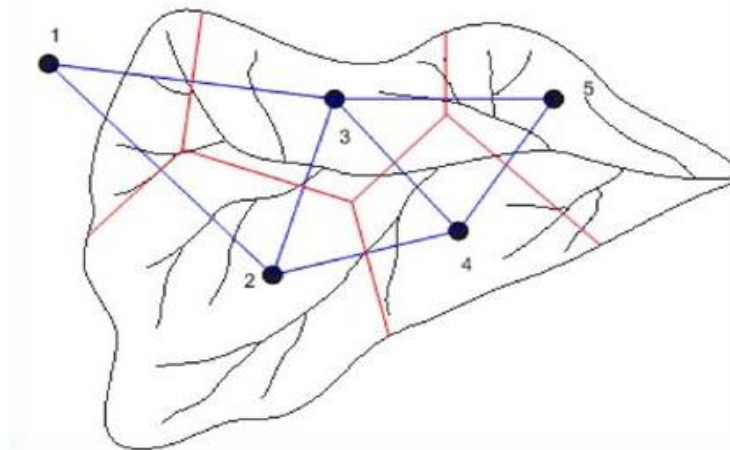
delimitar la zona de influencia de cada estación dentro del conjunto de estaciones. (pág. 140)

Este método consiste en lo siguiente:

- ✓ Unir, mediante líneas rectas, dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- ✓ Trazar líneas rectas que bisectan los lados del triángulo. Por geometría elemental las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
- ✓ Cada estación pluviométrica quedara rodeada por las líneas rectas del paso 2 que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parte aguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parte aguas será el área de influencia por la estación correspondiente.
- ✓ La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registrado en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Ilustración 12 Polígonos de Thiessen



Fuente: (HIDROTEC, s.f.)

2.2.6.8 Estudio de una tormenta

Según Villon Bejar (pág. 86) Se entiende por tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas.

Los elementos fundamentales para analizar una tormenta son:

2.2.6.8.1 Intensidad

Es la cantidad de agua producida por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta, es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

De acuerdo a esto la intensidad se expresa así:

$$I \text{ max} = P/T$$

Donde:

$I \text{ max}$ = Intensidad máxima por (mm/hr)

P = Precipitación de altura de agua (mm)

T = Tiempo (hr)

2.2.6.8.2 Duración

Corresponde al tiempo de que transcurre entre el comienzo y el fin de una tormenta. Aquí conviene definir el periodo de duración que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

Tiene mucha importancia la determinación de las intensidades máximas.



2.2.6.8.3 Frecuencia

Es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definida en un periodo de tiempo más o menos largo tomado generalmente en años (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.7 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN

Para saber si la información es confiable se realiza el análisis de consistencia de la información disponible, mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permiten identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, ya sea por causas naturales u ocasionados por intervención de la mano del hombre.

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

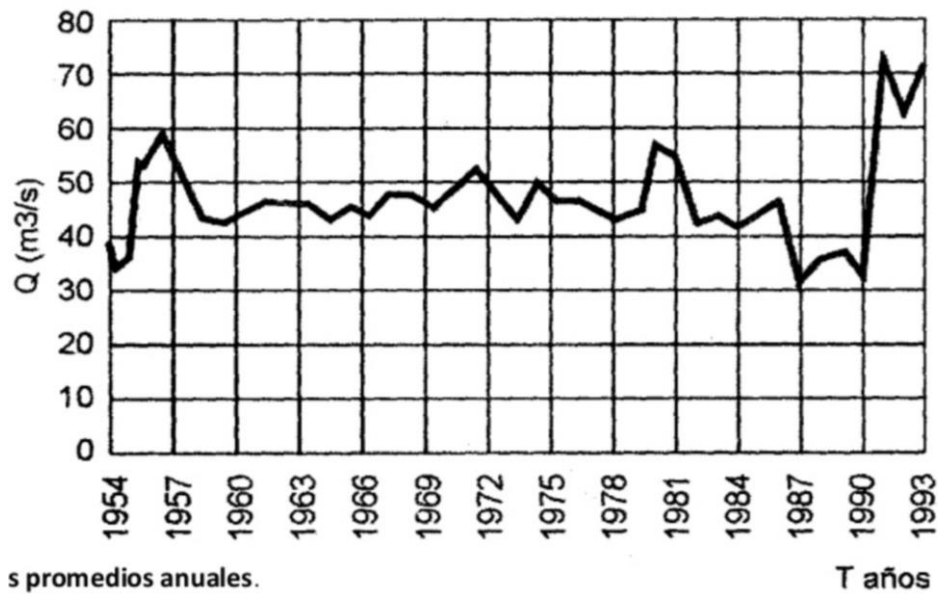
- Análisis visual grafico
- Análisis de doble masa
- Análisis estadístico

2.2.7.1 Análisis visual grafico

Según Villon Bejar, se plotea la información hidrológica histórica en coordenadas cartesianas, ubicándose las ordenadas, los valores de la serie y en las abscisas el tiempo.

Este grafico sirve para analizar la consistencia de la información hidrológica en forma visual, e indicar el periodo o periodos en los cuales la información es dudosa, lo cual se puede reflejar como picos muy altos o valores muy bajos, saltos y/o tendencias, los mismos que debería comprobarse, si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido, o si son producto de errores sistemáticos.

Ilustración 13 Seria histórica del río Bebedero



Fuente: Villon Bejar, Hidrología Estadística, 2011

Para conocer la causa del fenómeno detectado, se puede analizar de diversas formas:

- Cuando se tienen estaciones vecinas, se comparan los gráficos de las series históricas, y se observa cuál período varía notoriamente uno con respecto al otro.
- Cuando se tiene una sola estación, ésta se divide en varios periodos y se compara con la información de campo obtenida.
- Cuando se tienen datos de precipitación y escorrentía, se comparan los diagramas, los cuales deben ser similares en su comportamiento.

La interpretación de estas comparaciones, se efectúa conjuntamente con el análisis doble masa (Villon Bejar, Hidrologia Estadistica, 2011).

2.2.7.2 Análisis estadístico

Después de obtener de los gráficos construidos para el análisis visual y de los de doble masa, los períodos de posible corrección, y los períodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de

saltos, tanto en la media como en la desviación estándar (Villon Bejar, Hidrologia Estadística, 2011).

2.2.7.2.1 Análisis de Saltos

Villon Bejar indica que el análisis de salto procede de la siguiente forma:

Consistencia de la Media

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación, de la siguiente manera:

- a) Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras, según:

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

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

Donde:

x_i = valores de la serie del periodo 1

x_j = valores de la serie del periodo 2

\bar{x}_1, \bar{x}_2 = media de los periodos

$S_2(x)$ = desviación estándar de los periodos

n = tamaño de la muestra

Consistencia de la Desviación Estándar

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación.

Cálculo del F tabular (valor crítico de F ó Ft)

se obtiene de las tablas F para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ y grados de libertad:

Corrección de los datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series de tiempo, resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres. En caso contrario, se corrigen los valores de las submuestras (Villon Bejar, Hidrología Estadística, 2011).

2.2.7.2.2 Análisis de Tendencias

Según Villon Bejar, Antes de realizar el análisis de tendencias, se realiza el análisis de saltos y con la serie libre de saltos, se procede a analizar las tendencias en la media y en la desviación estándar.

Tendencia en la Media

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

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

La ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t$$

Los parámetros de regresión de estas ecuaciones, pueden ser estimados por el método de mínimos cuadrados, o por el método de regresión lineal múltiple.

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

b. Evaluación de la tendencia T_m

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de regresión B_m o también el coeficiente de correlación R .

El análisis de R según el estadístico es como sigue:

Cálculo del estadístico t según:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

donde:

t_c = valor del estadístico t calculado.

n = número total de datos

R = coeficiente de correlación

Cálculo de t_c

El valor crítico de t , se obtiene de la tabla de t de Student, con 95% de probabilidad o con un nivel de significación del 5 %, es decir:

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

Corrección de la información:

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

$$Y_t = X'_{(t)} - T_m$$

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

donde T_m es el promedio de la tendencia en la media o promedio de los valores corregidos de saltos.

Tendencia en la desviación estándar

La tendencia en la desviación estándar, generalmente se presenta en los datos semanales o mensuales, no así en datos anuales". Por lo que, cuando se trabajan con datos anuales, no hay necesidad de realizar el análisis de la tendencia en la desviación estándar.

La tendencia en la desviación estándar T_s , se expresa en forma general por la ecuación polinomial.

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

La ecuación de regresión lineal simple:

$$T_s = A_s + B_s t$$

Para calcular y probar si la tendencia en la desviación estándar es significativa, se sigue el siguiente proceso:

- a. La información ya sin tendencia en la media Y_t , se divide en períodos de datos anuales.
- b. Se calcula las desviaciones estándar para cada período de toda la información:

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

- c. Se calculan los parámetros de la ecuación (8.19), a partir de las desviaciones estándar anuales y el tiempo t (en años), utilizando las ecuaciones de la (8.11) a la (8.14), dadas para la tendencia en la media.

- d. Se realiza la evaluación de T_s siguiendo el mismo proceso descrito para T_m .

Si en la prueba R resulta significativo, la tendencia en la desviación estándar es significativa, por lo que se debe eliminar de la serie, aplicando la siguiente ecuación:

$$Z_t = \frac{x'_{(t)} - T_m}{T_s}$$

dónde: Z_t = serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar. Las demás variables han sido definidas en párrafos anteriores.

Para que el proceso preserve la media y la desviación estándar constante. la ecuación toma la forma: La serie Z es una serie homogénea y consistente al 95% de probabilidad.

$$Z_t = \frac{x'_{(t)} - T_m}{T_s} \cdot \bar{T}_s + \bar{T}_m$$



La serie Z es una serie homogénea y consistente al 95% de probabilidad.

2.2.8 COMPLETACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

2.2.8.1 Completación de datos

Para realizar estudios hidrológicos es necesario completar algunos datos faltantes en los registros históricos de información hidrometeorológica, denominándose así a este procedimiento completación de datos.

Entre los métodos de completación de datos más utilizados destacan:

- Método del promedio aritmético
- Método de la relación normalizada
- Método de regresión simple
- Método de generación aleatoria, estocásticos, etc.
- Método del inverso de la distancia
- Método de correlación
- Método de isoyetas

Para la completación de los datos de precipitación faltantes en los registros de la estación meteorológica de Curahuasi se utiliza el **método de generación aleatoria**.

Según Rodríguez Baca, (2011) indica que, el dato faltante es completado mediante el siguiente modelo lineal:

$$P_i = \bar{P} + \sigma\xi$$

Donde:

P_i: dato faltante

\bar{P} : Promedio de datos

ξ : número aleatorio con distribución normal, lognormal, gamma, etc.

σ : desviación estándar de la variable

Para la completación de datos, mediante generación de números aleatorios, se debe probar por los test de Chi-Cuadrado o Kolmogorov Smirnov si la serie hidrológica se ajusta a la distribución seleccionada.

La completación de datos mediante éste método comprende: ajustar la información disponible a una distribución teórica y con la distribución de mejor ajuste generar los datos aleatorios que faltan en la serie.

2.2.9 MODELO HIDROLÓGICO

Los modelos hidrológicos se presentan como una necesidad y una herramienta para conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de las diferentes componentes del ciclo hidrológico. Como consecuencia de ello, los modelos hidrológicos se usan:

- Como herramienta para la gestión y planeamiento.
- Para una mayor comprensión del rol de los componentes del ciclo hidrológico en una determinada cuenca.
- Para extrapolar potenciales condiciones futuras a partir de condiciones actuales.
- Como base para la modelación de otros procesos, como la calidad de agua, erosión, etc (Cabrera, 2014).

2.2.10 GENERACIÓN DE CAUDALES POR EL MÉTODO LUTZ SCHOLZ

Para el modelo hidrológico de Lutz Scholz se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

2.2.10.1 Balance hídrico



Se entiende por balance hídrico, al equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

Para el balance hídrico se considera tanto las entradas como salidas del sistema físico, almacenamiento y transporte interno.

2.2.10.2 Caudal medio mensual

Se entiende por caudal medio mensual al promedio aritmético de los valores medios diarios correspondientes a todos los días del mes en estudio.

2.2.10.3 Escorrentía

2.2.10.3.1 Escorrentía superficial

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad, la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso (Aparicio Mijares F. J., 1996).

2.2.10.3.2 Escorrentía subterránea

Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto, debe ser considerada como parte de la escorrentía (Aparicio Mijares F. J., 1996).

2.2.10.3.3 Coeficiente de escorrentía

Según Bateman, 2007, (pág. 48) Se denomina coeficiente de escorrentía C , a la relación promedio entre el volumen de agua que escurre superficialmente V_e ,

en una cuenca a lo largo de periodo de tiempo, e dividido por el volumen total precipitado V_p .

$$C = \frac{V_e}{V_p}$$

Esta definición es general y se usa para saber la producción media anual de una cuenca. A nivel de episodio también se pueden definir estas cantidades. Si se limita al área de la cuenca A , el volumen precipitado por unidad de tiempo es exactamente el producto de la intensidad de lluvia i por el área de la cuenca. El volumen escurrido medio en la cuenca por unidad de tiempo es el caudal medio medido en la cuenca. Así:

$$C = \frac{V_e/t}{V_p/t} = \frac{Q}{iA}$$

Donde:

t: Duración del evento

2.2.11 COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO

2.2.11.1 Agotamiento

Se denomina agotamiento a la disminución del caudal de un manantial en régimen no influenciado, es decir, ligado al descenso de niveles y a la disminución de reservas que se produce en el periodo en el que el acuífero no recibe alimentación (Glosario de Terminos Hidrogeologicos, s.f.)

2.2.11.2 Definición de coeficiente de agotamiento

El glosario de Términos Hidrogeológicos indica que “El coeficiente de agotamiento es una constante propia de un acuífero. Su valor caracteriza la ley

de decrecimiento exponencial del caudal del manantial que representa la descarga del sistema, como consecuencia de la disminución de reservas que sigue a la interrupción de la alimentación.”

2.2.11.3 Retención de la cuenca

La retención de la cuenca hace referencia a la reserva hídrica de la cuenca, la cual alimenta los ríos durante la estación seca (gasto de la retención). Sarango, y otros, (2012) sostiene que: “La retención de la cuenca está definida como la lámina de lluvia retenida por la cuenca y que contribuye al abastecimiento de agua en la época de estiaje. Esta lámina se calcula, según el modelo de Lutz Scholz, a partir de los acuíferos potenciales como las lagunas y los nevados que de acuerdo a la pendiente de la cuenca retiene una determinada lámina de agua.” (p.2)

Precipitación mensual Es la suma de las precipitaciones diarias en un período de un mes.

2.2.11.4 Precipitación efectiva

Se denomina precipitación efectiva a la porción de precipitación que se transforma en escorrentía. “Esta comienza luego después que la tasa de infiltración sea menor que la intensidad de lluvia y termina cuando la intensidad de la lluvia vuelva a ser menor que la tasa de infiltración”. (Universidad de los Andes, s.f.)

2.2.11.5 Déficit de escurrimiento

El déficit de escurrimiento podemos entenderlo como la precipitación que no ha generado escorrentía. El déficit de escurrimiento está definido como la diferencia entre la precipitación y el escurrimiento. Este déficit de escurrimiento es equivalente a la demanda evapotranspirativa real (ETR) de la cuenca. “El término

evapotranspiración real también se conoce como déficit de escurrimiento” (Universidad Agraria La Molina, s.f.).

El déficit de escurrimiento depende de factores meteorológicos, geográficos, hidrogeológicos y biológicos. Entre los factores meteorológicos están las precipitaciones y la temperatura, los factores geográficos vienen a ser la localización geográfica de la cuenca y su morfología. En cuanto a los factores hidrogeológicos: la permeabilidad de los terrenos, y por otro lado la cubierta vegetal y la acción del hombre que componen los factores biológicos.

2.2.11.6 Evapotranspiración

La evapotranspiración es una etapa del ciclo hidrológico, mediante el cual se transporta el agua a la atmósfera, a través de dos procesos conjuntos: evaporación y transpiración de la vegetación. Pudiendo producirse el primero desde la superficie del suelo, superficie del agua y desde el suelo: siendo el agua que se infiltra y que se evapora desde lo más superficial del suelo así como el agua que emerge a la superficie luego de su recorrido por el subsuelo.

Chow (2000), indica que “Los mismos factores que dominan la evaporación desde una superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son: el suministro de energía y el transporte de vapor. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido”. (p.93)

2.2.11.7 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial es aquella pérdida total de agua que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

2.2.11.8 Almacenamiento

Según Scholz, (1980), “entre los almacenes naturales que producen el efecto de la retención en la cuenca, se puede distinguir tres tipos con mayor importancia: acuíferos, nevados, lagunas y pantanos”. (p.14)

2.2.12 MODELO HIDROLÓGICO DE GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LUTZ SCHOLZ

Este modelo hidrológico fue elaborado por el Ingeniero Lutz Scholz, miembro de la Cooperación Alemana en 1979 – 1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del PLAN MERISS. 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 pueden 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. Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, siendo utilizado en estudios de proyectos de riego.

2.2.12.1 Parámetros hidrológicos para generación de caudales

Se detallan los parámetros hidrológicos empleados para la generación de caudales con el modelo desarrollados por Lutz Scholz (1980):

2.2.12.1.1 Ecuación de balance hídrico

La ecuación fundamental del balance hídrico mensual expresada en mm/mes se puede describir en la forma siguiente propuesta por Fisher

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

Dónde:



CMi = Caudal mensual (mm/mes)

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

Di = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

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

Ai = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Admitiendo primero que en periodos largos el gasto y el abastecimiento son iguales, o sea la retención de la cuenca no cambia a largo plazo y segundo, que para el año promedio, una parte fija de la precipitación se pierde por evaporación se puede transformar la ecuación (a) en la ecuación básica del método racional (b), sustituyendo (P-D) por (C*P), cuando además se tiene en cuenta que la descarga se mide en (m³/s) y que la precipitación por lo general tiene la dimensión de (mm/mes) se llega a la forma:

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

Dónde:

Q = descarga (m³/s)

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

C = coeficiente de escurrimiento (1)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

AR = Área de la cuenca (m²)

Teniendo en cuenta una relación empírica entre la precipitación anual y la elevación y siempre que la determinación de la precipitación sobre la cuenca no cause dificultades para los proyectos se utiliza el método de Thiessen.

2.2.12.1.2 Coeficiente de escurrimiento

La literatura profesional muestra varias referencias para la estimación del coeficiente de escurrimiento "C". Aplicando esos coeficientes hay que distinguir

entre el caso de lluvias torrenciales para el cálculo de avenidas y el caso del caudal anual determinado a partir de la precipitación total anual.

Un Método para el cálculo del coeficiente C ha sido presentado por L. Turc. La fórmula desarrollada por L. Turc Sobre la base de observaciones hechas en 254 cuencas situadas en todos los climas al rededor del globo, tiene la expresión:

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

Dónde:

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación Total anual (mm/año)

L = Coeficiente de Temperatura

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

T = Temperatura media anual (°C)

Se aplica la fórmula de Turc a las observaciones en las 19 cuencas de las cuales se disponen de registros hidrometeorológicos, se constata que mediante la fórmula (c1) se puede calcular el déficit de escurrimiento solamente en el norte del país, en la región de Cajamarca, con una precisión satisfactoria.

En el sur, en la sierra el método de Turc falla por el clima muy especial, clima montañoso con temperaturas bajas alrededor de 7°C ubicada en la zona tropical. Por esta razón se ha buscado un método más apropiado para la región del proyecto. Se ha probado varias ecuaciones de regresión lineal, cuadrada y logarítmica entre el déficit D o el coeficiente C dependiente de la precipitación y/o evaporación y/o temperatura, empleando la relación (d) entre el déficit y el coeficiente de escurrimiento.

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

Las fórmulas para el cálculo de coeficientes de escurrimiento, para la sierra del Perú, se muestran a continuación:

Tabla 8 Ecuaciones del coeficiente de escurrimiento y su coeficiente de correlación

Ecuaciones de coeficiente de escurrimiento	Coficiente de correlación
$C_1 = 0.914 - 2.36E^{-4}P - 0.0581 T$	$r = 0.96$
$C_2 = 0.682 - 0.0526 T - 1.36E^{-4} T^2$	$r = 0.92$
$C_3 = 1.813 - 1.87E^{-4} P - 1.12E^{-3} EP$	$r = 0.93$
$C_4 = 5.21 - 7.31E^{-3} EP + 2.68E^{-6} EP^2$	$r = 0.95$
$C_5 = 3.16E^{12} P^{-0.571} EP^{-3.686}$	$r = 0.96$
$C_6 = 6.47 - 0.0691 Ln(P) - 0.8 Ln(EP)$	$r = 0.92$

Fuente: (Scholz, 1980)

Nuestra cuenca está ubicada en la sierra sur del Perú y por ende se utiliza las ecuaciones siguientes desarrolladas sobre la base de observaciones en la región de Cusco y Huancavelica propuestas por Scholz.

$$C = 3.16 E^{12} P^{-0.571} EP^{-3.686} \quad r = 0.96$$

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

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, nivel significativo, $n=8$, $r_{0.05} = 0.707$.

La evapotranspiración se determina por la fórmula de radiación (e) desarrollada por GH Hargreaves por el cálculo de la evapotranspiración potencial:

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

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

$$RSM = 0.0075(RA) \sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)}$$

Donde:

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

La temperatura anual de la cuenca se calcula en base a datos registrados en las estaciones de referencia teniendo en cuenta una gradiente de temperatura de - 5.3 °C / 1000 m, que se determinó para la sierra.

2.2.12.1.3 Precipitación efectiva para el modelo Scholz

Suponiendo que los caudales promedio observados pertenezcan a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención de la cuenca respectiva, se calcula la precipitación efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio, de manera que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total sea igual al coeficiente de escurrimiento. Se debe tener presente que los límites superiores para la precipitación efectiva son los siguientes:

Tabla 9 Límite superior para la precipitación efectiva

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

Fuente: (Scholz, 1980)

Para facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado un polinomio de quinto grado, el cual tiene la siguiente expresión:

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

Dónde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

a_i = Coeficiente del polinomio.

Los valores para a_i se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10 Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

a_i	COEFICIENTES PARA EL CALCULO SEGÚN		
	Curva I	Curva II	Curva III
a_0	-0.018	-0.021	-0.028
a_1	-0.0185	0.1358	0.2756
a_2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1.20E-05	4.35E-05	5.53E-05
a_4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a_5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Fuente: (Scholz, 1980)

Con este modelo obtenemos la relación entre la precipitación efectiva y total de manera que el volumen anual de la precipitación efectiva sea igual al caudal anual de la cuenca respectiva.

Donde:

C: Coeficiente de escurrimiento

Q: Caudal anual

P: Precipitación Total

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

Debemos ajustar la suma de la PE_i por interpolación entre dos series de valores PE determinados por los coeficientes de la TABLA N° 5: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva, según curva I y II o curva II y III.

Seguidamente de aplicar los juegos de coeficientes de la tabla anteriormente mencionada de la curva I, II y III, según sea el caso, para el cálculo de la PE_I, PE_{II}, PE_{III} respectivamente, multiplicando la precipitación total mensual con los coeficientes a₀ hasta a₅ en la ecuación polinómica de 5to grado, se determina los coeficientes c₁ y c₂ de manera que la suma de ambas precipitaciones anuales multiplicadas por sus coeficientes respectivos sea igual al producto del coeficiente de escurrimiento C y de la precipitación total anual P.

$$c_1 = \frac{C * P - PE_{i+1}}{PE_i - PE_{i+1}} \quad c_2 = \frac{C * P - PE_i}{PE_{i+1} - PE_i}$$

Por ejemplo, si se trabajara con PE_I y PE_{II}, se tiene:

$$c_1 * PE_I + c_2 * PE_{II} = C * P$$

$$c_1 + c_2 = 1$$

$$c_1 = \frac{C * P - PE_{II}}{PE_I - PE_{II}} \quad c_2 = \frac{C * P - PE_I}{PE_{II} - PE_I}$$

Por lo tanto, para este ejemplo, se calcula las precipitaciones efectivas mensuales por multiplicación de los valores de la PE_I con el coeficiente c₁ y sumando el producto de la PE_{II} con el coeficiente c₂.

2.2.12.1.4 Retención en la cuenca

Según Lutz Scholz, la retención de la cuenca se mide en función a la extensión acumulada por acuíferos, lagunas, pantanos y nevados y su lámina de agua respectiva. Se muestra las láminas de agua en el cuadro siguiente:

Tabla 11 Lámina de agua acumulada en los 3 tipos de almacén hídrico

TIPO	LÁMINA ACUMULADA (mm/año)		
NAPA FREÁTICA	Pendiente de la Cuenca		
	2%	8%	15%
	300	250	200
LAGUNAS - PANTANOS	500		
NEVADOS	500		

Fuente: (Scholz, 1980)

La suma de los volúmenes particulares se transforma a una lámina de agua sobre toda la cuenca. El resultado indica la retención R total de la cuenca para el año promedio en (mm/año) que por definición es igual al gasto total G durante la estación seca y además igual al abastecimiento A durante la estación lluviosa.

2.2.12.1.5 Relación entre descarga y retención

En el periodo de la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, y mantiene la descarga básica. La reserva de la cuenca se agota al final de la estación seca y durante este tiempo se puede indicar la descarga por la descarga del mes anterior y el coeficiente de agotamiento según la fórmula:

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

Dónde:

Qt: 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 y parte de las lluvias más abundantes entra en los almacenes hídricos. Analizando los hidrogramas de la contribución de la retención a los caudales, se constata que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales: lagunas, pantano, nevados y los acuíferos ya están recargados parcialmente, la restitución acaba poco a poco.

2.2.12.1.6 Gasto de la retención

Según Lutz Scholz, el Gasto de la retención considera que los caudales durante la estación seca están relacionados a los del mes anterior por la relación siguiente:

$$b_0 = e^{-at}$$

Donde:

b_0 : relación entre la descarga del mes actual y del mes anterior

a : coeficiente de agotamiento

t : tiempo

La suma de los factores mensuales b_0^i durante la estación seca de m meses:

$$b_m = \sum_{i=1}^m b_0^i$$

Corresponde al gasto total durante el periodo de m meses secos. En consecuencia, la contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede indicar por la relación siguiente:

$$G_i = \left(\frac{b_0^i}{\sum_{i=1}^m b_0^i} \right) * R$$

Donde:

b_0^i : Relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial.

G_i : Gasto mensual de la retención (mm/mes)

R : Retención de la cuenca.

Teniendo en cuenta que para el cálculo de b_0^i para el mes de abril ($i=1$), mayo 0 ($i=2$) así hasta octubre ($i=7$).

$$b_i = b_0^i$$

Entonces: $b_i = (e^{-at})^i$

2.2.12.1.7 Coeficiente de agotamiento

Aplicando la fórmula de la “relación entre descarga y retención” se puede calcular el coeficiente de agotamiento “ a ” sobre la base de los datos hidrométricos. Se constata que el coeficiente “ a ” no es constante durante toda la estación seca sino que disminuye poco a poco. Para los ríos en la Sierra que han sido analizados, el valor de “ a ” inicial es hasta dos veces más grande que el “ a ” final. Para el cálculo práctico, estos fenómenos no son decisivos y se pueden despreciar la variación del coeficiente “ a ” durante la estación seca empleando un valor promedio del coeficiente. De mayor importancia es la dependencia conocida del coeficiente de agotamiento del área de la cuenca en forma logarítmica (Scholz, 1980):

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

Se ha formado un juego de 4 ecuaciones (i.1- i.4) para determinar el coeficiente “ a ” para cuatro clases de cuencas:



Agotamiento muy rápido, por temperatura elevada $> 10^{\circ} \text{C}$ y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana (80mm/año):

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

Agotamiento rápido, por retención entre 50 mm/año y 80 mm/año y vegetación - poco desarrollada (puna):

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

Agotamiento mediano, por retención mediana (alrededor de 80 mm/año) y - vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).

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

Agotamiento reducido, por alta retención (arriba 100 mm/año) y vegetación - mezclada:

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

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)

Se puede determinar el coeficiente de agotamiento real mediante varios aforos en el río durante la estación seca. Pero cuando no exista ningún aforo o solamente una observación, se utiliza una de las ecuaciones empíricas (i.1 hasta i.4) según la predominancia de los criterios anteriormente mencionados (Scholz, 1980).

2.2.12.1.8 Almacenamiento hídrico

Entre los almacenes naturales que producen el efecto de la retención en la cuenca, se puede distinguir tres tipos con mayor importancia: - Acuíferos - Lagunas y pantanos - Nevados Sobre la base de las observaciones disponibles se puede indicar la lámina de agua acumulada "L" que cada tipo almacena durante el año promedio:

Acuíferos en función de la pendiente del desagüe:

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

Donde:

L_A : lámina específica de acuíferos

I : pendiente del desagüe; $I \leq 15\%$ Lagunas y pantanos:

$L_L = 500$ (mm/año)

L_L : lámina específica de lagunas y pantanos.

Nevados: $L_N = 500$ (m/año)

L_N : lamina específica de nevados

2.2.12.1.9 Abastecimiento de la retención

Scholz indica que el abastecimiento durante la estación lluviosa es casi uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la sierra peruana el abastecimiento empieza en el mes de Noviembre con 5% del volumen total y ya en Enero se alcanza el 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. En las regiones situadas más al norte se muestra la influencia del clima ecuatorial de transición. Allí el abastecimiento empieza en el mes de Octubre con 10% hasta 20%. La contribución de los meses de Noviembre y Diciembre es solamente pequeña y la restitución de los almacenes hídricos tiene lugar en Enero hasta Marzo (Scholz, 1980).

Ilustración 14 Almacenamiento hídrico durante época de lluvias (coeficientes ai %)

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

Fuente: (Scholz, 1980)

2.2.13 CAUDALES MÁXIMOS

Según Villon, 2002 (pág. 241) el caudal máximo sirve para diseñar las siguientes estructuras:

- Dimensiones de un cauce
- Sistemas de drenaje (agrícola, aeropuerto, ciudad y carretera)
- Muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones
- Alcantarillas
- Vertederos de demasías
- Luz en puentes

Se debe calcular o estimar el caudal de diseño para esos casos. Son los caudales máximos.

La magnitud del caudal de diseño es función directa del periodo de retorno que se le asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de esta.

2.2.13.1 Periodo de retorno de una avenida

Para el caso de un caudal de diseño, el periodo de retorno se define, como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud Q , puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio (Villon Bejar, HIDROLOGIA, 2002).

Si un evento igual o mayor a Q ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P , es igual a $1/T$ en T casos, es decir:

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{ó} \quad T = \frac{1}{P}$$

Donde:

P: probabilidad de ocurrencia de un caudal Q.

T: periodo de retorno.

2.2.13.2 Riesgo de falla de una estructura

La probabilidad de que el evento, ocurra a l menos una vez en n años sucesivos, es conocido como riesgo o falla R y se representa por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

N: vida útil de la estructura (en años).

R: riesgo o falla de la estructura.

Ilustración 15 Valores de periodo de retorno

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44

Fuente: Monsalve 1999

Tabla 12 Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

- (*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - **Vida Útil considerado (n)**

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
 - Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
 - Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
 - Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

2.2.14 MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

Según Villon Bejar, (2002) el Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers).

Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

El resultado del proceso del modelaje es el cálculo de los hidrógrafos del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río.

El HEC-HMS cuenta con un interfaz que proporciona al usuario:

- Un componente de análisis hidrológico integrado.
- Herramientas de manejo y almacenamiento de datos.
- Facilidad de reportes y gráficos.

Los resultados e hidrogramas producidos se almacenan en una base de datos que pueden usarse directamente por el HEC-RAS en la elaboración de estudios de:

- Disponibilidad de agua
- Drenaje urbano
- Predicción del flujo
- Reducción de los daños de las avenidas.
- Operación de sistemas

2.2.14.1 Parámetros empleados en el hec - hms

2.2.14.1.1 Pérdidas iniciales

Villon Bejar, (2002), indica que el cálculo de las pérdidas iniciales, se determinan a través de la siguiente expresión:

$$Ia = 0.2 S$$

En la que S, establecida por el SCS (Soil Conservation Service) se expresa mediante la siguiente ecuación (en función del número de curva CN):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Por lo tanto se tiene:

$$Ia = 0.2 \left[\frac{25400}{CN} - 254 \right] \quad Ia = \left[\frac{5080}{CN} - 50.8 \right]$$

Donde:

Ia: pérdidas o sustracciones iniciales (mm)

S: infiltración potencial máxima (mm)

2.2.14.1.2 Número de curva

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2011) se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua CN = 100; para superficies naturales CN < 100. Para una cuenca con varios tipos de suelos y diferentes tipos de tierra se puede calcular un CN compuesto.

- Grupo A: Bajo potencial de escorrentía
- Grupo B: Moderado bajo potencial de escorrentía
- Grupo C: Moderado alto potencial de escorrentía
- Grupo D: Alto potencial de escorrentía

Tabla 13 VALORES DEL NUMERO DE CURVA

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65	77	85	92
1/4 acre	38	61	75	87
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

2.2.14.1.3 Tiempo de retraso (Lag time)

Según Villon Bejar, (2002), el tiempo de retraso se estima a partir del tiempo de concentración:

$$\text{Lag Time} = 0.6 t_c$$

Donde:

Lag Time: Tiempo de retraso (min)

t_c : Tiempo de concentración (min)

2.2.15 MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

Según el (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje) Es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España.

Este método permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (T_c) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 CIAK$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

K: Coeficiente de Uniformidad

Para calcular el caudal es necesario tener las siguientes formulas:



- **Tiempo de Concentración (Tc)**

$$T_c = 0.3(L/S^{0.25})^{0.76}$$

Donde:

L= Longitud del cauce mayor (km)

S= Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

- **Coeficiente de Uniformidad**

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración (horas)

- **Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (kA)**

$$K_A = 1 - (\log_{10} A/15)$$

Donde:

A: Área de la cuenca (Km²)

- **Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)**

$$P = k_A P_d$$

Donde:

kA: Factor reductor

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

- **Intensidad de Precipitación (I)**

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde:

P: Precipitación máxima corregida (mm)

Tc: Tiempo de concentración (horas)

- **Coeficiente de Escorrentía (C)**

$$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23 * P_o)}{(P_d + 11 * P_o)^2}$$

Donde:

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

CN: Número de curva

Po: Umbral de escorrentía

$$= \left(\frac{5000}{CN}\right) - 50$$

2.2.16 SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLOGICO HEC-RAS VERSION 5.0.3

Es una aplicación para el modelado hidrológico desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica (HEC- Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingeniero de los estados unidos (USACE)

RAS: River Analysis System

El programa realiza cálculos hidráulicos unidimensionales para redes hídricas ya sea naturales o construidas.

2.2.16.1 Funciones que realiza el Hec Ras

- Análisis hidráulico
 - Régimen Permanente

- Régimen Impermanente
- Transporte de Sedimentos
- Trabaja en forma modulada, a través de archivos “planes” se ligan los distintos módulos. Esto da gran flexibilidad a la modelación.
- Reporte de resultados
 - Gráficos
 - Tablas

2.2.16.2 Ventajas y limitaciones del modelo hec-ras v5.0.3

Según el grupo de investigación de transporte de sedimentos (GITS), el uso de un modelo numérico unidimensional como el Hec-Ras (que resuelve la ecuación de la energía) y todo su entorno complementario (pre y post-proceso en Arc-View) para la resolución de problemas hidráulicos y/o fluviales conlleva una responsabilidad importante en cuanto a la necesidad de conocer las limitaciones en su aplicación. Debemos entender como profesionales de la ingeniería hidráulica la absoluta necesidad de analizar con visión crítica los resultados numéricos ofrecidos por este tipo de modelos. Cualquier resultado calculado por Hec-Ras no es una solución real...tan sólo es un posible resultado. Se debe aplicar nuestro conocimiento de las leyes y principios hidráulicos para determinar la bondad del resultado. A continuación se pasa a describir una serie de Ventajas y de inconvenientes que se deben tener en cuenta:

VENTAJAS:

- Un modelo unidimensional en energías permite el cálculo en dominios con escalas muy grandes, de modo que la simulación de kms de río se realiza con una velocidad de cálculo enorme (orden de segundos). Por tanto, la capacidad de repetición y corrección de un cálculo es muy alta.
- El uso de la ecuación de la energía para el balance entre secciones, dada la incertidumbre existente en la estimación de las pérdidas de carga (resistencia al flujo), es un método bastante aproximado en problemas de gran escala (fluviales). La simplificación del flujo turbulento tridimensional



a un flujo unidimensional es relativamente aceptable para grandes escalas (ríos y barrancos) con precisiones poco exigentes.

- Gran libertad geométrica: Permite el análisis con secciones naturales no regulares (secciones fluviales: cauce principal y llanuras de inundación). Es una gran ventaja sobre otro tipo de modelos hidráulicos existentes (y mucho más rígidos).
- Facilidad de creación, modificación y edición de geometrías (entorno visual muy cómodo y rápido) e introducción de datos de rugosidad y estructuras transversales (puentes, obras de paso, aliviaderos). Gran comodidad de visualización de resultados y edición de figuras.
- Gran capacidad de importación y exportación de datos en entorno Windows (comunicación con Excel, Word, AutoCAD) para el post-proceso de resultados y presentación.
- Las nuevas tecnologías SIG (Sistemas de Información Geográfica), tipo Arc-View, permiten el proceso de grandes cartografías para generar la geometría del cauce con gran precisión, en formatos importables Hec-Ras (.geo). Asimismo, existen extensiones para el Post-proceso de láminas de inundación y mallas ("grids") de inundación y velocidad.
- Uso extendido en todo el mundo y gran experiencia de uso. Hec-Ras es un modelo bien contrastado, herencia directa (y mejorada) del antiguo HEC-2 (1984) en MSDOS. • ES GRATIS !!!!!!!(sin licencia).

INCONVENIENTES Y LIMITACIONES:

- Hec-Ras no es un modelo turbulento. La ecuación de la energía supone siempre distribuciones hidrostáticas de presiones y la ecuación de fricción permanente de Manning. Por tanto, la solución es una pura simplificación, y no se ajusta a la realidad en casos donde las presiones y las tensiones turbulentas se alejan del modelo lineal.
- Hec-Ras no es un modelo 3D (x,y,z) ni 2D (x,y) , sino que es un modelo 1D (x), de modo que la solución siempre es una aproximación o promedio de la real. Un ejemplo tan importante como la extensión del flujo por las llanuras de inundación para grandes avenidas es un fenómeno que Hec-Ras no puede evaluar, en principio. La posibilidad de dividir la sección en subsecciones lo convierte en un modelo quasi 2D muy debil pues no tiene



en cuenta la transferencia lateral de momentum del flujo. La distribución lateral de velocidades no es correcta. En consecuencia, la solución de flujo en curvas (método de los Flowpaths) es tremendamente aproximada.

- Sólo se pueden modelar ríos y barrancos con pendientes menores de 10^0 ($\alpha < 10^0$, $S_o < 0.18$) ya que no se tiene en cuenta la componente vertical del peso de la columna de agua ($\cos \alpha$) en las ecuaciones.
- Ni Saltos ni los obstáculos son reproducidos correctamente (Hec-Ras no realiza balance de fuerzas). Existen métodos para simular o reproducir dichos efectos, pero son altamente arbitrarios y dependen mucho del tipo de flujo.
- El resultado viene altamente condicionado por las consideraciones geométricas adoptadas (Trazado de secciones, Areas Inefectivas, pérdidas de estrechamiento y expansión, etc...). Por tanto, el resultado sigue siendo bastante “manual” (bajo criterio del calculista)
- Problemas en la elección del calado crítico. Dificultad para hallar el calado crítico en secciones naturales complejas que contienen varios calados críticos (terrazas fluviales). Por defecto el programa escoge el de calado más bajo.
- Siempre ofrece por defecto una solución, es decir, Hec-ras no se cuelga nunca. En consecuencia, se debe ser crítico con el resultado numérico.
- Limitación en la convergencia de la energía a 40 iteraciones en cada sección de cálculo. Por defecto adopta el valor de calado de menor error.

2.2.16.3 Datos necesarios para el hec-ras

Según la Universidad de Buenos Aires, (2012), el objetivo principal del programa HEC-RAS es calcular alturas de agua en todas las localidades de interés para determinados caudales. Los datos necesarios para realizar estos cálculos están divididos en:

- Datos Geométricos
- Datos de Flujo Permanente



Datos geométricos

- Esquema de río
 - Morfología de la red
 - Conectividad entre cauces
 - Definición de puntos de intersección
 - Nomenclatura (Cauces, tramos e intersecciones)
- Secciones transversales
 - Topografía del cauce
 - Distancia entre secciones
 - Singularidades
 - Coeficientes de pérdida de energía

Datos de flujo permanente

Los datos de flujo permanente necesarios para calcular el perfil de la superficie del agua. Son básicamente

- Régimen del flujo
- Condiciones de borde
- Caudales del sistema

Datos de flujo

- El modelo realiza sus cálculos a partir de una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o supuestas y siguen aguas arriba para flujo subcrítico o aguas abajo para flujo supercrítico.
- Para régimen subcrítico el modelo restringe como resultados correctos valores mayores a la altura crítica.
- Para régimen supercrítico el modelo restringe como resultados correctos valores menores a la altura crítica.

- En casos donde el régimen de flujo cambia de subcrítico a supercrítico, o viceversa, el usuario debe ejecutar el programa en modo de régimen de flujo mixto.

Condiciones de borde

- Según el régimen en que se encuentre el flujo, su comportamiento estará condicionado desde aguas arriba (torrente) o aguas abajo (río).
- Para régimen subcrítico (río) se requieren condiciones de borde en la última sección de aguas abajo.
- Para régimen supercrítico (torrente) se requieren condiciones de borde en la primera sección de aguas arriba.
- Para régimen mixto, HEC-RAS necesita ambas condiciones de borde.

2.2.17 INUNDACIONES

Según el IDEAM, (2014), las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos:

- **Inundaciones lentas**, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reporta afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses.
- **Inundaciones súbitas**, que aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente (IDEAM, 2014).

2.2.18 ESTACIÓN METEOROLÓGICA CURAHUASI

2.2.18.1 Descripción y estado de la estación meteorológica Curahuasi

La estación meteorológica Curahuasi, codificada en la red de estaciones del SENAMHI, se encuentra ubicada en el Distrito de Curahuasi, Provincia de Abancay, del Departamento de Abancay, con las siguientes características:

Estación: CURAHUASI

Código: 000677

Tipo: Convencional-Meteorológica

Latitud: 13 33' 8"

Longitud: 72 44' 5"

Estado: Funcionando

La estación meteorológica Curahuasi, registra temperaturas máximas y mínimas diarias, precipitaciones (2 veces por día), dirección y velocidad del viento (a las 13 hrs)



El monitoreo de esta estación se encuentra a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es del tipo CUANTITATIVA porque representa un conjunto de procesos, es secuencial y probatoria. Es así que el orden es riguroso. Partiendo de una idea que va acotándose y a su vez delimitándose, es así que se derivan objetivos y preguntas de investigación. Se revisa la literatura y se construye un marco teórico. De las preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables, trazándose un plan para probarlas y finalmente se extraen conclusiones (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de esta investigación es CORRELACIONAL porque la finalidad es conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos categorías o variables en un contexto específico (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014), en este caso relacionando eventos como son los caudales generados en presencia de fenómenos El Niño y La Niña con otro evento que son los caudales en condiciones normales.

3.1.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Es HIPOTETICO DEDUCTIVO porque a través de las observaciones realizadas de casos particulares se plantea un problema. Este lleva a un proceso de Inducción que remite el problema a una teoría para formular una hipótesis, que a través de un razonamiento deductivo intenta validar la hipótesis empíricamente (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).



3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es NO EXPERIMENTAL, por que la investigación que se realizara no se manipulara deliberadamente las variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO

Los datos necesarios para hacer la investigación serán requeridos a instituciones del estado, para el desarrollo del análisis hidrológico se utilizó la información meteorológica proveniente del SENAMHI, correspondiente al distrito de Curahuasi del departamento de Apurímac.

También se toman datos de campo.

Se tomarán y procesarán los datos, en lo que a los análisis hidrológicos se refiere.

Obtención de resultados.

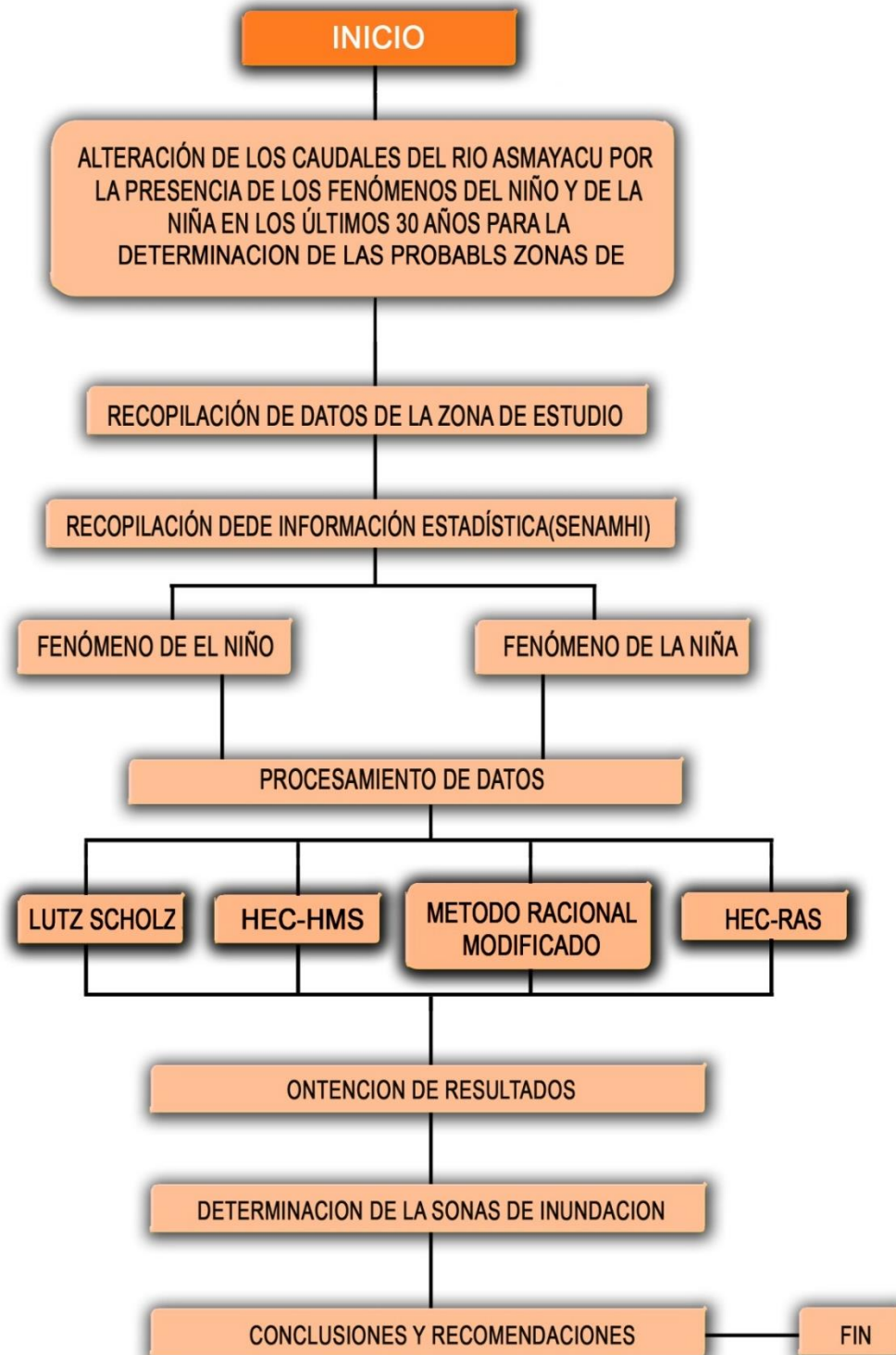
Se modela el caudal

Se analizan los resultados.

Conclusiones y recomendaciones.

3.2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA

Ilustración 16 Flujoograma del diseño de ingeniería



Fuente: Propia



3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

3.3.1.1 Descripción de la población

Los datos históricos proporcionados por el servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI) son valores estadísticos los cuales indican la altura de precipitación y temperatura, dentro de la cuenca de estudio.

Dichos datos estadísticos son proporcionados por la estación meteorológica de Curahuasi 000677 ubicada en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, la cual es una estación de tipo convencional y que tiene un registro mensual desde 1964 hasta la actualidad.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

El total de la población es el registro diario del histórico de datos de la precipitación de la estación meteorológica 00667 del distrito de Curahuasi.

3.3.2 MUESTRA

3.3.2.1 Descripción de la muestra

Los datos históricos proporcionados por el servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI) son valores estadísticos los cuales indican la altura de precipitación aledaña a la cuenca de estudio.

Para efectos de esta investigación, solo se toma en cuenta los datos correspondientes al periodo 1985-2016. Es en este periodo en el cual se realiza la investigación sobre la alteración de los caudales debido a la presencia de fenómenos como son el Niño y la Niña.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

El total de la muestra es el registro mensual de del histórico de datos de precipitación desde el año 1985 hasta el año 2015.

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo de esta investigación es NO PROBABILISTICO porque en las muestras de este tipo la elección de los datos no depende de que todos tengan la misma posibilidad de ser elegidos sino de la decisión de un investigador o grupo de personas que recolectan los datos. La ventaja de una muestra no probabilística desde la visión cuantitativa es su utilidad para determinados diseños de estudio que requieren no tanto una representatividad de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Para esta investigación se eligió el periodo comprendido desde el año 1985 hasta el 2016.

3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Se asumen los datos de la estación meteorológicas del SENAMHI como correctos.

3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Los criterios de inclusión de la muestra son los siguientes:

- Se considera como datos a los valores numéricos que están dentro del rango promedio, los datos que estén fuera de contexto serán descartados y reemplazados por valores hallados estadísticamente.



3.4.1.2 Precipitación mensual

Ficha de datos de la precipitación elaborada para la obtención de datos del SENAMHI



Tabla 15 Formato de registro de precipitación mensual

(mm)
REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL

Estación : Latitud Departamento
Tipo : Longitud Provincia
Altitud Distrito

Table with columns: N° REG, AÑO, ENE, FEB, MAR, ABR, MAY, JUN, JUL, AGO, SET, OCT, NOV, DIC, TOTAL. Rows include years from 1964 to 2016 and summary rows for N° Datos, Media, Desv. Estandar, Coef. Variacion, Prec. Max., and Prec. Min.

Fuente: Propia

3.4.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERIA

- Estación meteorológica.



- Estación total



3.5 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 PRECIPITACIÓN

Se muestra a continuación los registros de datos de precipitación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca de estudio y adyacentes a ésta. Habiéndose recopilado así información de las estaciones. La precipitación en la cuenca se midió con la estación pluviométrica de Curahuasi y los datos obtenidos en la estación se muestran en la página web del SENAMHI de la siguiente forma.

Tabla 16 Registro de precipitación diaria (ejemplo: año 1985)

REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA DIARIA
(mm)

Estacio : **CURAHUASI** Latitud : 13° 33' 08" S Departamento: Apurimac
 Tipo : CO-677 Longitud : 72° 44' 05" W Provincia : Abancay
 Altitud : 2763 msnm Distrito : Curahuasi

Año	Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1985	1				13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
1985	2				0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
1985	3				0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
1985	4				12.7	1.9	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1985	5				1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0
1985	6				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
1985	7				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	3.3
1985	8				1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
1985	9				1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4
1985	10				0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1985	11				6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0
1985	12				8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	14.5	0.0
1985	13				1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
1985	14				1.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.1
1985	15				1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	3.5
1985	16				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.5	5.2
1985	17				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
1985	18				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	8.0	0.0
1985	19				2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7
1985	20				2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0
1985	21				20.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	3.4	6.5
1985	22				0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5
1985	23				14.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1985	24				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	3.0
1985	25				1.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
1985	26				0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	4.0
1985	27				0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	14.8
1985	28				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.0
1985	29				5.5	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	4.5
1985	30				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
1985	31					0.0		0.0	0.0		0.0		0.0

Fuente: SENAMHI

Tabla 17 Registro de precipitación mensual

REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
(mm)

Estacion : **CURAHUASI** Latitud : 13° 33' 08" S Departamento : Apurimac
 Tipo : CO-677 Longitud : 72° 44' 05" W Provincia : Abancay
 Altitud : 2763 msnm Distrito : Curahuasi

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	42.0	90.0	162.0	33.6	13.0	0.0	5.2	0.0	60.0	22.1	34.3	42.6	504.8
2	1,965	85.2	158.7	113.0	48.0	8.0	0.0	5.0	0.0	10.2	0.0	37.9	135.8	601.8
3	1,966	83.9	125.9	86.0	16.5	31.4	0.0	0.0	4.0	18.8	136.4	140.6	53.5	697.0
4	1,967	87.7	115.5	252.1	66.6	15.6	0.2	14.7	6.3	15.3	68.0	35.5	154.5	832.0
5	1,968	140.2	112.1	139.4	14.5	0.5	0.0	6.7	5.8	4.7	42.1	131.5	61.1	658.6
6	1,969	100.7	115.4	226.9	73.6	0.8	3.3	3.5	2.5	9.0	93.9	90.2	155.4	875.2
7	1,970	171.4	74.2	73.4	44.6	10.8	1.2	0.0	0.0	28.6	54.2	39.6	130.5	628.5
8	1,971				76.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	84.8	58.2	
9	1,972	117.3	121.7	98.5	48.5	0.4	0.0	12.9	57.9	12.6	20.9	23.2	90.5	604.4
10	1,973	87.7	74.9	128.9	43.7	2.8	0.0	3.9	3.0	20.9	23.2	90.5	35.8	515.3
11	1,974	80.3	108.2	104.4	31.6	8.0	7.9	5.0	14.3	0.5	11.8	17.6	30.3	419.9
12	1,975	26.6	42.4	60.6	30.6	4.7	2.0	1.3	4.8	9.5	20.6	4.3	197.0	404.4
13	1,976	159.0	119.2	141.8	49.2	0.5	7.9	2.0	7.3	30.4	27.8	25.2	65.1	635.4
14	1,977	75.0	121.1	107.1	11.6	5.1	0.0	3.8	0.0	10.6	81.6	133.2	113.5	662.6
15	1,978	124.0	170.4	93.2	25.1	1.1		0.0	0.3	16.6	20.0	145.0	77.7	
16	1,979	42.3	104.3	116.8	35.9	4.5	0.0	1.2	4.8	11.7	13.4			
17	1,980	46.5	99.4	83.1	9.6	4.1	0.0	5.6	0.0	0.0	26.1	63.1	137.3	474.8
18	1,981	114.7	122.7	63.7	46.8	0.0	6.0	0.9	18.3	24.5	53.0	145.7	173.1	769.4
19	1,982	206.4	177.2	113.1	30.4	0.0	3.4	0.0	13.6	4.7	8.7	125.1	55.2	737.8
20	1,983	138.5	87.5	67.8	45.8	4.5		0.0	0.0	0.0	0.0	53.7	93.8	
21	1,984	182.1	157.9			0.0	0.0	0.0	0.0					
22	1,985				93.3	35.9	10.9	2.5	0.3	9.5	33.4	78.3	99.8	
23	1,986	98.3	96.9	157.5	34.0	6.8	0.0	0.0	9.2	29.9	26.8	34.4	54.4	548.2
24	1,987	150.4	81.4	27.1	54.1	11.6	0.0	5.0	0.0		41.3	43.1	63.9	
25	1,988	178.6	113.6	124.6	71.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6			
26	1,989													
27	1,990	37.1	48.5	27.1	24.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1			
28	1,991	24.7	81.1	25.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3		
29	1,992	40.0	61.3	29.0	37.9	0.0	0.0	0.0	24.7	10.8	42.1	54.0	85.0	384.8
30	1,993	164.5	113.2	119.4	71.0	6.4	0.0	5.1	38.8	0.0	40.1	124.0	164.6	847.1
31	1,994	157.6	81.3	59.7	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	229.3	95.6	155.5	798.0
32	1,995	129.1	89.7	139.5	34.5	6.8	0.0	0.0	0.0	5.9	4.4	105.8	119.2	634.9
33	1,996	120.9	165.8	77.1	48.7	0.8	0.0	0.0	21.4	17.9	64.1	62.2	63.7	642.6
34	1,997	171.3	136.6	115.1	21.2	18.2	0.0	0.0	19.2	4.7	14.2	91.3	129.3	721.1
35	1,998	176.0	106.6	85.7	12.7	2.2	3.9	0.0	1.7	2.2	35.1	35.8	99.3	561.2
36	1,999	182.3	171.1	119.8	60.0	8.1	3.8	2.0	0.0	27.7	64.9	65.1	107.0	811.8
37	2,000	202.8	180.5	85.8	22.2	7.1	11.2	16.0	14.1	15.5	51.5	40.5	124.9	772.1
38	2,001	197.2	68.5	127.9	23.3	13.5	0.0	12.6	23.1	4.0	48.5	81.1	69.3	669.0
39	2,002	114.3	158.8	107.2	87.4	15.0	7.2	32.2	12.9	27.4	102.4	108.0	106.0	878.8
40	2,003	168.2	239.4	198.1	43.3	6.3	2.0	0.4	14.4	16.6	33.0	112.0	145.2	978.9
41	2,004	123.8	134.1	67.7	47.9	17.9	4.0	14.5	12.4	43.9	46.9	75.8	171.7	760.6
42	2,005	77.7	97.9	102.0	28.7	2.7	0.0	11.2	2.1	8.7	31.5	66.9	141.4	570.8
43	2,006	183.0	116.9	103.9	77.0	0.0	6.0	0.0	1.1	3.1	51.4	87.8	120.0	750.2
44	2,007	75.6	109.1	151.6	19.1	7.0	0.0	7.8	1.5	1.0	47.4	84.1	174.5	678.7
45	2,008	107.5	127.3	109.4	18.7	8.4	6.3	0.0	11.1	5.5	48.2	93.3	152.1	687.8
46	2,009	84.2	185.3	86.5	47.1	13.0	0.0	4.6	5.8	13.5	36.5	119.4	95.0	690.9
47	2,010	175.5	91.2	114.6	35.5	7.1	0.0	1.8	4.6	9.9	43.0	58.7	113.0	654.9
48	2,011	145.9	185.7	152.4	52.2	5.4	1.5	6.8	18.6	33.4	37.2	90.4	102.8	832.3
49	2,012	135.9	240.1	209.5	69.2	0.0	5.6	7.0	1.4	16.8	57.0	36.8	233.6	1012.9
50	2,013	113.2	186.9	64.6	22.1	3.7	1.0	2.3	27.0	7.9	51.7	124.2	146.8	747.7
51	2,014	182.0	121.4	134.9	60.4	5.0	0.0	2.1	1.6	21.4	43.1	52.7	169.1	750.6
N° Datos		48	48	47	49	49	48	50	50	48	48	46	45	40
Media		121.4	122.7	109.7	41.4	7.2	2.0	4.1	8.2	13.1	43.7	76.2	112.6	662.3
Desv. Estandar		51.27	44.36	49.09	21.42	7.79	3.11	6.03	11.50	12.66	38.15	37.72	46.85	145.06
Coef. Variacion		42.22	36.16	44.76	51.69	108.21	156.81	146.54	140.23	96.83	87.31	49.52	41.60	21.90
Prec. Max.		206.4	240.1	252.1	93.3	35.9	11.2	32.2	57.9	60.0	229.3	145.7	233.6	252.1
Prec. Min.		24.7	42.4	25.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	30.3	0.0

Fuente: SENAMHI

3.6 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 UBICACIÓN

El río Asmayacu vierte sus aguas al río Apurímac. Políticamente la cuenca de Asmayacu, se encuentra ubicada en el Departamento de Apurímac, Provincia de Abancay y Distrito de Curahuasi

Ilustración 17 Mapa de ubicación de la cuenca



Fuente: PROPIA- ARCGIS

3.6.2 PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACION

Se puede ver en el gráfico siguiente que el mes con mayor precipitación es febrero en el 2011 y enero en el 2014

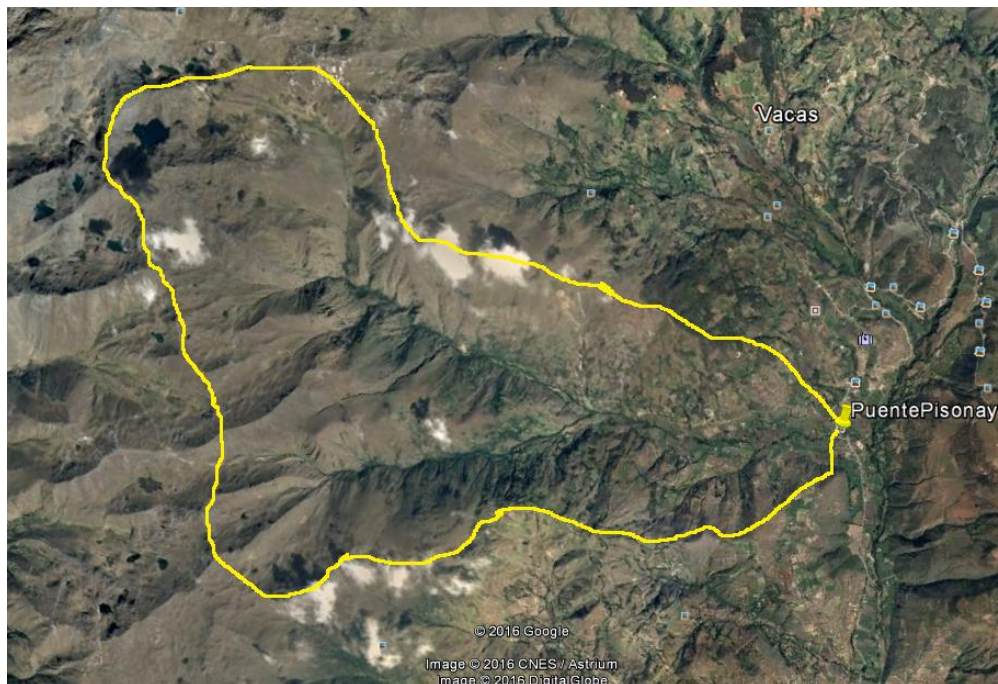
3.6.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA ASMAYACU

Con la carta nacional, arcGIS y hojas de cálculo Excel se determinó los parámetros de la cuenca, los cuales mostramos a continuación.

3.6.3.1 Delimitación de la cuenca

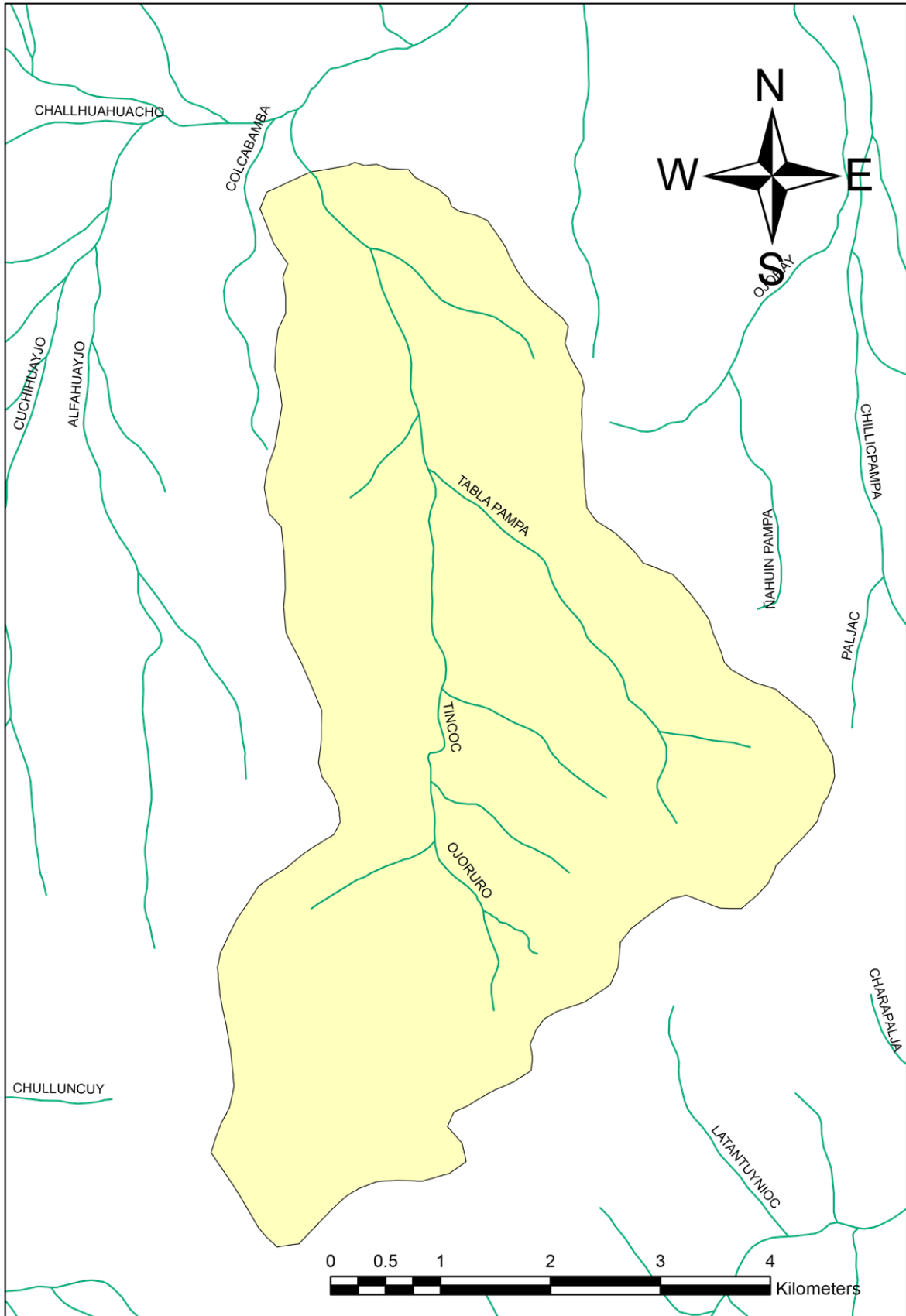
Para la delimitación de la cuenca de la cuenca en estudio de utilizo el software arcGIS, el cual permite calcular parámetros como son el área, perímetro altitudes entre otros.

Ilustración 18 Delimitación de la cuenca



Fuente: PROPIA

Ilustración 19 Delimitación de la cuenca asmayacu

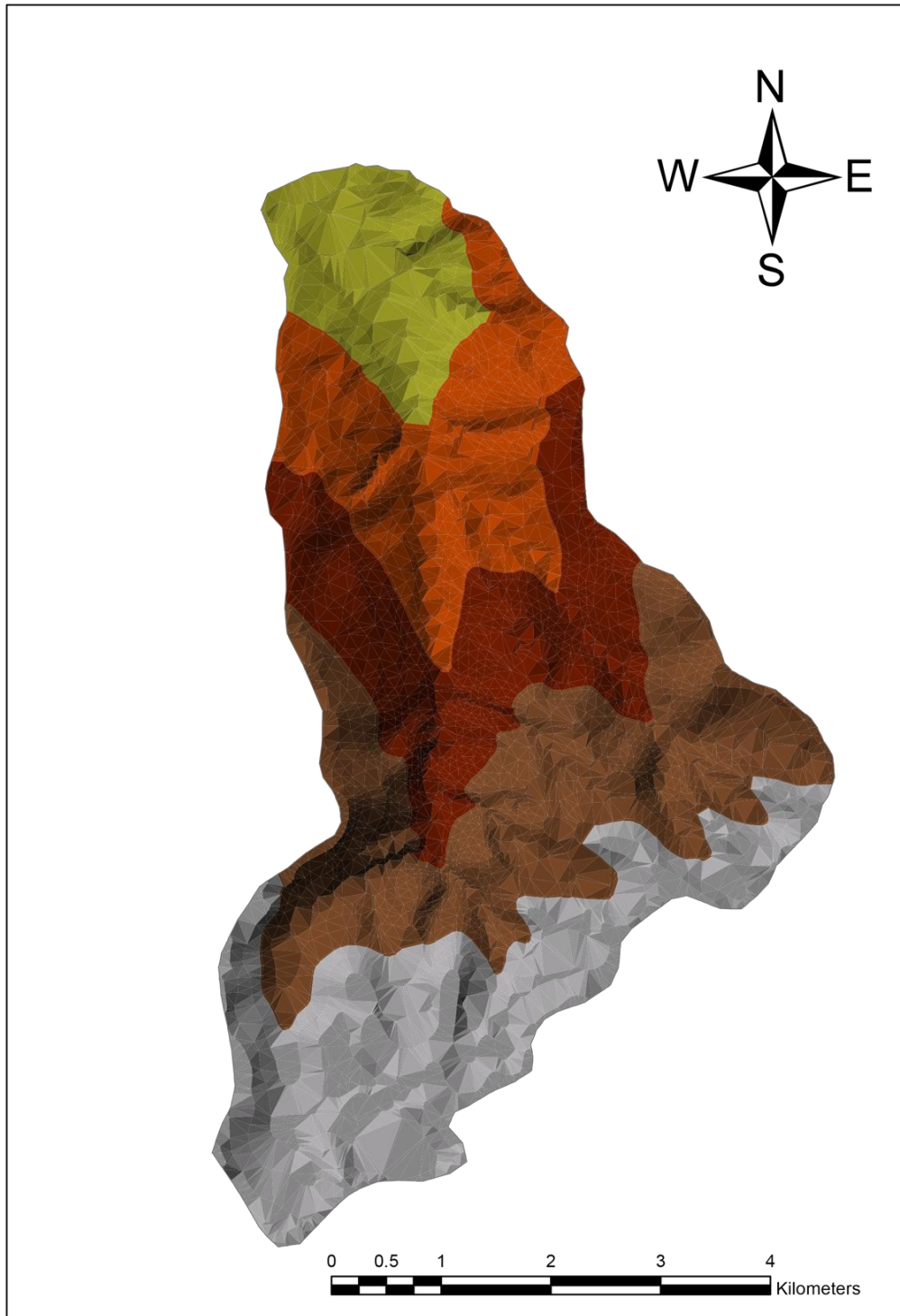


Fuente: PROPIA- ARCGIS

3.6.3.2 Cálculo del área de la cuenca

Para el cálculo de este parámetro se tuvo que trabajar en el software arcGIS el cual calcula varios parámetros tales como el área.

Ilustración 20 Calculo de áreas y perímetro en Autocad



Fuente: propia



El área de la cuenca Asmayacu tiene un valor de:

$$A = 29\ 758\ 144\ m^2 = 29.758144\ km^2$$

3.6.3.3 Cálculo del perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca es:

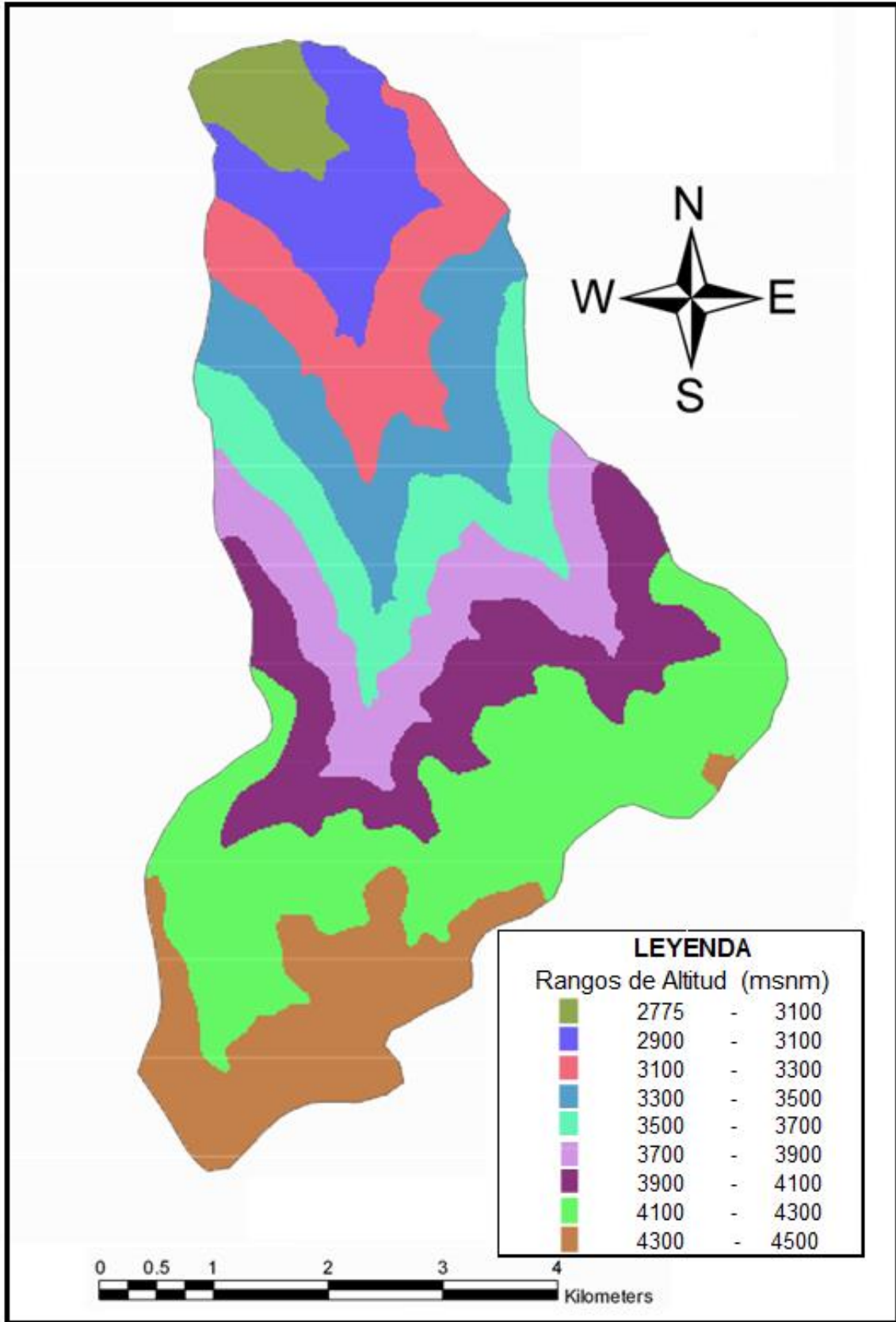
$$P=26.952185\ km$$

Una vez obtenida el área total de la misma manera calculamos las áreas parciales según su altitud para luego obtener la frecuencia de altitudes, con estos datos podemos trazar nuestra curva hipsométrica.

3.6.3.4 Cálculo de la curva hipsométrica

Con los datos obtenidos en el ArcGIS como son áreas secciones según sus altitudes se realizan los cálculos para la obtención de la curva HIPSOMETRICA

Ilustración 21 Áreas según sus altitudes



Fuente propia

Una vez obtenidos las áreas con altitudes diferentes se procede a hallar los porcentajes que estas áreas representan del total de la cuenca, para ser procesados en el cuadro siguiente:

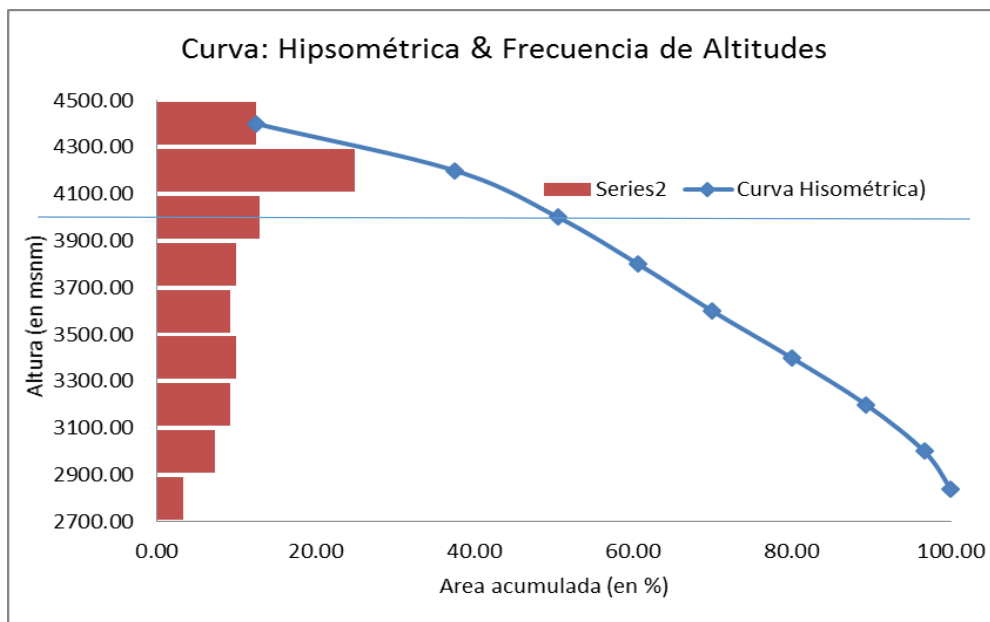
Tabla 18 Cálculos curva hipsométrica

Nro	Cota(msnm)			Area (km ²)					
	Mínimo	Máximo	Promedio	A parcial (km ²)	Acumulado	% Acum	% Inter	Cota media * Area	
1	2700	2900	2800.00	1.00	29.77	100.00	3.37	2807.84	
2	2900	3100	3000.00	2.18	28.76	96.63	7.33	6549.6	
3	3100	3300	3200.00	2.78	26.58	89.30	9.35	8910.08	
4	3300	3500	3400.00	2.97	23.80	79.94	9.99	10114.32	
5	3500	3700	3600.00	2.77	20.82	69.95	9.30	9967.68	
6	3700	3900	3800.00	3.00	18.05	60.65	10.06	11381.76	
7	3900	4100	4000.00	3.87	15.06	50.59	13.00	15481.6	
8	4100	4300	4200.00	7.44	11.19	37.58	24.98	31232.88	
9	4300	4500	4400.00	3.75	3.75	12.60	12.60	16505.28	
				Area Total	29.77			Σ(Cota*Area)	112951.04

Fuente propia

Con los porcentajes de las áreas según su altitud se grafica la curva hipsométrica y la frecuencia de altitudes, de la cuenca en estudio.

Ilustración 22 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes



Fuente propia

El mayor porcentaje de área esta entre las altitudes de 4100 y 4300 msnm.

3.6.3.5 Cálculo de la cota media de la cuenca

Se determinó la cota media de la cuenca en la Tabla siguiente, para lo cual se obtuvo previamente las áreas entre curvas de nivel (áreas parciales, tabla N°15).

$$E = \frac{\sum e.a}{A}$$

E: Elevación media

e: Elevación media entre dos curvas de nivel consecutivas

a: Área entre las curvas de nivel

A: Área total de la cuenca

$$E = \frac{112951.04}{29.77}$$

$$E = 3794.48 \text{ msnm}$$

3.6.3.6 Forma de la cuenca

3.6.3.6.1 Cálculo del Índice o factor de forma (Kf)

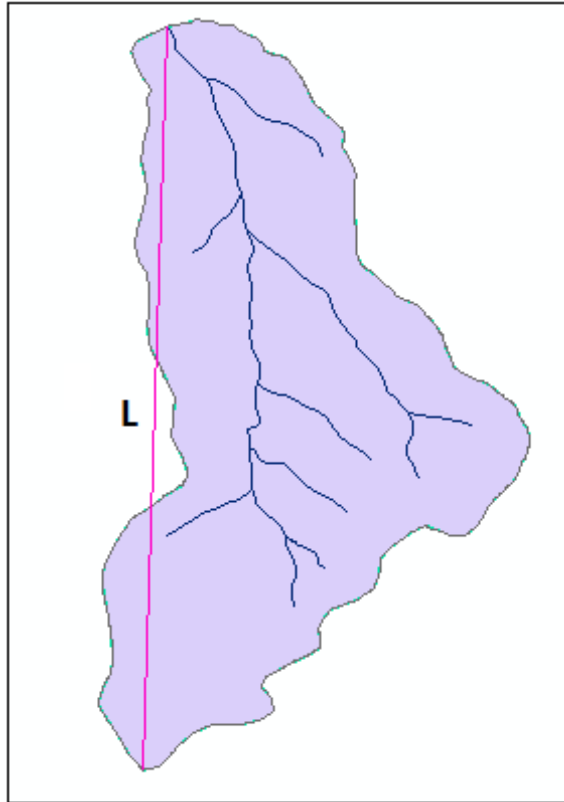
$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Se conoce que:

Área: $A = 29.758 \text{ km}^2$

Longitud al punto más lejano: $L = 9.793 \text{ km}$

Ilustración 23 Cálculo del factor de forma



Fuente: PROPIA

Donde:

$$Kf = \frac{29.758}{9.793^2}$$

$$Kf = 0.310$$

Según Villon esta cuenca tiene menos tendencia a concentrar las intensidades en forma simultánea en toda la cuenca por tener un bajo valor de Kf.

3.6.3.6.2 Cálculo del Índice de compacidad o índice de Gravelius (Kc)

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Se conoce que:

Área: $A = 29.758144 \text{ km}^2$ Perímetro: $P = 26.952185 \text{ km}^2$

Donde:

$$Kc = 0.28 \frac{26.95}{\sqrt{29.758}}$$

$$Kc = 1.527428718$$

El valor indica que la cuenca tiene una forma alargada porque el valor de K_c de esta cuenca es mayor a 1, si fuese igual a 1 entonces tendría una forma circular.

3.6.3.6.3 Cálculo del Rectángulo Equivalente

Con las siguientes ecuaciones se obtienen los valores de L y I respectivamente los cuales representa el largo y ancho del rectángulo equivalente a la cuenca Asmayacu.

Se tienen los valores de:

$$\text{Área:} \quad A = 29.758 \text{ km}^2$$

$$\text{Perímetro:} \quad P = 26.9521 \text{ km}^2$$

De donde:

$$L = \frac{K_c}{1,12} \sqrt{A} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad L = 12.498 \text{ km}$$

$$I = \frac{K_c}{1,12} \sqrt{A} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad I = 2.381 \text{ km}$$

El producto de los lados del rectángulo debe dar por respuesta el área total de la cuenca, de la misma forma la suma de los lados de este debe ser igual al perímetro de la cuenca.

Se procede a calcular los valores de “ li ” para graficar el rectángulo y sus respectivas áreas según su altitud.

Tabla 19 Cálculo de los valores li del rectángulo equivalente

Area (km2)	H (Altitud del)	L (largo del rectangulo)	$Li = \frac{Ai * L}{At}$
3.75	3800	12.50	1.58
7.44	4000	12.50	3.12
3.87	4200	12.50	1.63
3.00	4400	12.50	1.26
2.77	4600	12.50	1.16
2.97	4800	12.50	1.25
2.78	5000	12.50	1.17
2.18	5200	12.50	0.92
1.00	5400	12.50	0.42
29.7639		Total	12.50

Fuente propia

Con los valores de "li" se grafica el Rectángulo Equivalente:

Ilustración 24 Rectángulo equivalente



Fuente propia

Los colores del rectángulo representan las áreas que componen la cuenca diferenciadas por sus altitudes y los valores expresados dentro representan la longitud parcial del lado mayor del rectángulo. Al sumar estos valores obtendremos el lado mayor del rectángulo el cual es 12.498 km.

3.6.3.7 Cálculo de la pendiente de la cuenca

Para el cálculo de la pendiente de la cuenca se utiliza el criterio de Alvord que aplica la fórmula siguiente.

$$S_c = \frac{D L}{A}$$

Donde:

S_c = Pendiente de la cuenca (%) :

D = Desnivel entre curvas de nivel (km)

L = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (km)

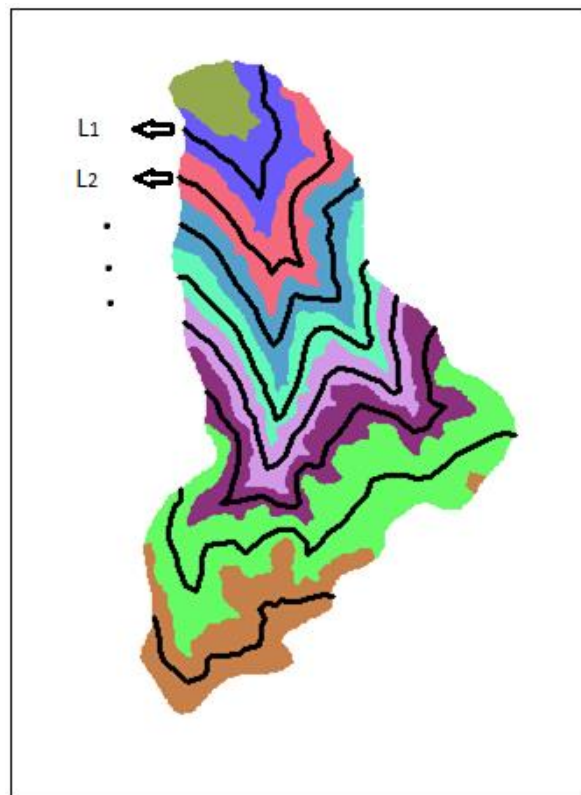
A = Área de la cuenca (km²)

Se conoce que:

$D = 0.2$ km

$A = 29.758144$ km²

Ilustración 25 Longitud de franjas



Fuente: PROPIA

Las longitudes de las franjas de las curvas de nivel dentro de la cuenca se presentan en el siguiente cuadro obtenido con ayuda del software ARCGIS:

Tabla 20 Longitudes de las franjas de las curvas de nivel de la cuenca según su altitud

Altitud	Longitud de Franja
3000	4.291
3200	8.281
3400	8.129
3600	6.991
3800	6.416
4000	5.977
4200	4.952
4400	3.691
Total	48.728

Fuente propia

Se tiene que la sumatoria de todas las franjas es:

$$L = 48.728$$

Se aplica la fórmula:

$$S_c = \frac{0.2 * 48.728}{29.758}$$

$$S_c = 32.749\%$$

3.6.3.8 Pendiente longitudinal del cauce

Para el cálculo de este parámetro se utilizó el método de la pendiente uniforme el cual utiliza la siguiente expresión:

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S: Pendiente del cauce.

H: Diferencia de alturas entre el punto más alto y el punto de drenaje.

L: Longitud del cauce.

Se tiene que:

Hmax: 4226 msnm.

Hmin: 2775.705 msnm.



H=1450.295 msnm.

L= 11.997 km.

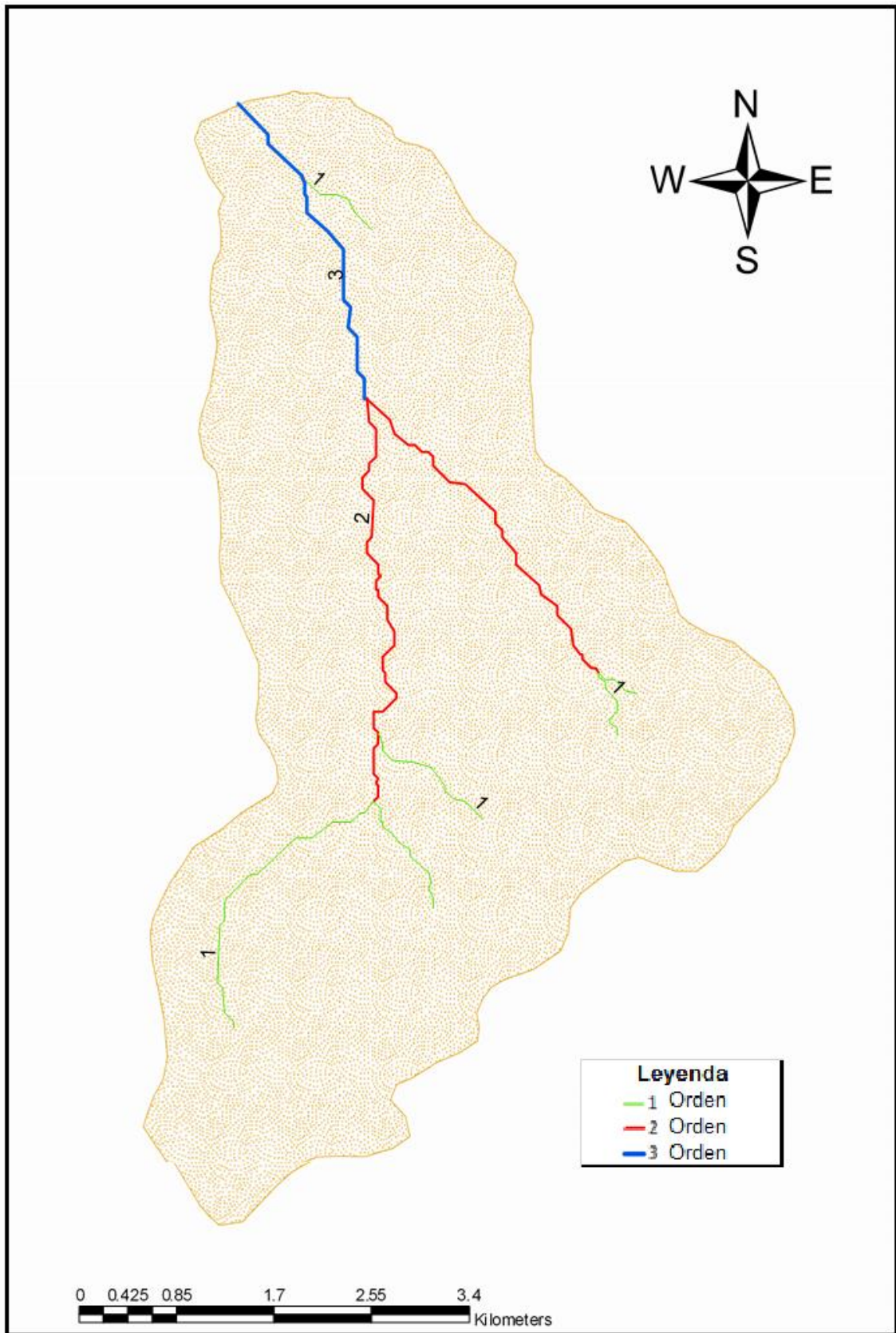
$$S = \frac{1450.295}{11.997} * 100\%$$

$$\mathbf{S=12.089 \%}$$

3.6.3.9 Número de orden

La cuenca Asmayacu, es de número de orden 3, por ser una cuenca pequeña y tiene 2 afluentes principales que son los de Tincoc y el otro es de Tablapampa como se muestra en la figura.

Ilustración 26 Número de orden de la cuenca



Fuente: PROPIA-ARCGIS

3.6.4 PLUVIOMETRÍA

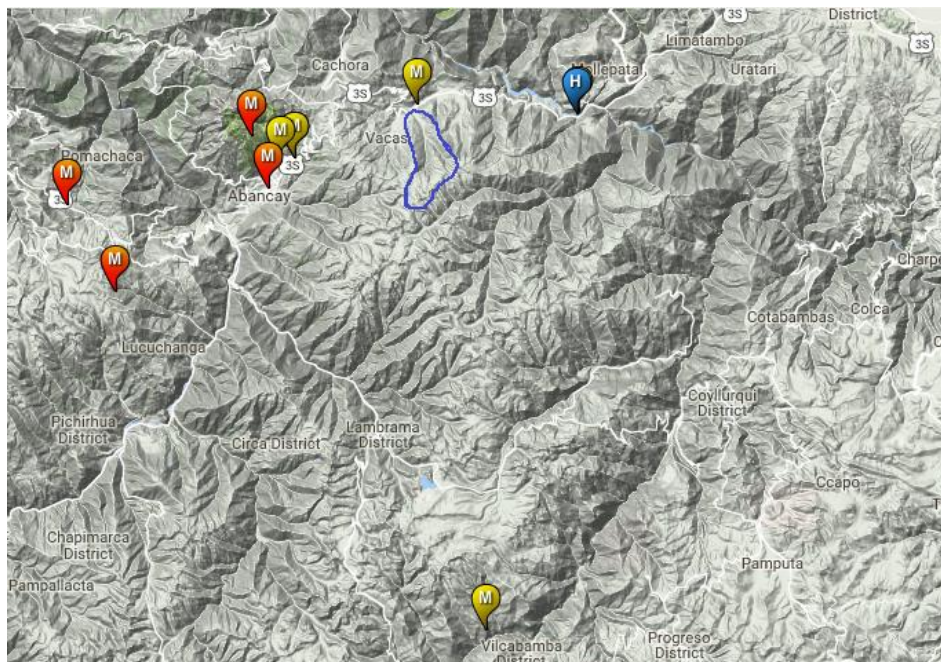
3.6.4.1 Red de estaciones meteorológicas

La información pluviométrica disponible corresponde a estaciones ubicadas dentro de la cuenca y estaciones vecinas más cercanas, que fueron seleccionadas tomando en cuenta la elevación y proximidad geográfica con el área de interés. Habiendo sido seleccionadas, 04 estaciones pluviométricas, de las cuales ninguna de estas se encuentra dentro de la cuenca.

Las estaciones más próximas a la cuenca de estudio son las siguientes:

- Estación de Curahuasi (norte)
- Estación de Cunyac (Este)
- Estación de San Antonio (Oeste)
- Estación de Curpahuasi (Sur)

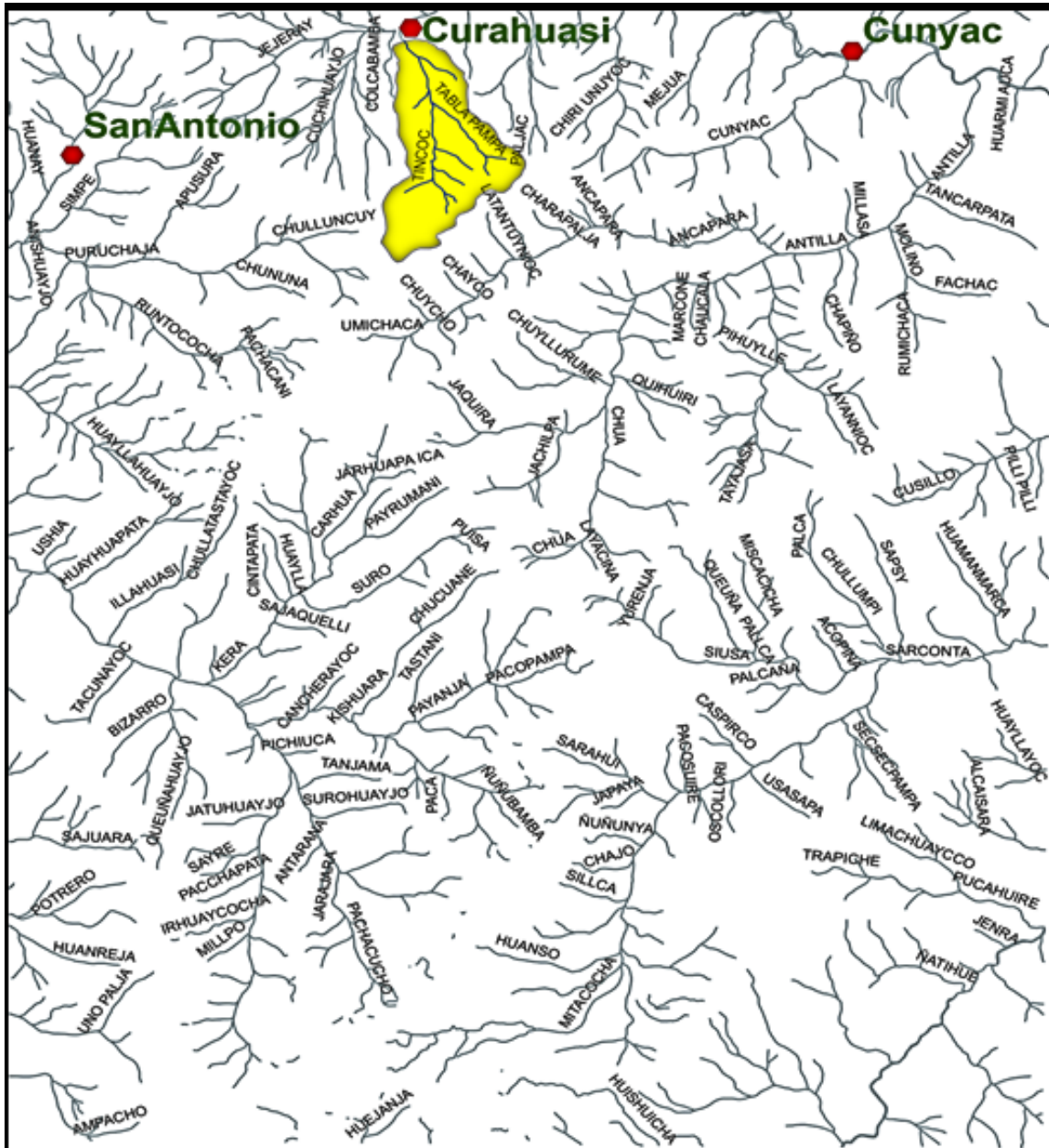
Ilustración 27 Mapa de estaciones



Fuente: SENAMHI

La más cercana de estas cuatro es la estación de Curahuasi que se encuentra a unos metros del punto de interés, el puente Asmayacu.

Ilustración 28 Cuenca Asmayacu y las estaciones meteorológicas más cercanas



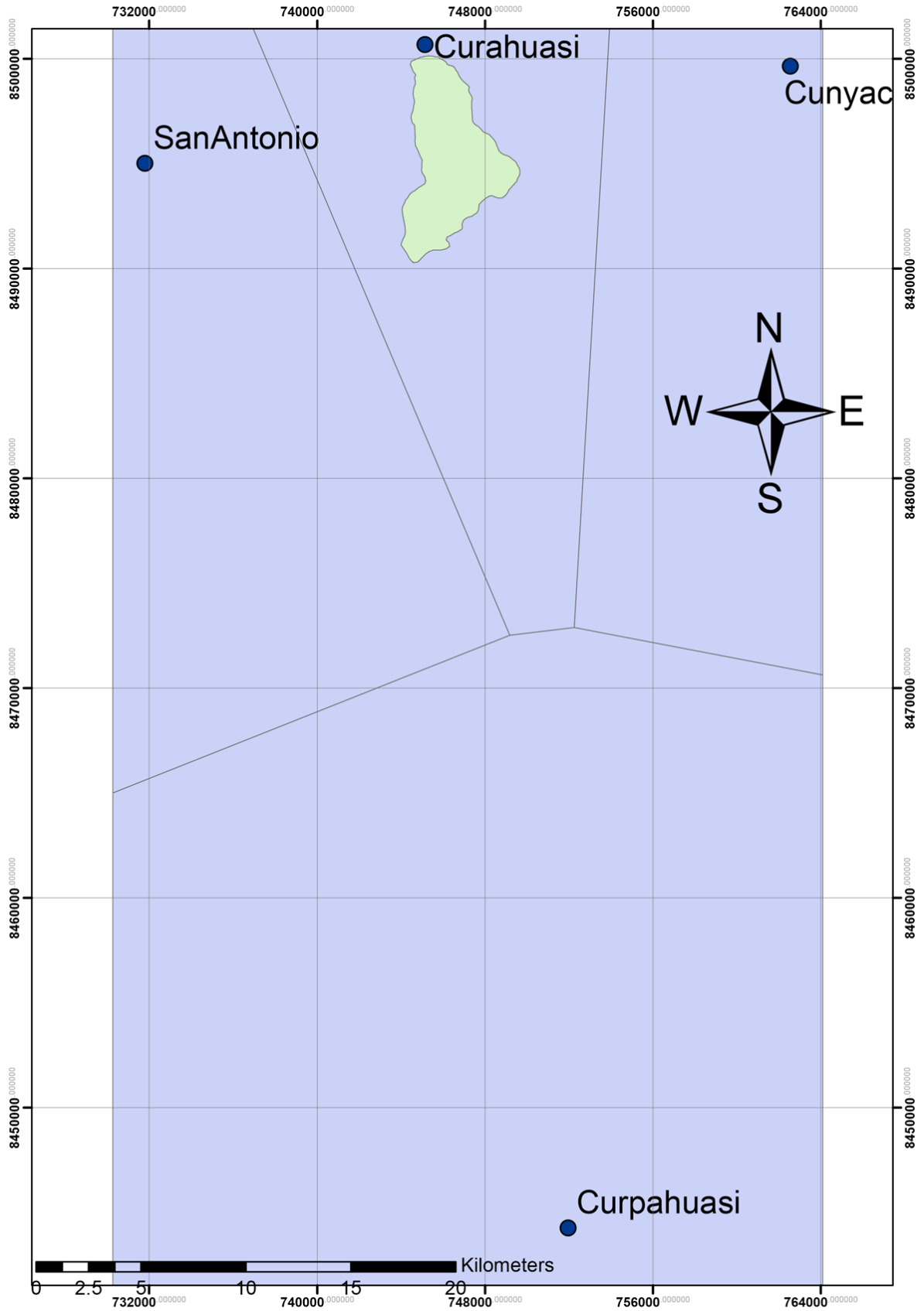
Fuente: PROPIA

3.6.4.2 Influencia de las estaciones meteorológicas

3.6.4.2.1 Polígonos de Thiessen para la influencia de las estaciones sobre la cuenca Asmayacu

Aplicamos el método de los polígonos de Thiessen para verificar la influencia de las 4 estaciones más cercanas a la cuenca de estudio.

Ilustración 29 Polígonos de Thiessen de las 4 estaciones adyacentes a la cuenca



Fuente: PROPIA



Usando el método de los polígonos de Thiessen para determinar la influencia de las estaciones se tiene que **solo la estación de Curahuasi es la que tiene influencia sobre la cuenca de Asmayacu**, debido a esto las estaciones de San Antonio, Cunyac y Curpahuasi son desestimadas.

3.6.5 ANALISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS

Antes de emplear la información de la serie histórica en el modelamiento, se realizó su respectivo análisis de consistencia, con la finalidad de determinar si dicha información era confiable, es decir, homogénea y consistente.

3.6.5.1 Análisis visual gráfico

Se analizó visualmente la información de las series históricas a través de sus respectivos histogramas.

Análisis gráfico Estación Curahuasi

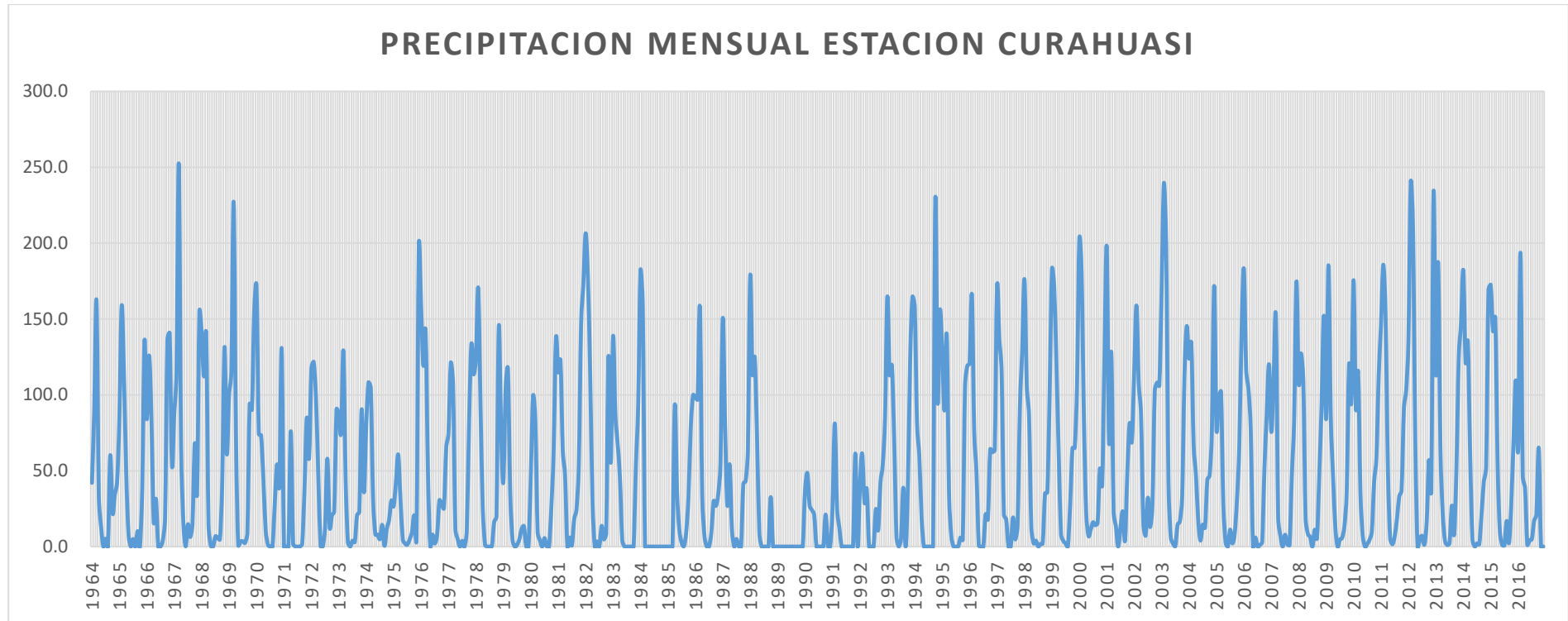
En la tabla Nro. 21 se muestran los datos de precipitación mensual de la estación meteorológica de Curahuasi, con los cuales se plotea la información para realizar el análisis Visual grafico en la ilustración Nro. 32.

Tabla 21 Precipitación total mensual (mm) - Estación Curahuasi

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	42.0	90.0	162.0	33.6	13.0	0.0	5.2	0.0	60.0	22.1	34.3	42.6	504.8
2	1,965	85.2	158.7	113.0	48.0	8.0	0.0	5.0	0.0	10.2	0.0	37.9	135.8	601.8
3	1,966	83.9	125.9	86.0	16.5	31.4	0.0	0.0	4.0	18.8	136.4	140.6	53.5	697.0
4	1,967	87.7	115.5	252.1	66.6	15.6	0.2	14.7	6.3	15.3	68.0	35.5	154.5	832.0
5	1,968	140.2	112.1	139.4	14.5	0.5	0.0	6.7	5.8	4.7	42.1	131.5	61.1	658.6
6	1,969	100.7	115.4	226.9	73.6	0.8	3.3	3.5	2.5	9.0	93.9	90.2	155.4	875.2
7	1,970	171.4	74.2	73.4	44.6	10.8	1.2	0.0	0.0	28.6	54.2	39.6	130.5	628.5
8	1,971				76.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	84.8	58.2	261.0
9	1,972	117.3	121.7	98.5	48.5	0.4	0.0	12.9	57.9	12.6	20.9	23.2	90.5	604.4
10	1,973	87.7	74.9	128.9	43.7	2.8	0.0	3.9	3.0	20.9	23.2	90.5	35.8	515.3
11	1,974	80.3	108.2	104.4	31.6	8.0	7.9	5.0	14.3	0.5	11.8	17.6	30.3	419.9
12	1,975	26.6	42.4	60.6	30.6	4.7	2.0	1.3	4.8	9.5	20.6	4.3	197.0	404.4
13	1,976	159.0	119.2	141.8	49.2	0.5	7.9	2.0	7.3	30.4	27.8	25.2	65.1	635.4
14	1,977	75.0	121.1	107.1	11.6	5.1	0.0	3.8	0.0	10.6	81.6	133.2	113.5	662.6
15	1,978	124.0	170.4	93.2	25.1	1.1		0.0	0.3	16.6	20.0	145.0	77.7	673.4
16	1,979	42.3	104.3	116.8	35.9	4.5	0.0	1.2	4.8	11.7	13.4			334.9
17	1,980	46.5	99.4	83.1	9.6	4.1	0.0	5.6	0.0	0.0	26.1	63.1	137.3	474.8
18	1,981	114.7	122.7	63.7	46.8	0.0	6.0	0.9	18.3	24.5	53.0	145.7	173.1	769.4
19	1,982	206.4	177.2	113.1	30.4	0.0	3.4	0.0	13.6	4.7	8.7	125.1	55.2	737.8
20	1,983	138.5	87.5	67.8	45.8	4.5		0.0	0.0	0.0	0.0	53.7	93.8	491.6
21	1,984	182.1	157.9			0.0	0.0	0.0	0.0					340.0
22	1,985				93.3	35.9	10.9	2.5	0.3	9.5	33.4	78.3	99.8	363.9
23	1,986	98.3	96.9	157.5	34.0	6.8	0.0	0.0	9.2	29.9	26.8	34.4	54.4	548.2
24	1,987	150.4	81.4	27.1	54.1	11.6	0.0	5.0	0.0		41.3	43.1	63.9	477.9
25	1,988	178.6	113.6	124.6	71.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6			530.0
26	1,989													
27	1,990	37.1	48.5	27.1	24.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1			178.7
28	1,991	24.7	81.1	25.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3		204.7
29	1,992	40.0	61.3	29.0	37.9	0.0	0.0	0.0	24.7	10.8	42.1	54.0	85.0	384.8
30	1,993	164.5	113.2	119.4	71.0	6.4	0.0	5.1	38.8	0.0	40.1	124.0	164.6	847.1
31	1,994	157.6	81.3	59.7	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	229.3	95.6	155.5	798.0
32	1,995	129.1	89.7	139.5	34.5	6.8	0.0	0.0	0.0	5.9	4.4	105.8	119.2	634.9
33	1,996	120.9	165.8	77.1	48.7	0.8	0.0	0.0	21.4	17.9	64.1	62.2	63.7	642.6
34	1,997	171.3	136.6	115.1	21.2	18.2	0.0	0.0	19.2	4.7	14.2	91.3	129.3	721.1
35	1,998	176.0	106.6	85.7	12.7	2.2	3.9	0.0	1.7	2.2	35.1	35.8	99.3	561.2
36	1,999	182.3	171.1	119.8	60.0	8.1	3.8	2.0	0.0	27.7	64.9	65.1	107.0	811.8
37	2,000	202.8	180.5	85.8	22.2	7.1	11.2	16.0	14.1	15.5	51.5	40.5	124.9	772.1
38	2,001	197.2	68.5	127.9	23.3	13.5	0.0	12.6	23.1	4.0	48.5	81.1	69.3	669.0
39	2,002	114.3	158.8	107.2	87.4	15.0	7.2	32.2	12.9	27.4	102.4	108.0	106.0	878.8
40	2,003	168.2	239.4	198.1	43.3	6.3	2.0	0.4	14.4	16.6	33.0	112.0	145.2	978.9
41	2,004	123.8	134.1	67.7	47.9	17.9	4.0	14.5	12.4	43.9	46.9	75.8	171.7	760.6
42	2,005	77.7	97.9	102.0	28.7	2.7	0.0	11.2	2.1	8.7	31.5	66.9	141.4	570.8
43	2,006	183.0	116.9	103.9	77.0	0.0	6.0	0.0	1.1	3.1	51.4	87.8	120.0	750.2
44	2,007	75.6	109.1	151.6	19.1	7.0	0.0	7.8	1.5	1.0	47.4	84.1	174.5	678.7
45	2,008	107.5	127.3	109.4	18.7	8.4	6.3	0.0	11.1	5.5	48.2	93.3	152.1	687.8
46	2,009	84.2	185.3	86.5	47.1	13.0	0.0	4.6	5.8	13.5	36.5	119.4	95.0	690.9
47	2,010	175.5	91.2	114.6	35.5	7.1	0.0	1.8	4.6	9.9	43.0	58.7	113.0	654.9
48	2,011	145.9	185.7	152.4	52.2	5.4	1.5	6.8	18.6	33.4	37.2	90.4	102.8	832.3
49	2,012	135.9	240.1	209.5	69.2	0.0	5.6	7.0	1.4	16.8	57.0	36.8	233.6	1012.9
50	2,013	113.2	186.9	64.6	22.1	3.7	1.0	2.3	27.0	7.9	51.7	124.2	146.8	751.4
51	2,014	182.0	121.4	134.9	60.4	5.0	0.0	2.1	1.6	21.4	43.1	52.7	169.1	793.7
52	2,015	172.50	141.80	150.70	55.90	10.00	1.10	0.90	16.90	2.30	28.80	70.60	109.50	761.0
53	2,016	64.00	193.60	46.80	39.20	1.30	4.20	4.90	17.2	21.3	65.0			457.5

FUENTE: SENAMHI

Ilustración 30 Histograma Estación Curahuasi



Fuente: PROPIA

La ilustración Nro. 32 muestra picos en los años 1967, 1969, 1995, 2003, 2012 y 2013, también muestra valores bajos en el periodo 1974-1975 y 1989-1992. Estos valores deben comprobarse mediante un análisis estadístico, si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido, o si son producto de errores sistemáticos.



3.6.5.2 Análisis estadístico de saltos y tendencias

Se realizó el análisis estadístico de la estación de Curahuasi con la finalidad de determinar la presencia de saltos y/o tendencias en sus series históricas, para verificar así la confiabilidad de la información.

Para realizar dicho análisis, dividimos los datos de precipitación, en dos series, los cuales describimos a continuación:

Serie 1: La serie 1 está compuesta por todos los datos de precipitación mensual, que van desde enero de 1964 hasta octubre de 1988. **Esta serie cuenta con 281 datos.**

Serie 2: La serie 2 está compuesta por todos los datos de precipitación mensual, que van desde enero de 1990 hasta octubre de 2016. **Esta serie cuenta con 319 datos.**

Ambas series las presentamos en la tabla Nro. 22

Tabla 22 Precipitación mensual (mm) – Estación Curahuasi: Serie 1 y 2

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	42.0	90.0	162.0	33.6	13.0	0.0	5.2	0.0	60.0	22.1	34.3	42.6	504.8
2	1,965	85.2	158.7	113.0	48.0	8.0	0.0	5.0	0.0	10.2	0.0	37.9	135.8	601.8
3	1,966	83.9	125.9	86.0	16.5	31.4	0.0	0.0	4.0	18.8	136.4	140.6	53.5	697.0
4	1,967	87.7	115.5	252.1	66.6	15.6	0.2	14.7	6.3	15.3	68.0	35.5	154.5	832.0
5	1,968	140.2	112.1	139.4	14.5	0.5	0.0	6.7	5.8	4.7	42.1	131.5	61.1	658.6
6	1,969	100.7	115.4	226.9	73.6	0.8	3.3	3.5	2.5	9.0	93.9	90.2	155.4	875.2
7	1,970	171.4	74.2	73.4	44.6	10.8	1.2	0.0	0.0	28.6	54.2	39.6	130.5	628.5
8	1,971				76.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	84.8	58.2	261.0
9	1,972	117.3	121.7	98.5	48.5	0.4	0.0	12.9	57.9	12.6	20.9	23.2	90.5	604.4
10	1,973	87.7	74.9	128.9	43.7	2.8	0.0	3.9	3.0	20.9	23.2	90.5	35.8	515.3
11	1,974	80.3	108.2	104.4	31.6	8.0	7.9	5.0	14.3	0.5	11.8	17.6	30.3	419.9
12	1,975	26.6	42.4	60.6	30.6	4.7	2.0	1.3	4.8	9.5	20.6	4.3	197.0	404.4
13	1,976	159.0	119.2	141.8	49.2	0.5	7.9	2.0	7.3	30.4	27.8	25.2	65.1	635.4
14	1,977	75.0	121.1	107.1	11.6	5.1	0.0	3.8	0.0	10.6	81.6	133.2	113.5	662.6
15	1,978	124.0	170.4	93.2	25.1	1.1		0.0	0.3	16.6	20.0	145.0	77.7	673.4
16	1,979	42.3	104.3	116.8	35.9	4.5	0.0	1.2	4.8	11.7	13.4			334.9
17	1,980	46.5	99.4	83.1	9.6	4.1	0.0	5.6	0.0	0.0	26.1	63.1	137.3	474.8
18	1,981	114.7	122.7	63.7	46.8	0.0	6.0	0.9	18.3	24.5	53.0	145.7	173.1	769.4
19	1,982	206.4	177.2	113.1	30.4	0.0	3.4	0.0	13.6	4.7	8.7	125.1	55.2	737.8
20	1,983	138.5	87.5	67.8	45.8	4.5		0.0	0.0	0.0	0.0	53.7	93.8	491.6
21	1,984	182.1	157.9			0.0	0.0	0.0	0.0					340.0
22	1,985				93.3	35.9	10.9	2.5	0.3	9.5	33.4	78.3	99.8	363.9
23	1,986	98.3	96.9	157.5	34.0	6.8	0.0	0.0	9.2	29.9	26.8	34.4	54.4	548.2
24	1,987	150.4	81.4	27.1	54.1	11.6	0.0	5.0	0.0		41.3	43.1	63.9	477.9
25	1,988	178.6	113.6	124.6	71.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6			530.0
26	1,989													
27	1,990	37.1	48.5	27.1	24.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1			178.7
28	1,991	24.7	81.1	25.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3		204.7
29	1,992	40.0	61.3	29.0	37.9	0.0	0.0	0.0	24.7	10.8	42.1	54.0	85.0	384.8
30	1,993	164.5	113.2	119.4	71.0	6.4	0.0	5.1	38.8	0.0	40.1	124.0	164.6	847.1
31	1,994	157.6	81.3	59.7	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	229.3	95.6	155.5	798.0
32	1,995	129.1	89.7	139.5	34.5	6.8	0.0	0.0	0.0	5.9	4.4	105.8	119.2	634.9
33	1,996	120.9	165.8	77.1	48.7	0.8	0.0	0.0	21.4	17.9	64.1	62.2	63.7	642.6
34	1,997	171.3	136.6	115.1	21.2	18.2	0.0	0.0	19.2	4.7	14.2	91.3	129.3	721.1
35	1,998	176.0	106.6	85.7	12.7	2.2	3.9	0.0	1.7	2.2	35.1	35.8	99.3	561.2
36	1,999	182.3	171.1	119.8	60.0	8.1	3.8	2.0	0.0	27.7	64.9	65.1	107.0	811.8
37	2,000	202.8	180.5	85.8	22.2	7.1	11.2	16.0	14.1	15.5	51.5	40.5	124.9	772.1
38	2,001	197.2	68.5	127.9	23.3	13.5	0.0	12.6	23.1	4.0	48.5	81.1	69.3	669.0
39	2,002	114.3	158.8	107.2	87.4	15.0	7.2	32.2	12.9	27.4	102.4	108.0	106.0	878.8
40	2,003	168.2	239.4	198.1	43.3	6.3	2.0	0.4	14.4	16.6	33.0	112.0	145.2	978.9
41	2,004	123.8	134.1	67.7	47.9	17.9	4.0	14.5	12.4	43.9	46.9	75.8	171.7	760.6
42	2,005	77.7	97.9	102.0	28.7	2.7	0.0	11.2	2.1	8.7	31.5	66.9	141.4	570.8
43	2,006	183.0	116.9	103.9	77.0	0.0	6.0	0.0	1.1	3.1	51.4	87.8	120.0	750.2
44	2,007	75.6	109.1	151.6	19.1	7.0	0.0	7.8	1.5	1.0	47.4	84.1	174.5	678.7
45	2,008	107.5	127.3	109.4	18.7	8.4	6.3	0.0	11.1	5.5	48.2	93.3	152.1	687.8
46	2,009	84.2	185.3	86.5	47.1	13.0	0.0	4.6	5.8	13.5	36.5	119.4	95.0	690.9
47	2,010	175.5	91.2	114.6	35.5	7.1	0.0	1.8	4.6	9.9	43.0	58.7	113.0	654.9
48	2,011	145.9	185.7	152.4	52.2	5.4	1.5	6.8	18.6	33.4	37.2	90.4	102.8	832.3
49	2,012	135.9	240.1	209.5	69.2	0.0	5.6	7.0	1.4	16.8	57.0	36.8	233.6	1012.9
50	2,013	113.2	186.9	64.6	22.1	3.7	1.0	2.3	27.0	7.9	51.7	124.2	146.8	751.4
51	2,014	182.0	121.4	134.9	60.4	5.0	0.0	2.1	1.6	21.4	43.1	52.7	169.1	793.7
52	2,015	172.50	141.80	150.70	55.90	10.00	1.10	0.90	16.90	2.30	28.80	70.60	109.50	761.0
53	2,016	64.00	193.60	46.80	39.20	1.30	4.20	4.90	17.2	21.3	65.0			457.5

Fuente: SENAMHI

3.6.5.2.1 Análisis de saltos

a) Consistencia en la media

Cálculo de la media y de la desviación estándar para las series 1 y 2

$$n_1 = 281$$

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad X_{\text{prom}} = \frac{1}{282} (14042.8) \quad \bar{x} = 49.97$$

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad S_1 = \left[\left(\frac{1}{281 - 1} \right) * 833564.2 \right]^{1/2} \quad S_1 = 54.56$$

$$n_2 = 319$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad (X_{\text{prom}}) = \frac{1}{319} (18486.4) \quad \bar{x} = 57.95$$

$$S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad S_2 = \left[\frac{1}{319 - 1} * 1163293.6 \right]^{1/2} \quad S_2 = 60.48$$

Calculamos t calculado (tc)

Para ello se calcula la desviación de las diferencias de los promedios

$$Sp = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad Sp = \left[\frac{(281 - 1)54.56^2 + (319 - 1)60.48^2}{281 + 319 - 2} \right]^{1/2} \quad Sp = 57.786$$

Luego procedemos con el cálculo de la desviación estándar ponderada

$$Sd = Sp \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \quad Sd = 57.786 \left[\frac{1}{281} + \frac{1}{319} \right]^{1/2} \quad Sd = 4.73$$

Reemplazando los valores obtenemos el valor de **tc**:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{d}}} \qquad t_c = \frac{49.97 - 57.95}{S_{\bar{d}}} \qquad t_c = -1.688$$

Cálculo del t tabular (**t_t**)

El valor crítico de t se obtiene de la tabla t de Student con una probabilidad al 95 % o con un nivel de significación del 5%, es decir con $\alpha/2=0.025$ y con grados de libertad $v=n_1+n_2-2$

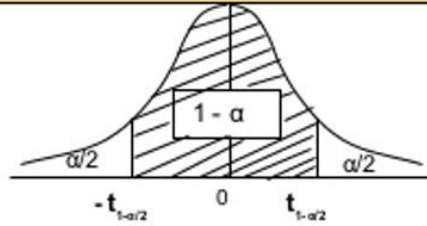
Entonces:

$$V=281+319-2 \qquad V=598$$
$$\alpha=0.050$$

Teniendo en cuenta estos datos procedemos a hallar el valor de t tabular en la tabla Nro. 23 de t de Student.

Tabla 23 Tabla de distribución “t – Student”

TABLA IV: Tabla de la Distribución T Student con v Grados de Libertad - Valor Crítico $t_{1-\alpha/2}$



α	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
$1-\alpha$	0,90	0,95	0,98	0,99	0,995	0,998	0,999
v	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$	$t_{0,9975}$	$t_{0,999}$	$t_{0,9995}$
1	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768
24	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
28	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
70	1,667	1,994	2,381	2,648	2,899	3,211	3,435
80	1,664	1,990	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
90	1,662	1,987	2,368	2,632	2,878	3,183	3,402
100	1,660	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,390
200	1,653	1,972	2,345	2,601	2,838	3,131	3,340
500	1,648	1,965	2,334	2,586	2,820	3,107	3,310
∞	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

Fuente: (Monroy Vergara, 2012)

Interpolando se tiene que:

$t_t = 1.9626$

**Comparando tc con tt**

$$|tc| < tt$$

1.6881 1.9626 Entonces $S_1(x) = S_2(x)$ estadísticamente

Por lo tanto, **no es necesario corregir los datos**

b) Consistencia de la desviación estándar**Cálculo de las varianzas de ambos períodos**

$$s_1^2 = \left(\frac{1}{n_1 - 1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \qquad s_1^2 = \left(\frac{1}{281 - 1}\right) * 833564.2 \qquad s_1^2 = 2977.015$$

$$s_2^2 = \left(\frac{1}{n_2 - 1}\right) \sum_{i=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \qquad s_2^2 = \left(\frac{1}{319 - 1}\right) * 1163293.6 \qquad s_2^2 = 3558.150$$

Cálculo del “F” calculado (Fc)

- Se consideró un nivel de significación $\alpha = 0.05$ (5%)
- Se determinó el valor del **Fc** mediante el uso de la siguiente condición:

$$F_C = \frac{s_1^2(x)}{s_2^2(x)} \quad ; \text{ si } s_1^2(x) > s_2^2(x)$$

$$F_C = \frac{s_2^2(x)}{s_1^2(x)} \quad ; \text{ si } s_2^2(x) > s_1^2(x)$$

Se verifica que $s_2^2(x) > s_1^2(x)$ por lo tanto

$$F_C = \frac{3558.15}{2977.015} \qquad F_C = 1.195$$

Se calculó el valor de “ F_t ” en la tabla F-Fisher considerando que:

- El nivel de significación debe ser $\alpha=0.05$
- Debe cumplir la siguiente condición respecto a los grados de libertad:

$$\left. \begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_1 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_2 - 1 \end{array} \right\} \text{ sí} \quad s_1^2(x) > s_2^2(x)$$
$$\left. \begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_2 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_1 - 1 \end{array} \right\} \text{ sí} \quad s_2^2(x) > s_1^2(x)$$

Con la condición anterior se tiene que:

Los grados de libertad del numerador:

$$\text{G.L.N} = 319 - 1 = 318$$

Los grados de libertad del denominador:

$$\text{G.L.D} = 281 - 1 = 280$$

Con estos resultados, hallamos el valor de F_t en la tabla Nro. 24 donde se muestran los valores de distribución de F de Fisher.

Tabla 24 Valores para la distribución F de Fischer (a = 0.05)

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

1 - a = 0.95

1 - a = P (F ≤ f_{a,n1,n2})

n ₂ \ n ₁	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	250.096	251.144	251.774	252.196	252.498	252.723	252.898	253.043	253.676	254.062	254.186
2	19.463	19.471	19.476	19.479	19.481	19.483	19.485	19.486	19.491	19.494	19.495
3	8.617	8.594	8.581	8.572	8.566	8.561	8.557	8.554	8.540	8.532	8.529
4	5.746	5.717	5.699	5.688	5.679	5.673	5.668	5.664	5.646	5.635	5.632
5	4.496	4.464	4.444	4.431	4.422	4.415	4.409	4.405	4.385	4.373	4.369
6	3.808	3.774	3.754	3.740	3.730	3.722	3.716	3.712	3.690	3.678	3.673
7	3.376	3.340	3.319	3.304	3.294	3.286	3.280	3.275	3.252	3.239	3.234
8	3.079	3.043	3.020	3.005	2.994	2.986	2.980	2.975	2.951	2.937	2.932
9	2.864	2.826	2.803	2.787	2.776	2.768	2.761	2.756	2.731	2.717	2.712
10	2.700	2.661	2.637	2.621	2.609	2.601	2.594	2.588	2.563	2.548	2.543
11	2.570	2.531	2.507	2.490	2.478	2.469	2.462	2.457	2.431	2.415	2.410
12	2.466	2.426	2.401	2.384	2.372	2.363	2.356	2.350	2.323	2.307	2.302
13	2.380	2.339	2.314	2.297	2.284	2.275	2.267	2.261	2.234	2.218	2.212
14	2.308	2.266	2.241	2.223	2.210	2.201	2.193	2.187	2.159	2.142	2.136
15	2.247	2.204	2.178	2.160	2.147	2.137	2.130	2.123	2.095	2.078	2.072
16	2.194	2.151	2.124	2.106	2.093	2.083	2.075	2.068	2.039	2.022	2.016
17	2.148	2.104	2.077	2.058	2.045	2.035	2.027	2.020	1.991	1.973	1.967
18	2.107	2.063	2.035	2.017	2.003	1.993	1.985	1.978	1.948	1.929	1.923
19	2.071	2.026	1.999	1.980	1.966	1.955	1.947	1.940	1.910	1.891	1.884
20	2.039	1.994	1.966	1.946	1.932	1.922	1.913	1.907	1.875	1.856	1.850
21	2.010	1.965	1.936	1.916	1.902	1.891	1.883	1.876	1.845	1.825	1.818
22	1.984	1.938	1.909	1.889	1.875	1.864	1.856	1.849	1.817	1.797	1.790
23	1.961	1.914	1.885	1.865	1.850	1.839	1.830	1.823	1.791	1.771	1.764
24	1.939	1.892	1.863	1.842	1.828	1.816	1.808	1.800	1.768	1.747	1.740
25	1.919	1.872	1.842	1.822	1.807	1.796	1.787	1.779	1.746	1.725	1.718
26	1.901	1.853	1.823	1.803	1.788	1.776	1.767	1.760	1.726	1.705	1.698
27	1.884	1.836	1.806	1.785	1.770	1.758	1.749	1.742	1.708	1.686	1.679
28	1.869	1.820	1.790	1.769	1.754	1.742	1.733	1.725	1.691	1.669	1.662
29	1.854	1.806	1.775	1.754	1.738	1.726	1.717	1.710	1.675	1.653	1.645
30	1.841	1.792	1.761	1.740	1.724	1.712	1.703	1.695	1.660	1.637	1.630
40	1.744	1.693	1.660	1.637	1.621	1.608	1.597	1.589	1.551	1.526	1.517
50	1.687	1.634	1.599	1.576	1.558	1.544	1.534	1.525	1.484	1.457	1.448
60	1.649	1.594	1.559	1.534	1.516	1.502	1.491	1.481	1.438	1.409	1.399
70	1.622	1.566	1.530	1.505	1.486	1.471	1.459	1.450	1.404	1.374	1.364
80	1.602	1.545	1.508	1.482	1.463	1.448	1.436	1.426	1.379	1.347	1.336
90	1.586	1.528	1.491	1.465	1.445	1.429	1.417	1.407	1.358	1.326	1.314
100	1.573	1.515	1.477	1.450	1.430	1.415	1.402	1.392	1.342	1.308	1.296
200	1.516	1.455	1.415	1.386	1.364	1.346	1.332	1.321	1.263	1.221	1.205
500	1.482	1.419	1.376	1.345	1.322	1.303	1.288	1.275	1.210	1.159	1.138
1000	1.471	1.406	1.363	1.332	1.308	1.289	1.273	1.260	1.190	1.134	1.110

Fuente: (Monroy Vergara, 2012)

Interpolando se tiene que:

$$F_t = 1.2112$$

Comparando los valores:

$$F_C < F_t \quad \text{Entonces } S_1(x) = S_2(x) \text{ estadísticamente}$$

Por lo tanto, **no es necesario corregir los datos**

3.6.5.2.2 Análisis de tendencias

a) Tendencia en la Media

Forma general de la ecuación polinomial

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

Ecuación de regresión lineal simple: $T_m = A_m + B_m t$

donde:

t: tiempo en años, tomando la variable independiente de la tendencia

t: 1, 2, 3, ...n

T_m: Tendencia en la media, para este caso

T_m: Datos a usarse para el cálculo de parámetros

A_m, B_m, C_m, D_m: coeficientes de los polinomios de regresión que deben ser estimados con los datos

Cálculo de los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple

El número total de datos está dado por:

$$n = n_1 + n_2$$

entonces

$$n = 281 + 319 = 600$$

$$t = n = 600$$

Calculamos la media y la desviación estándar de los 600 datos de precipitación

$$\bar{T}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{m_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_{(x)_i} \quad \bar{T}_m = 54.215$$

$$S_{T_m} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (T_{m_i} - \bar{T}_m)^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad S_T = 57.738$$

Con las tablas Nro. 25 y 26 calculamos la media y desviación estándar de **t**.

Tabla 25 Valores registrables entre la precipitación mensual (mm) Vs. el tiempo (1er bloque)

t	T	t*T	t	T	t*T	t	T	t*T	t	T	t*T	t	T	t*T
1	42.0	42	61	100.7	6142.7	121	31.6	3823.6	181	4.5	814.5	241	35.9	8651.9
2	90.0	180	62	115.4	7154.8	122	8.0	976	182	0.0	0	242	10.9	2637.8
3	162.0	486	63	226.9	14294.7	123	7.9	971.7	183	1.2	219.6	243	2.5	607.5
4	33.6	134.4	64	73.6	4710.4	124	5.0	620	184	4.8	883.2	244	0.3	73.2
5	13.0	65	65	0.8	52	125	14.3	1787.5	185	11.7	2164.5	245	9.5	2327.5
6	0.0	0	66	3.3	217.8	126	0.5	63	186	13.4	2492.4	246	33.4	8216.4
7	5.2	36.4	67	3.5	234.5	127	11.8	1498.6	187	46.5	8695.5	247	78.3	19340.1
8	0.0	0	68	2.5	170	128	17.6	2252.8	188	99.4	18687.2	248	99.8	24750.4
9	60.0	540	69	9.0	621	129	30.3	3908.7	189	83.1	15705.9	249	98.3	24476.7
10	22.1	221	70	93.9	6573	130	26.6	3458	190	9.6	1824	250	96.9	24225
11	34.3	377.3	71	90.2	6404.2	131	42.4	5554.4	191	4.1	783.1	251	157.5	39532.5
12	42.6	511.2	72	155.4	11188.8	132	60.6	7999.2	192	0.0	0	252	34.0	8568
13	85.2	1107.6	73	171.4	12512.2	133	30.6	4069.8	193	5.6	1080.8	253	6.8	1720.4
14	158.7	2221.8	74	74.2	5490.8	134	4.7	629.8	194	0.0	0	254	0.0	0
15	113.0	1695	75	73.4	5505	135	2.0	270	195	0.0	0	255	0.0	0
16	48.0	768	76	44.6	3389.6	136	1.3	176.8	196	26.1	5115.6	256	9.2	2355.2
17	8.0	136	77	10.8	831.6	137	4.8	657.6	197	63.1	12430.7	257	29.9	7684.3
18	0.0	0	78	1.2	93.6	138	9.5	1311	198	137.3	27185.4	258	26.8	6914.4
19	5.0	95	79	0.0	0	139	20.6	2863.4	199	114.7	22825.3	259	34.4	8909.6
20	0.0	0	80	0.0	0	140	4.3	602	200	122.7	24540	260	54.4	14144
21	10.2	214.2	81	28.6	2316.6	141	197.0	27777	201	63.7	12803.7	261	150.4	39254.4
22	0.0	0	82	54.2	4444.4	142	159.0	22578	202	46.8	9453.6	262	81.4	21326.8
23	37.9	871.7	83	39.6	3286.8	143	119.2	17045.6	203	0.0	0	263	27.1	7127.3
24	135.8	3259.2	84	130.5	10962	144	141.8	20419.2	204	6.0	1224	264	54.1	14282.4
25	83.9	2097.5	85	76.0	6460	145	49.2	7134	205	0.9	184.5	265	11.6	3074
26	125.9	3273.4	86	2.0	172	146	0.5	73	206	18.3	3769.8	266	0.0	0
27	86.0	2322	87	0.0	0	147	7.9	1161.3	207	24.5	5071.5	267	5.0	1335
28	16.5	462	88	0.0	0	148	2.0	296	208	53.0	11024	268	0.0	0
29	31.4	910.6	89	0.0	0	149	7.3	1087.7	209	145.7	30451.3	269	41.3	11109.7
30	0.0	0	90	2.0	180	150	30.4	4560	210	173.1	36351	270	43.1	11637
31	0.0	0	91	38.0	3458	151	27.8	4197.8	211	206.4	43550.4	271	63.9	17316.9
32	4.0	128	92	84.8	7801.6	152	25.2	3830.4	212	177.2	37566.4	272	178.6	48579.2
33	18.8	620.4	93	58.2	5412.6	153	65.1	9960.3	213	113.1	24090.3	273	113.6	31012.8
34	136.4	4637.6	94	117.3	11026.2	154	75.0	11550	214	30.4	6505.6	274	124.6	34140.4
35	140.6	4921	95	121.7	11561.5	155	121.1	18770.5	215	0.0	0	275	71.6	19690
36	53.5	1926	96	98.5	9456	156	107.1	16707.6	216	3.4	734.4	276	9.0	2484
37	87.7	3244.9	97	48.5	4704.5	157	11.6	1821.2	217	0.0	0	277	0.0	0
38	115.5	4389	98	0.4	39.2	158	5.1	805.8	218	13.6	2964.8	278	0.0	0
39	252.1	9831.9	99	0.0	0	159	0.0	0	219	4.7	1029.3	279	0.0	0
40	66.6	2664	100	12.9	1290	160	3.8	608	220	8.7	1914	280	0.0	0
41	15.6	639.6	101	57.9	5847.9	161	0.0	0	221	125.1	27647.1	281	32.6	9160.6
42	0.2	8.4	102	12.6	1285.2	162	10.6	1717.2	222	55.2	12254.4	282	37.1	10462.2
43	14.7	632.1	103	20.9	2152.7	163	81.6	13300.8	223	138.5	30885.5	283	48.5	13725.5
44	6.3	277.2	104	23.2	2412.8	164	133.2	21844.8	224	87.5	19600	284	27.1	7696.4
45	15.3	688.5	105	90.5	9502.5	165	113.5	18727.5	225	67.8	15255	285	24.1	6868.5
46	68.0	3128	106	87.7	9296.2	166	124.0	20584	226	45.8	10350.8	286	20.8	5948.8
47	35.5	1668.5	107	74.9	8014.3	167	170.4	28456.8	227	4.5	1021.5	287	0.0	0
48	154.5	7416	108	128.9	13921.2	168	93.2	15657.6	228	0.0	0	288	0.0	0
49	140.2	6869.8	109	43.7	4763.3	169	25.1	4241.9	229	0.0	0	289	0.0	0
50	112.1	5605	110	2.8	308	170	1.1	187	230	0.0	0	290	0.0	0
51	139.4	7109.4	111	0.0	0	171	0.0	0	231	0.0	0	291	21.1	6140.1
52	14.5	754	112	3.9	436.8	172	0.3	51.6	232	53.7	12458.4	292	24.7	7212.4
53	0.5	26.5	113	3.0	339	173	16.6	2871.8	233	93.8	21855.4	293	81.1	23762.3
54	0.0	0	114	20.9	2382.6	174	20.0	3480	234	182.1	42611.4	294	25.0	7350
55	6.7	368.5	115	23.2	2668	175	145.0	25375	235	157.9	37106.5	295	12.6	3717
56	5.8	324.8	116	90.5	10498	176	77.7	13675.2	236	0.0	0	296	0.0	0
57	4.7	267.9	117	35.8	4188.6	177	42.3	7487.1	237	0.0	0	297	0.0	0
58	42.1	2441.8	118	80.3	9475.4	178	104.3	18565.4	238	0.0	0	298	0.0	0
59	131.5	7758.5	119	108.2	12875.8	179	116.8	20907.2	239	0.0	0	299	0.0	0
60	61.1	3666	120	104.4	12528	180	35.9	6462	240	93.3	22392	300	0.0	0

Fuente: PROPIA

Tabla 26 Valores registrables entre la precipitación mensual (mm) Vs. el tiempo (2do bloque)

t	T	t*T	t	T	t*T	t	T	t*T	t	T	t*T	t	T	t*T
301	0.0	0	361	62.2	22454.2	421	81.1	34143.1	481	87.8	42231.8	541	90.4	48906.4
302	61.3	18512.6	362	63.7	23059.4	422	69.3	29244.6	482	120.0	57840	542	102.8	55717.6
303	40.0	12120	363	171.3	62181.9	423	114.3	48348.9	483	75.6	36514.8	543	135.9	73793.7
304	61.3	18635.2	364	136.6	49722.4	424	158.8	67331.2	484	109.1	52804.4	544	240.1	130614.4
305	29.0	8845	365	115.1	42011.5	425	107.2	45560	485	151.6	73526	545	209.5	114177.5
306	37.9	11597.4	366	21.2	7759.2	426	87.4	37232.4	486	19.1	9282.6	546	69.2	37783.2
307	0.0	0	367	18.2	6679.4	427	15.0	6405	487	7.0	3409	547	0.0	0
308	0.0	0	368	0.0	0	428	7.2	3081.6	488	0.0	0	548	5.6	3068.8
309	0.0	0	369	0.0	0	429	32.2	13813.8	489	7.8	3814.2	549	7.0	3843
310	24.7	7657	370	19.2	7104	430	12.9	5547	490	1.5	735	550	1.4	770
311	10.8	3358.8	371	4.7	1743.7	431	27.4	11809.4	491	1.0	491	551	16.8	9256.8
312	42.1	13135.2	372	14.2	5282.4	432	102.4	44236.8	492	47.4	23320.8	552	57.0	31464
313	54.0	16902	373	91.3	34054.9	433	108.0	46764	493	84.1	41461.3	553	36.8	20350.4
314	85.0	26690	374	129.3	48358.2	434	106.0	46004	494	174.5	86203	554	233.6	129414.4
315	164.5	51817.5	375	176.0	66000	435	168.2	73167	495	107.5	53212.5	555	113.2	62826
316	113.2	35771.2	376	106.6	40081.6	436	239.4	104378.4	496	127.3	63140.8	556	186.9	103916.4
317	119.4	37849.8	377	85.7	32308.9	437	198.1	86569.7	497	109.4	54371.8	557	64.6	35982.2
318	71.0	22578	378	12.7	4800.6	438	43.3	18965.4	498	18.7	9312.6	558	22.1	12331.8
319	6.4	2041.6	379	2.2	833.8	439	6.3	2765.7	499	8.4	4191.6	559	3.7	2068.3
320	0.0	0	380	3.9	1482	440	2.0	880	500	6.3	3150	560	1.0	560
321	5.1	1637.1	381	0.0	0	441	0.4	176.4	501	0.0	0	561	2.3	1290.3
322	38.8	12493.6	382	1.7	649.4	442	14.4	6364.8	502	11.1	5572.2	562	27.0	15174
323	0.0	0	383	2.2	842.6	443	16.6	7353.8	503	5.5	2766.5	563	7.9	4447.7
324	40.1	12992.4	384	35.1	13478.4	444	33.0	14652	504	48.2	24292.8	564	51.7	29158.8
325	124.0	40300	385	35.8	13783	445	112.0	49840	505	93.3	47116.5	565	124.2	70173
326	164.6	53659.6	386	99.3	38329.8	446	145.2	64759.2	506	152.1	76962.6	566	146.8	83088.8
327	157.6	51535.2	387	182.3	70550.1	447	123.8	55338.6	507	84.2	42689.4	567	182.0	103194
328	81.3	26666.4	388	171.1	66386.8	448	134.1	60076.8	508	185.3	94132.4	568	121.4	68955.2
329	59.7	19641.3	389	119.8	46602.2	449	67.7	30397.3	509	86.5	44028.5	569	134.9	76758.1
330	19.0	6270	390	60.0	23400	450	47.9	21555	510	47.1	24021	570	60.4	34428
331	0.0	0	391	8.1	3167.1	451	17.9	8072.9	511	13.0	6643	571	5.0	2855
332	0.0	0	392	3.8	1489.6	452	4.0	1808	512	0.0	0	572	0.0	0
333	0.0	0	393	2.0	786	453	14.5	6568.5	513	4.6	2359.8	573	2.1	1203.3
334	0.0	0	394	0.0	0	454	12.4	5629.6	514	5.8	2981.2	574	1.6	918.4
335	0.0	0	395	27.7	10941.5	455	43.9	19974.5	515	13.5	6952.5	575	21.4	12305
336	229.3	77044.8	396	64.9	25700.4	456	46.9	21386.4	516	36.5	18834	576	43.1	24825.6
337	95.6	32217.2	397	65.1	25844.7	457	75.8	34640.6	517	119.4	61729.8	577	52.7	30407.9
338	155.5	52559	398	107.0	42586	458	171.7	78638.6	518	95.0	49210	578	169.1	97739.8
339	129.1	43764.9	399	202.8	80917.2	459	77.7	35664.3	519	175.5	91084.5	579	172.50	99877.5
340	89.7	30498	400	180.5	72200	460	97.9	45034	520	91.2	47424	580	141.80	82244
341	139.5	47569.5	401	85.8	34405.8	461	102.0	47022	521	114.6	59706.6	581	150.70	87556.7
342	34.5	11799	402	22.2	8924.4	462	28.7	13259.4	522	35.5	18531	582	55.90	32533.8
343	6.8	2332.4	403	7.1	2861.3	463	2.7	1250.1	523	7.1	3713.3	583	10.00	5830
344	0.0	0	404	11.2	4524.8	464	0.0	0	524	0.0	0	584	1.10	642.4
345	0.0	0	405	16.0	6480	465	11.2	5208	525	1.8	945	585	0.90	526.5
346	0.0	0	406	14.1	5724.6	466	2.1	978.6	526	4.6	2419.6	586	16.90	9903.4
347	5.9	2047.3	407	15.5	6308.5	467	8.7	4062.9	527	9.9	5217.3	587	2.30	1350.1
348	4.4	1531.2	408	51.5	21012	468	31.5	14742	528	43.0	22704	588	28.80	16934.4
349	105.8	36924.2	409	40.5	16564.5	469	66.9	31376.1	529	58.7	31052.3	589	70.60	41583.4
350	119.2	41720	410	124.9	51209	470	141.4	66458	530	113.0	59890	590	109.50	64605
351	120.9	42435.9	411	197.2	81049.2	471	183.0	86193	531	145.9	77472.9	591	64.00	37824
352	165.8	58361.6	412	68.5	28222	472	116.9	55176.8	532	185.7	98792.4	592	193.60	114611.2
353	77.1	27216.3	413	127.9	52822.7	473	103.9	49144.7	533	152.4	81229.2	593	46.80	27752.4
354	48.7	17239.8	414	23.3	9646.2	474	77.0	36498	534	52.2	27874.8	594	39.20	23284.8
355	0.8	284	415	13.5	5602.5	475	0.0	0	535	5.4	2889	595	1.30	773.5
356	0.0	0	416	0.0	0	476	6.0	2856	536	1.5	804	596	4.20	2503.2
357	0.0	0	417	12.6	5254.2	477	0.0	0	537	6.8	3651.6	597	4.90	2925.3
358	21.4	7661.2	418	23.1	9655.8	478	1.1	525.8	538	18.6	10006.8	598	17.2	10285.6
359	17.9	6426.1	419	4.0	1676	479	3.1	1484.9	539	33.4	18002.6	599	21.3	12758.7
360	64.1	23076	420	48.5	20370	480	51.4	24672	540	37.2	20088	600	65.0	39000

Fuente: PROPIA

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \qquad \bar{t} = \frac{(1 + 2 + 3 + \dots + 600)}{600} \qquad \bar{t} = 300.5$$

$$S_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_m)^2}{n - 1} \right]^{1/2} \qquad S_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^{600} (17999950)^2}{600 - 1} \right]^{1/2} \qquad S_t = 173.35$$

El promedio del producto entre los datos y el tiempo es:

$$\overline{t * T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i * T_{m_i} \qquad \overline{t * T_m} = \frac{1}{600} (10257955.4)$$

Se tiene que:

$$\overline{t * T_m} = 17096.59$$

Con los resultados obtenidos, se estima los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple, como sigue:

➤ Se calculó el coeficiente de correlación entre los datos de precipitación mensual y el tiempo según la ecuación:

$$R = \frac{\overline{tT_m} - \bar{t} * \bar{T_m}}{S_t * S_{T_m}} \qquad R = \frac{17096.59 - 300.5 * 54.215}{173.349 * 57.738}$$

Donde se obtiene el valor de **R**

$$R = 0.080$$

Realizamos el análisis de **R** según el estadístico t, que procede así:

Se procede a calcular el valor de t estadístico **t_c**

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

donde:

t_c : Valor del estadístico t calculado

n : Número total de datos

R : Coeficiente de correlación

$$t_c = 1.9626135$$

A continuación, calculamos el valor de “t tabular” con el 95% de probabilidad el cual se calcula mediante la tabla de Student con:

$$\alpha = 0.05 \quad G.L. = n - 2 = 598$$

Interpolando en la tabla t-Student se tiene que:

$$t_t = 1.964472$$

Comparación del t_c con el t_t

Si $|t_c| \leq t_t$ entonces R no es significativo

$|t_c| > t_t$ entonces R si es significativo

Se tiene que:

$$\begin{array}{ccc} |t_c| & < & t_t \\ 1.9626 & & 1.9645 \end{array}$$

Entonces **R** no es significativo

por lo tanto, **no es necesario corregir los datos**

Cálculo de los parámetros de la ecuación que representa la tendencia en la media:

$$B_m = R * \frac{S_{Tm}}{S_t} \quad B_m = 0.0266457$$

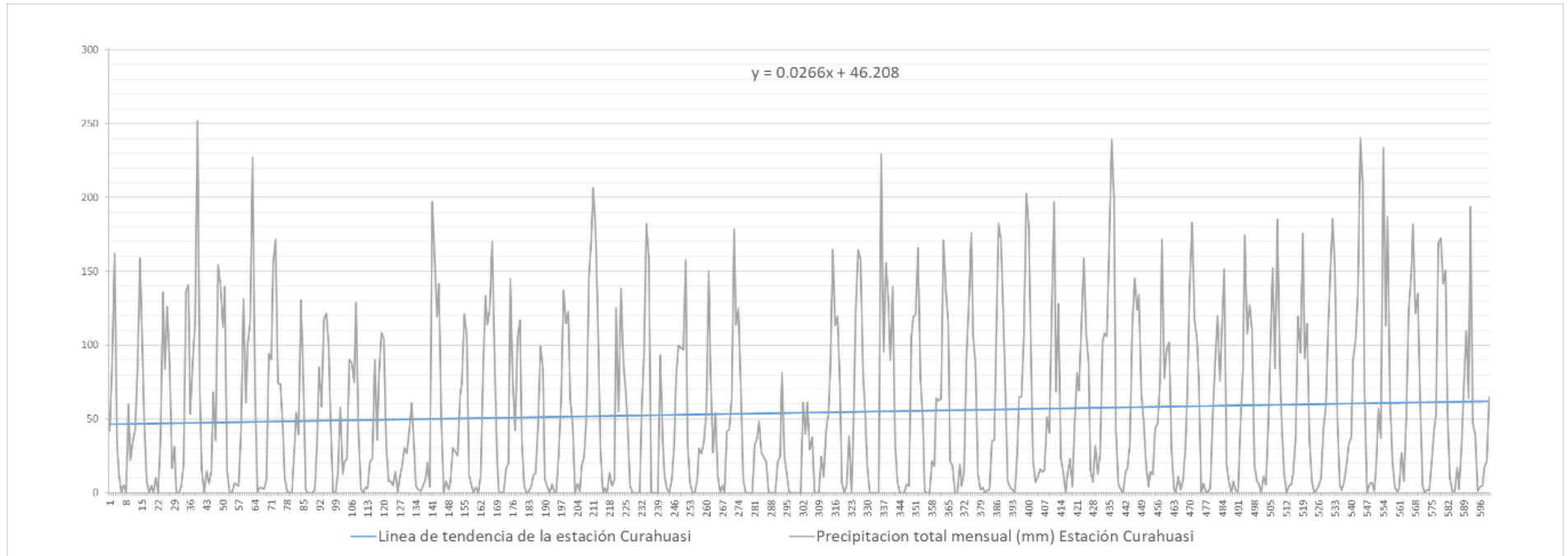
$$A_m = \bar{T}_m - \bar{t} * B_m \quad A_m = 46.208286$$

La ecuación que representa la tendencia en la media es:

$$Tm = A_m + B_m t$$

$$Tm = 46.208 + (0.0266)t$$

Ilustración 31 Histograma con línea de tendencia en la media – Estación Curahuasi



Fuente: PROPIA

b) Tendencia en la Desviación estándar

La tendencia en la desviación estándar es representada por la siguiente ecuación:

$$T_s = A_s + \bar{t} \cdot B_s$$

T_s : Tendencia en la desviación estándar corregida de saltos

A_s, B_s : Coeficientes de los polinomios de regresión

t : Tiempo

Se calculó los parámetros, Sp , S , SSP y Sp de los periodos de desviaciones estándar del registro de precipitaciones, así como del tiempo en orden correlativo de 1, 2, 3... n , siendo n número total de datos, habiendo sido determinados según las ecuaciones correspondientes.

Siendo:

\overline{Sp} : Promedio (media) de la tendencia de las desviaciones estándar

\bar{t} : Promedio (media) del tiempo cronológico t

STm : Desviación estándar de la tendencia de las desviaciones estándar

S_t : Desviación estándar del tiempo

tSp : Promedio del producto de la tendencia por el tiempo

$n=1\ 2\ \dots\ 52$ (Igual al número de periodos)

Con ayuda de la tabla Nro. 27 calculamos la media y desviación estándar de las desviaciones estándar para cada uno de los periodos, en este caso años, los cuales son:

Tabla 27 Desviaciones estándar de cada período

Sp1	46.001	Sp27	28.142
Sp2	58.316	Sp28	26.860
Sp3	54.494	Sp29	63.977
Sp4	74.969	Sp30	78.742
Sp5	59.251	Sp31	58.212
Sp6	72.451	Sp32	51.191
Sp7	53.780	Sp33	63.494
Sp8	35.772	Sp34	57.209
Sp9	45.752	Sp35	64.872
Sp10	42.829	Sp36	69.182
Sp11	39.409	Sp37	58.626
Sp12	54.671	Sp38	51.054
Sp13	56.458	Sp39	86.398
Sp14	54.560	Sp40	53.962
Sp15	63.438	Sp41	48.027
Sp16	43.133	Sp42	61.627
Sp17	46.531	Sp43	62.131
Sp18	60.378	Sp44	56.475
Sp19	74.678	Sp45	57.499
Sp20	48.234	Sp46	57.213
Sp21	88.121	Sp47	64.426
Sp22	39.846	Sp48	94.789
Sp23	48.483	Sp49	64.539
Sp24	44.666	Sp50	68.045
Sp25	59.167	Sp51	64.410
Sp26	17.411	Sp52	57.146

La media y desviación estándar de las desviaciones estándar por periodos son:

$$\bar{S}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_p \quad \bar{S}_p = 56.751$$

$$S_{S_p} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_p - \bar{S}_p)^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad S_{S_p} = 14.628$$

La media y desviación estándar de los datos del tiempo en orden correlativo son:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad \bar{t} = 26.5$$

$$S_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad S_t = 15.155$$

El promedio del producto entre las desviaciones estándar y el tiempo las calculamos con ayuda de la tabla Nro. 28.

Tabla 28 Cálculo del producto t*Sp

t	Sp	t*Sp	t	Sp	t*Sp
1	46.001	46.0014	27	28.142	759.822
2	58.316	116.632	28	26.860	752.077
3	54.494	163.481	29	63.977	1855.325
4	74.969	299.876	30	78.742	2362.265
5	59.251	296.256	31	58.212	1804.562
6	72.451	434.705	32	51.191	1638.111
7	53.780	376.457	33	63.494	2095.302
8	35.772	286.179	34	57.209	1945.112
9	45.752	411.772	35	64.872	2270.532
10	42.829	428.288	36	69.182	2490.556
11	39.409	433.496	37	58.626	2169.166
12	54.671	656.058	38	51.054	1940.054
13	56.458	733.96	39	86.398	3369.530
14	54.560	763.837	40	53.962	2158.496
15	63.438	951.563	41	48.027	1969.125
16	43.133	690.13	42	61.627	2588.324
17	46.531	791.026	43	62.131	2671.615
18	60.378	1086.81	44	56.475	2484.891
19	74.678	1418.89	45	57.499	2587.455
20	48.234	964.683	46	57.213	2631.792
21	88.121	1850.53	47	64.426	3028.027
22	39.846	876.621	48	94.789	4549.890
23	48.483	1115.12	49	64.539	3162.387
24	44.666	1071.99	50	68.045	3402.243
25	59.167	1479.18	51	64.410	3284.930
26	17.411	452.692	52	57.146	2971.597

Fuente: PROPIA

Con ayuda de la tabla obtenemos el valor promedio de **t*Sp**

$$\overline{t \cdot Sp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \cdot Sp_i \quad \overline{t \cdot Sp} = 1520.374$$

Coeficiente de correlación entre los datos de desviación estándar y el tiempo

$$R = \frac{\bar{t}S_p - \bar{t} * \bar{S}_p}{S_t * S_{sp}} \qquad R = 0.0743113$$

Se comprobó la significación de la tendencia en la desviación estándar según la prueba de Student:

El valor de t estadístico "t calculado" t_c , es:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \qquad t_c = 1.8887423$$

El valor de "t tabular" con el 95% de probabilidad el cual se calcula mediante la tabla de Student con:

$$\alpha=0.05 \qquad G.L.=n-2 =50$$

De la tabla de Student el valor de es

$$t_{t=} \qquad 2.009$$

Comparando los valores de t calculado y t tabular

$$\begin{array}{ccc} |t_c| & < & t_t \\ 1.8887 & & 2.0090 \end{array}$$

Entonces R no es significativo
por lo que **no es necesario corregir los datos**

A continuación, se calculó los parámetros de la ecuación que representa la tendencia en la desviación estándar:

El parámetro B_s y A_s del sistema de ecuaciones son:

$$B_s = R * \frac{S_{sp}}{S_t} \qquad B_s = 0.0717287$$

$$A_s = \bar{S}_p - \bar{t} * B_s \qquad A_s = 54.850145$$

La ecuación que representa la tendencia en la desviación estándar es:

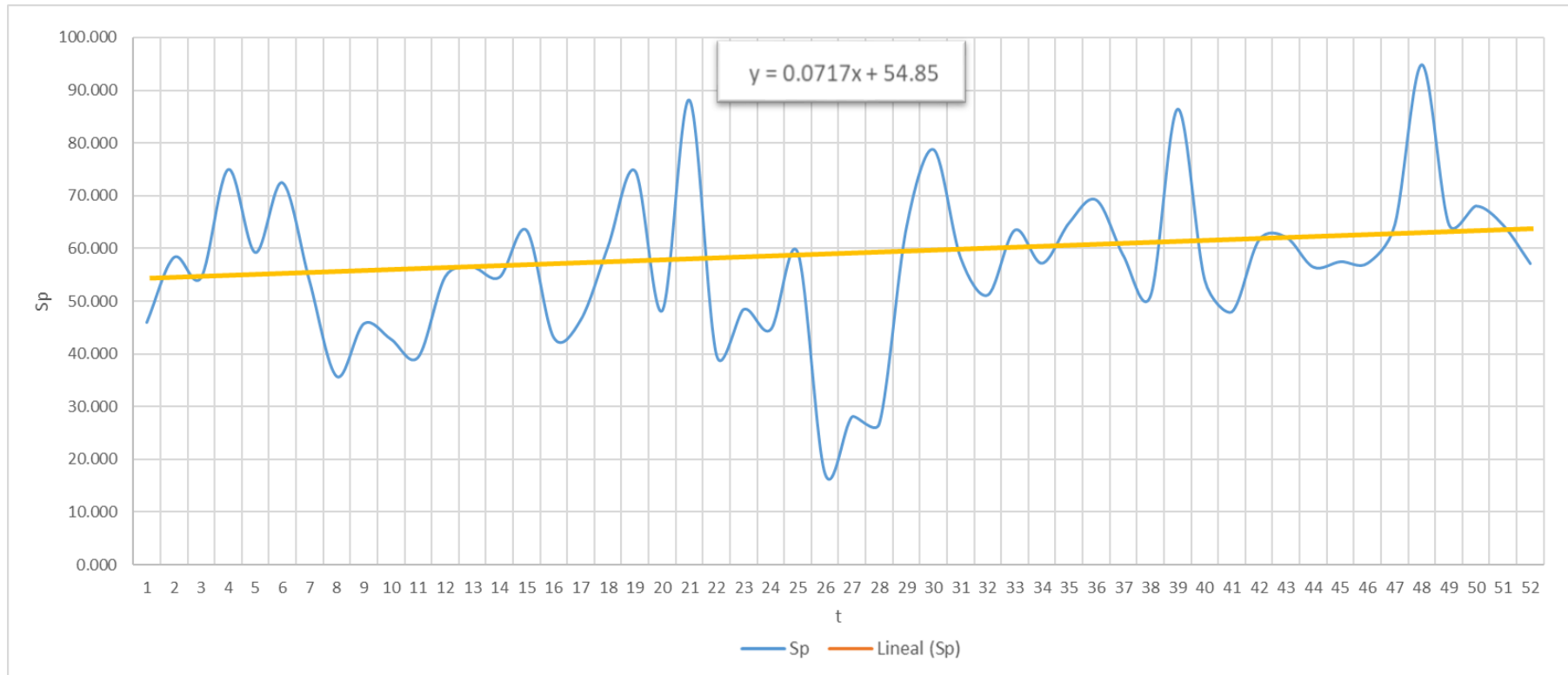


$$Ts = A_s + B_s * t$$

$$Ts = 54.85 + 0.0717 * t$$

A continuación, en la ilustración Nro. 34 se grafica la línea de tendencia en la desviación estándar

Ilustración 32 Histograma con línea de tendencia en la Des. Estándar – Estación Curahuasi



Fuente: PROPIA

Del análisis estadístico realizado a la serie histórica de precipitación mensual de la estación Curahuasi, se concluye que, no presenta saltos ni tendencias, siendo dicha información confiable.



3.6.6 COMPLETACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL CON EASY FIT

3.6.6.1 Histórico de datos de precipitación de la estación meteorológica de Curahuasi

Se dispone de los siguientes datos de precipitación mensual de la estación de Curahuasi que va desde el año 1964 hasta el 2014 los cuales servirán para la obtención de caudales, para ello debemos completar el cuadro mediante la generación de datos aleatorios con el software EasyFit 5.6 el cual permite completar los datos faltantes en base a la distribución probabilística que mejor se ajuste a los datos existentes y así extender los registros con datos que no alteren la media ni la desviación estándar de la serie de datos completados y extendidos.

Trabajaremos con la mejor distribución según el ranking de distribuciones otorgadas por el EasyFit tanto para el test de Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling y Chi Cuadrado en función a los datos ingresados de las precipitaciones mensuales.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC recomienda utilizar las siguientes funciones:

- a) Distribución Normal
- b) Distribución Log Normal 2 parámetros
- c) Distribución Log Normal 3 parámetros
- d) Distribución Gamma 2 parámetros
- e) Distribución Gamma 3 parámetros
- f) Distribución Log Pearson tipo III
- g) Distribución Gumbel
- h) Distribución Log Gumbel



3.6.6.2 Completación del histórico de precipitaciones de la estación de Curahuasi

En la tabla Nro. 29 se muestra la serie histórica de las precipitaciones mensuales, donde existen datos faltantes, los cuales completaremos con ayuda del programa Easy Fit.

Tabla 29 Datos de precipitación mensual de la estación Curahuasi

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	42.0	90.0	162.0	33.6	13.0	0.0	5.2	0.0	60.0	22.1	34.3	42.6	504.8
2	1,965	85.2	158.7	113.0	48.0	8.0	0.0	5.0	0.0	10.2	0.0	37.9	135.8	601.8
3	1,966	83.9	125.9	86.0	16.5	31.4	0.0	0.0	4.0	18.8	136.4	140.6	53.5	697.0
4	1,967	87.7	115.5	252.1	66.6	15.6	0.2	14.7	6.3	15.3	68.0	35.5	154.5	832.0
5	1,968	140.2	112.1	139.4	14.5	0.5	0.0	6.7	5.8	4.7	42.1	131.5	61.1	658.6
6	1,969	100.7	115.4	226.9	73.6	0.8	3.3	3.5	2.5	9.0	93.9	90.2	155.4	875.2
7	1,970	171.4	74.2	73.4	44.6	10.8	1.2	0.0	0.0	28.6	54.2	39.6	130.5	628.5
8	1,971				76.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	84.8	58.2	
9	1,972	117.3	121.7	98.5	48.5	0.4	0.0	12.9	57.9	12.6	20.9	23.2	90.5	604.4
10	1,973	87.7	74.9	128.9	43.7	2.8	0.0	3.9	3.0	20.9	23.2	90.5	35.8	515.3
11	1,974	80.3	108.2	104.4	31.6	8.0	7.9	5.0	14.3	0.5	11.8	17.6	30.3	419.9
12	1,975	26.6	42.4	60.6	30.6	4.7	2.0	1.3	4.8	9.5	20.6	4.3	197.0	404.4
13	1,976	159.0	119.2	141.8	49.2	0.5	7.9	2.0	7.3	30.4	27.8	25.2	65.1	635.4
14	1,977	75.0	121.1	107.1	11.6	5.1	0.0	3.8	0.0	10.6	81.6	133.2	113.5	662.6
15	1,978	124.0	170.4	93.2	25.1	1.1		0.0	0.3	16.6	20.0	145.0	77.7	
16	1,979	42.3	104.3	116.8	35.9	4.5	0.0	1.2	4.8	11.7	13.4			
17	1,980	46.5	99.4	83.1	9.6	4.1	0.0	5.6	0.0	0.0	26.1	63.1	137.3	474.8
18	1,981	114.7	122.7	63.7	46.8	0.0	6.0	0.9	18.3	24.5	53.0	145.7	173.1	769.4
19	1,982	206.4	177.2	113.1	30.4	0.0	3.4	0.0	13.6	4.7	8.7	125.1	55.2	737.8
20	1,983	138.5	87.5	67.8	45.8	4.5		0.0	0.0	0.0	0.0	53.7	93.8	
21	1,984	182.1	157.9			0.0	0.0	0.0	0.0					
22	1,985				93.3	35.9	10.9	2.5	0.3	9.5	33.4	78.3	99.8	
23	1,986	98.3	96.9	157.5	34.0	6.8	0.0	0.0	9.2	29.9	26.8	34.4	54.4	548.2
24	1,987	150.4	81.4	27.1	54.1	11.6	0.0	5.0	0.0		41.3	43.1	63.9	482.9
25	1,988	178.6	113.6	124.6	71.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6			
26	1,989													
27	1,990	37.1	48.5	27.1	24.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1			
28	1,991	24.7	81.1	25.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3		
29	1,992	40.0	61.3	29.0	37.9	0.0	0.0	0.0	24.7	10.8	42.1	54.0	85.0	384.8
30	1,993	164.5	113.2	119.4	71.0	6.4	0.0	5.1	38.8	0.0	40.1	124.0	164.6	847.1
31	1,994	157.6	81.3	59.7	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	229.3	95.6	155.5	798.0
32	1,995	129.1	89.7	139.5	34.5	6.8	0.0	0.0	0.0	5.9	4.4	105.8	119.2	634.9
33	1,996	120.9	165.8	77.1	48.7	0.8	0.0	0.0	21.4	17.9	64.1	62.2	63.7	642.6
34	1,997	171.3	136.6	115.1	21.2	18.2	0.0	0.0	19.2	4.7	14.2	91.3	129.3	721.1
35	1,998	176.0	106.6	85.7	12.7	2.2	3.9	0.0	1.7	2.2	35.1	35.8	99.3	561.2
36	1,999	182.3	171.1	119.8	60.0	8.1	3.8	2.0	0.0	27.7	64.9	65.1	107.0	811.8
37	2,000	202.8	180.5	85.8	22.2	7.1	11.2	16.0	14.1	15.5	51.5	40.5	124.9	772.1
38	2,001	197.2	68.5	127.9	23.3	13.5	0.0	12.6	23.1	4.0	48.5	81.1	69.3	669.0
39	2,002	114.3	158.8	107.2	87.4	15.0	7.2	32.2	12.9	27.4	102.4	108.0	106.0	878.8
40	2,003	168.2	239.4	198.1	43.3	6.3	2.0	0.4	14.4	16.6	33.0	112.0	145.2	978.9
41	2,004	123.8	134.1	67.7	47.9	17.9	4.0	14.5	12.4	43.9	46.9	75.8	171.7	760.6
42	2,005	77.7	97.9	102.0	28.7	2.7	0.0	11.2	2.1	8.7	31.5	66.9	141.4	570.8
43	2,006	183.0	116.9	103.9	77.0	0.0	6.0	0.0	1.1	3.1	51.4	87.8	120.0	750.2
44	2,007	75.6	109.1	151.6	19.1	7.0	0.0	7.8	1.5	1.0	47.4	84.1	174.5	678.7
45	2,008	107.5	127.3	109.4	18.7	8.4	6.3	0.0	11.1	5.5	48.2	93.3	152.1	687.8
46	2,009	84.2	185.3	86.5	47.1	13.0	0.0	4.6	5.8	13.5	36.5	119.4	95.0	690.9
47	2,010	175.5	91.2	114.6	35.5	7.1	0.0	1.8	4.6	9.9	43.0	58.7	113.0	654.9
48	2,011	145.9	185.7	152.4	52.2	5.4	1.5	6.8	18.6	33.4	37.2	90.4	102.8	832.3
49	2,012	135.9	240.1	209.5	69.2	0.0	5.6	7.0	1.4	16.8	57.0	36.8	233.6	1012.9
50	2,013	113.2	186.9	64.6	22.1	3.7	1.0	2.3	27.0	7.9	51.7	124.2	146.8	751.4
51	2,014	182.0	121.4	134.9	60.4	5.0	0.0	2.1	1.6	21.4	43.1	52.7	169.1	793.7
52	2,015	172.50	141.80	150.70	55.90	10.00	1.10	0.90	16.90	2.30	28.80	70.60	109.50	761.0
53	2,016	64.00	193.60	46.80	39.20	1.30	4.20	4.90	17.2	21.3	65.0			

Fuente: SENAMHI

Con la aplicación del software EasyFit se completa los datos faltantes en el cuadro del histórico de precipitaciones mensuales, realizándose un análisis para cada mes detallándose el procedimiento para la completación de los datos faltantes.

En el siguiente cuadro se Muestra los datos introducidos al software EasyFit 5.6 para su análisis.

Ilustración 33 Precipitación en (mm) enero (Easyfit)

The screenshot shows the EasyFit software interface with a data table. The table has columns labeled A, B, C, and D. The data in column A represents precipitation in mm for each day of the month. The values are: 42.0, 85.2, 83.9, 87.7, 140.2, 100.7, 171.4, 117.3, 87.7, 80.3, 26.6, 159.0, 75.0, 124.0, 42.3, 46.5, 114.7, 206.4, 138.5, 182.1, 98.3, 150.4, 178.6, 37.1, 24.7, 40.0, 164.5, 157.6, 129.1, 120.9.

	A	B	C	D
1	42.0			
2	85.2			
3	83.9			
4	87.7			
5	140.2			
6	100.7			
7	171.4			
8				
9	117.3			
10	87.7			
11	80.3			
12	26.6			
13	159.0			
14	75.0			
15	124.0			
16	42.3			
17	46.5			
18	114.7			
19	206.4			
20	138.5			
21	182.1			
22				
23	98.3			
24	150.4			
25	178.6			
26				
27	37.1			
28	24.7			
29	40.0			
30	164.5			
31	157.6			
32	129.1			
33	120.9			

Fuente: PROPIA-EASYFIT

Posteriormente a través de los test de Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling y Chi Cuadrado se analizó a que distribución se ajusta de mejor manera la serie histórica de precipitaciones para el mes de Enero, en el cual se observa las distribuciones en función a su mejor ajuste.

Tabla 30 Resultados de la prueba de bondad de ajuste (enero)

Distribución	Kolmogorov		Distribución	Anderson		Distribución	Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango		Estadística	Rango		Estadística	Rango
Johnson SB	0.07312	1	Johnson SB	0.23674	1	Error	0.28173	1
Dagum	0.07624	2	Dagum	0.30101	2	Dagum (4P)	0.87219	3
Gen. Extreme Value	0.08175	3	Dagum (4P)	0.34722	3	Gen. Gamma (4P)	0.48765	2
Error	0.08186	4	Error	0.40742	4	Log-Logistic (3P)	0.92832	4
Dagum (4P)	0.08273	5	Gen. Extreme Value	0.43424	5	Rayleigh	1.2394	5
Gen. Pareto	0.08614	6	Gen. Gamma (4P)	0.5166	6	Normal	1.3622	6
Power Function	0.08759	7	Pert	0.52397	7	Johnson SB	1.3831	7
Log-Pearson 3	0.08881	8	Log-Pearson 3	0.60247	8	Cauchy	1.4605	8
Uniform	0.09357	9	Burr (4P)	0.63111	9	Log-Pearson 3	1.6514	9
Pearson 6 (4P)	0.09665	10	Normal	0.64194	10	Beta	1.7547	10
Log-Logistic (3P)	0.09773	11	Weibull (3P)	0.6459	11	Weibull	1.9454	11
Pert	0.09821	12	Pearson 6 (4P)	0.67158	12	Power Function	2.1365	12
Frechet (3P)	0.09877	13	Fatigue Life (3P)	0.67791	13	Pert	2.2023	13
Weibull	0.09883	14	Inv. Gaussian (3P)	0.67856	14	Lognormal	2.3214	14
Normal	0.09989	15	Chi-Squared (2P)	0.69782	15	Pearson 5	2.8232	15
Weibull (3P)	0.10089	16	Log-Logistic (3P)	0.70581	16	Log-Logistic	2.9064	16
Inv. Gaussian (3P)	0.10111	17	Lognormal (3P)	0.70734	17	Dagum	3.0148	17
Fatigue Life (3P)	0.10127	18	Gamma (3P)	0.72735	18	Log-Gamma	3.2798	18
Gen. Gamma (4P)	0.10262	19	Erlang (3P)	0.73014	19	Fatigue Life	3.3274	19
Pearson 5 (3P)	0.10306	20	Pearson 5 (3P)	0.73833	20	Gamma (3P)	3.3589	20
Burr (4P)	0.10314	21	Power Function	0.74385	21	Gen. Gamma	3.3642	21
Lognormal (3P)	0.10386	22	Weibull	0.80392	22	Rayleigh (2P)	3.4222	22
Beta	0.10456	23	Burr	0.82496	23	Burr	3.4589	23
Chi-Squared (2P)	0.10626	24	Beta	0.8533	24	Erlang (3P)	3.4795	24
Burr	0.10684	25	Rayleigh	0.99485	25	Triangular	3.4817	25
Gamma (3P)	0.10699	26	Logistic	1.0104	26	Pearson 5 (3P)	3.5217	26
Erlang (3P)	0.10707	27	Rayleigh (2P)	1.0303	27	Gen. Extreme Value	3.8028	27
Rayleigh	0.10742	28	Frechet (3P)	1.0525	28	Frechet (3P)	3.8974	28
Rayleigh (2P)	0.10817	29	Rice	1.1056	29	Weibull (3P)	4.0194	29
Gen. Gamma	0.11082	30	Gumbel Min	1.1496	30	Inv. Gaussian (3P)	4.2149	30
Nakagami	0.12096	31	Gen. Gamma	1.27	31	Rice	4.2614	31
Logistic	0.12253	32	Hypersecant	1.3271	32	Fatigue Life (3P)	4.2802	32
Gamma	0.12359	33	Cauchy	1.3346	33	Burr (4P)	4.288	33
Gumbel Min	0.12449	34	Pearson 6	1.4747	34	Pearson 6 (4P)	4.4207	34
Pearson 6	0.1253	35	Gamma	1.599	35	Frechet	4.5821	35
Rice	0.13237	36	Kumaraswamy	1.7249	36	Lognormal (3P)	4.6776	36
Cauchy	0.13487	37	Lognormal	1.7608	37	Kumaraswamy	4.72	37
Gumbel Max	0.13689	38	Log-Logistic	1.7817	38	Chi-Squared (2P)	4.8187	38
Hypersecant	0.13712	39	Laplace	1.8578	39	Logistic	5.0143	39
Lognormal	0.13768	40	Nakagami	1.8876	40	Pearson 6	5.4892	40
Inv. Gaussian	0.13862	41	Fatigue Life	2.0738	41	Nakagami	5.6264	41
Kumaraswamy	0.13989	42	Gumbel Max	2.1264	42	Inv. Gaussian	5.6818	42
Log-Logistic	0.146	43	Log-Gamma	2.173	43	Gamma	5.7278	43
Log-Gamma	0.15256	44	Pearson 5	2.7053	44	Gumbel Max	5.8204	44
Laplace	0.15576	45	Inv. Gaussian	3.283	45	Hypersecant	7.1668	45
Fatigue Life	0.15651	46	Erlang	3.6612	46	Exponential (2P)	8.6324	46
Pearson 5	0.172	47	Frechet	3.7247	47	Erlang	8.6621	47
Triangular	0.17372	48	Triangular	3.936	48	Levy (2P)	9.1423	48
Erlang	0.19341	49	Exponential (2P)	4.8669	49	Gumbel Min	10.851	49
Frechet	0.19898	50	Exponential	7.0666	50	Laplace	13.324	50
Exponential (2P)	0.24586	51	Pareto 2	7.3305	51	Pareto	15.357	51
Exponential	0.30111	52	Gen. Pareto	7.8386	52	Pareto 2	19.393	52
Pareto 2	0.30765	53	Levy (2P)	7.9249	53	Exponential	20.674	53
Chi-Squared	0.33016	54	Uniform	7.9795	54	Reciprocal	22.18	54
Reciprocal	0.36316	55	Pareto	11.365	55	Levy	30.116	55
Pareto	0.36994	56	Levy	11.83	56	Chi-Squared	49.24	56
Levy (2P)	0.41322	57	Reciprocal	12.408	57	Error Function	505.01	57
Levy	0.4922	58	Chi-Squared	71.224	58	Student's t	1.44E+05	58
Error Function	0.76773	59	Error Function	132.13	59	Gen. Pareto	N/A	
Student's t	0.99918	60	Student's t	423.36	60	Uniform		N/A
Johnson SU	No hay ajuste							

Fuente: PROPIA-EASYFIT

Seguidamente se muestran los gráficos en el orden de mejor ajuste de las distribuciones más empleadas en hidrología:

- Log Pearson 3
- Normal
- Log Normal

Ilustración 34 Precipitación en (mm) enero (Easyfit)

The screenshot shows the EasyFit software interface. The title bar reads 'EasyFit (Versión de evaluación) - estacion Curahuasi-Enero - [Table1]'. The menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Ver', 'Analizar', 'Opciones', 'Herramientas', 'Ventana', and 'Ayuda'. The toolbar contains various icons for file operations and analysis. The 'Árbol de proyecto' (Project Tree) on the left shows a hierarchy: 'Tablas de datos' containing 'Table1', and 'Resultados' containing 'Fit2'. The main window displays a table with 33 rows and 4 columns (A, B, C, D). Column A contains precipitation values in mm for each day of the month. Row 7 is highlighted in blue.

	A	B	C	D
1	42.0			
2	85.2			
3	83.9			
4	87.7			
5	140.2			
6	100.7			
7	171.4			
8				
9	117.3			
10	87.7			
11	80.3			
12	26.6			
13	159.0			
14	75.0			
15	124.0			
16	42.3			
17	46.5			
18	114.7			
19	206.4			
20	138.5			
21	182.1			
22				
23	98.3			
24	150.4			
25	178.6			
26				
27	37.1			
28	24.7			
29	40.0			
30	164.5			
31	157.6			
32	129.1			
33	120.9			

Fuente: PROPIA-EASYFIT

Posteriormente a través de los test de Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling y Chi Cuadrado se analizó a que distribución se ajusta de mejor manera la serie histórica de precipitaciones para el mes de Enero, en el cual se observa las distribuciones en función a su mejor ajuste.

Tabla 31 Resultados de la prueba de bondad de ajuste (enero)

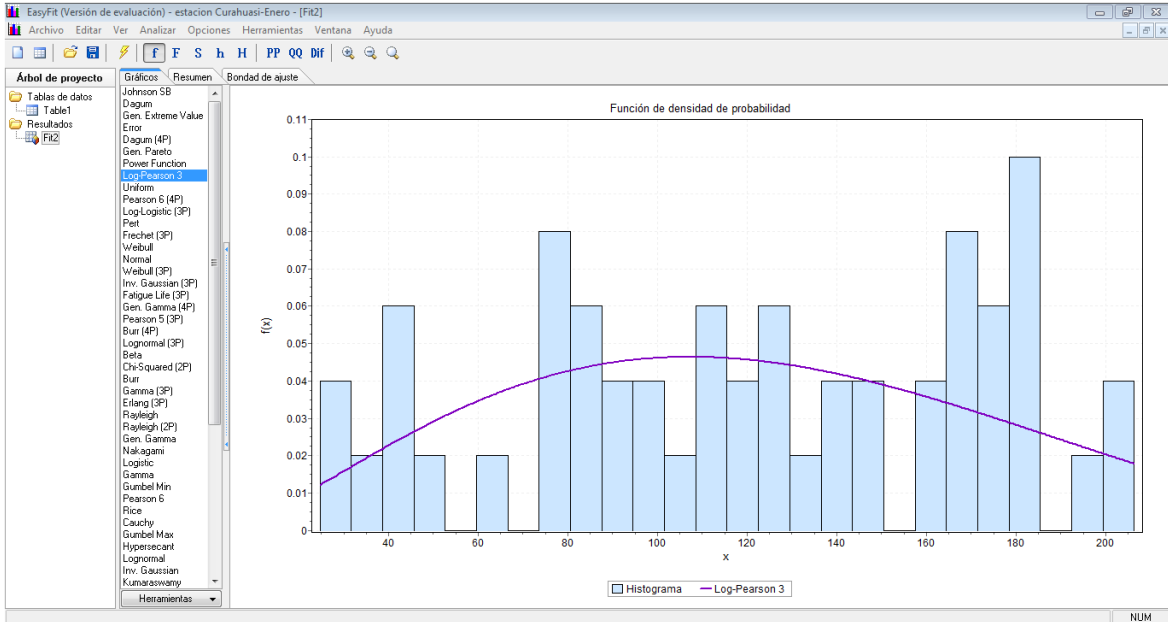
Distribución	Kolmogorov		Distribución	Anderson		Distribución	Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango		Estadística	Rango		Estadística	Rango
Johnson SB	0.07312	1	Johnson SB	0.23674	1	Error	0.28173	1
Dagum	0.07624	2	Dagum	0.30101	2	Dagum (4P)	0.87219	3
Gen. Extreme Value	0.08175	3	Dagum (4P)	0.34722	3	Gen. Gamma (4P)	0.48765	2
Error	0.08186	4	Error	0.40742	4	Log-Logistic (3P)	0.92832	4
Dagum (4P)	0.08273	5	Gen. Extreme Value	0.43424	5	Rayleigh	1.2394	5
Gen. Pareto	0.08614	6	Gen. Gamma (4P)	0.5166	6	Normal	1.3622	6
Power Function	0.08759	7	Pert	0.52397	7	Johnson SB	1.3831	7
Log-Pearson 3	0.08881	8	Log-Pearson 3	0.60247	8	Cauchy	1.4605	8
Uniform	0.09357	9	Burr (4P)	0.63111	9	Log-Pearson 3	1.6514	9
Pearson 6 (4P)	0.09665	10	Normal	0.64194	10	Beta	1.7547	10
Log-Logistic (3P)	0.09773	11	Weibull (3P)	0.6459	11	Weibull	1.9454	11
Pert	0.09821	12	Pearson 6 (4P)	0.67158	12	Power Function	2.1365	12
Frechet (3P)	0.09877	13	Fatigue Life (3P)	0.67791	13	Pert	2.2023	13
Weibull	0.09883	14	Inv. Gaussian (3P)	0.67856	14	Lognormal	2.3214	14
Normal	0.09989	15	Chi-Squared (2P)	0.69782	15	Pearson 5	2.8232	15
Weibull (3P)	0.10089	16	Log-Logistic (3P)	0.70581	16	Log-Logistic	2.9064	16
Inv. Gaussian (3P)	0.10111	17	Lognormal (3P)	0.70734	17	Dagum	3.0148	17
Fatigue Life (3P)	0.10127	18	Gamma (3P)	0.72735	18	Log-Gamma	3.2798	18
Gen. Gamma (4P)	0.10262	19	Erlang (3P)	0.73014	19	Fatigue Life	3.3274	19
Pearson 5 (3P)	0.10306	20	Pearson 5 (3P)	0.73833	20	Gamma (3P)	3.3589	20
Burr (4P)	0.10314	21	Power Function	0.74385	21	Gen. Gamma	3.3642	21
Lognormal (3P)	0.10386	22	Weibull	0.80392	22	Rayleigh (2P)	3.4222	22
Beta	0.10456	23	Burr	0.82496	23	Burr	3.4589	23
Chi-Squared (2P)	0.10626	24	Beta	0.8533	24	Erlang (3P)	3.4795	24
Burr	0.10684	25	Rayleigh	0.99485	25	Triangular	3.4817	25
Gamma (3P)	0.10699	26	Logistic	1.0104	26	Pearson 5 (3P)	3.5217	26
Erlang (3P)	0.10707	27	Rayleigh (2P)	1.0303	27	Gen. Extreme Value	3.8028	27
Rayleigh	0.10742	28	Frechet (3P)	1.0525	28	Frechet (3P)	3.8974	28
Rayleigh (2P)	0.10817	29	Rice	1.1056	29	Weibull (3P)	4.0194	29
Gen. Gamma	0.11082	30	Gumbel Min	1.1496	30	Inv. Gaussian (3P)	4.2149	30
Nakagami	0.12096	31	Gen. Gamma	1.27	31	Rice	4.2614	31
Logistic	0.12253	32	Hypersecant	1.3271	32	Fatigue Life (3P)	4.2802	32
Gamma	0.12359	33	Cauchy	1.3346	33	Burr (4P)	4.288	33
Gumbel Min	0.12449	34	Pearson 6	1.4747	34	Pearson 6 (4P)	4.4207	34
Pearson 6	0.1253	35	Gamma	1.599	35	Frechet	4.5821	35
Rice	0.13237	36	Kumaraswamy	1.7249	36	Lognormal (3P)	4.6776	36
Cauchy	0.13487	37	Lognormal	1.7608	37	Kumaraswamy	4.72	37
Gumbel Max	0.13689	38	Log-Logistic	1.7817	38	Chi-Squared (2P)	4.8187	38
Hypersecant	0.13712	39	Laplace	1.8578	39	Logistic	5.0143	39
Lognormal	0.13768	40	Nakagami	1.8876	40	Pearson 6	5.4892	40
Inv. Gaussian	0.13862	41	Fatigue Life	2.0738	41	Nakagami	5.6264	41
Kumaraswamy	0.13989	42	Gumbel Max	2.1264	42	Inv. Gaussian	5.6818	42
Log-Logistic	0.146	43	Log-Gamma	2.173	43	Gamma	5.7278	43
Log-Gamma	0.15256	44	Pearson 5	2.7053	44	Gumbel Max	5.8204	44
Laplace	0.15576	45	Inv. Gaussian	3.283	45	Hypersecant	7.1668	45
Fatigue Life	0.15651	46	Erlang	3.6612	46	Exponential (2P)	8.6324	46
Pearson 5	0.172	47	Frechet	3.7247	47	Erlang	8.6621	47
Triangular	0.17372	48	Triangular	3.936	48	Levy (2P)	9.1423	48
Erlang	0.19341	49	Exponential (2P)	4.8669	49	Gumbel Min	10.851	49
Frechet	0.19898	50	Exponential	7.0666	50	Laplace	13.324	50
Exponential (2P)	0.24586	51	Pareto 2	7.3305	51	Pareto	15.357	51
Exponential	0.30111	52	Gen. Pareto	7.8386	52	Pareto 2	19.393	52
Pareto 2	0.30765	53	Levy (2P)	7.9249	53	Exponential	20.674	53
Chi-Squared	0.33016	54	Uniform	7.9795	54	Reciprocal	22.18	54
Reciprocal	0.36316	55	Pareto	11.365	55	Levy	30.116	55
Pareto	0.36994	56	Levy	11.83	56	Chi-Squared	49.24	56
Levy (2P)	0.41322	57	Reciprocal	12.408	57	Error Function	505.01	57
Levy	0.4922	58	Chi-Squared	71.224	58	Student's t	1.44E+05	58
Error Function	0.76773	59	Error Function	132.13	59	Gen. Pareto	N/A	
Student's t	0.99918	60	Student's t	423.36	60	Uniform		N/A
Johnson SU	No hay ajuste							

Fuente: PROPIA-EASYFIT

Seguidamente se muestran los gráficos en el orden de mejor ajuste de las distribuciones más empleadas en hidrología:

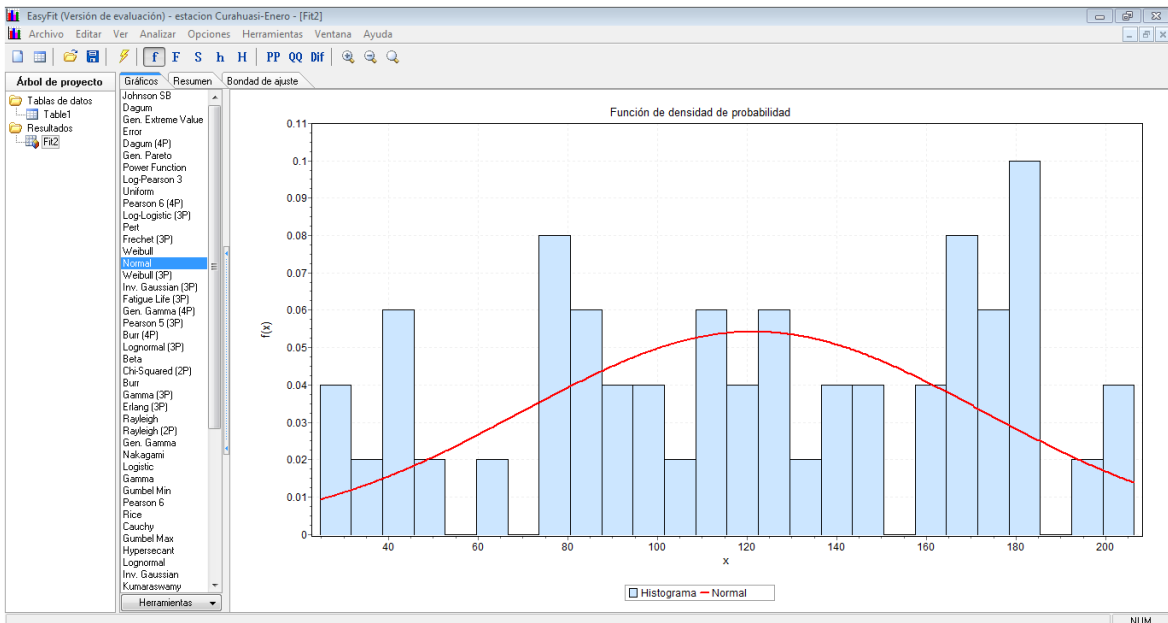
- Log Pearson 3
- Normal
- Log Normal

Ilustración 35 Histograma de distribución log Pearson 3 (enero)



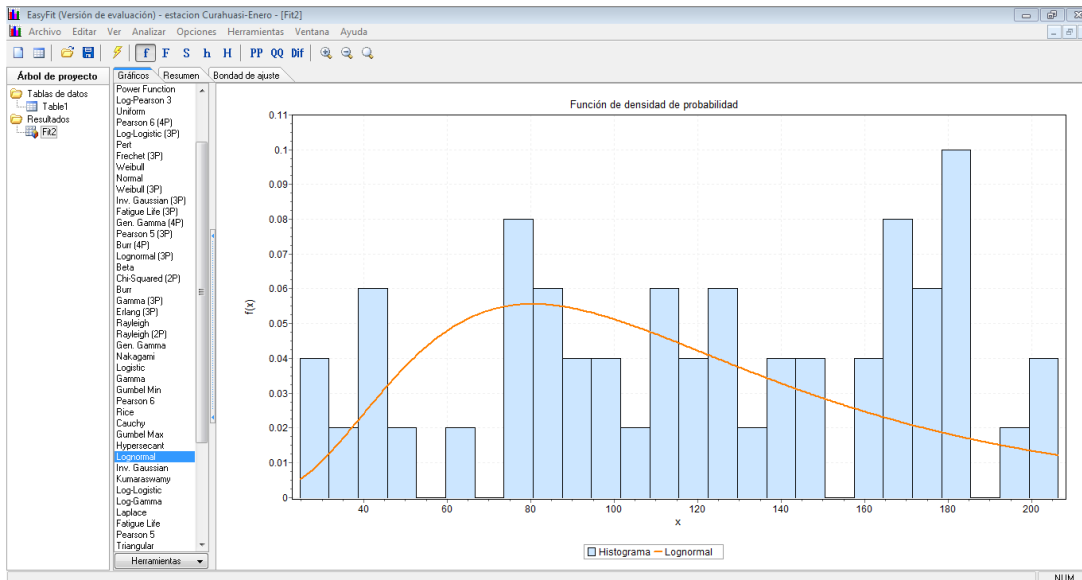
Fuente: PROPIA-EASYFIT

Ilustración 36 Histograma de distribución normal (enero)



Fuente: PROPIA-EASYFIT

Ilustración 37 Histograma de distribución log normal (enero)



Fuente: PROPIA-EASYFIT

Se observa que la mejor distribución de los gráficos anteriores que mejor se ajusta para los datos históricos de precipitaciones del mes de enero es la distribución Log Pearson 3, por lo que se generaran los datos faltantes con la distribución mencionada.

Ilustración 38 Generación de números aleatorios log Pearson 3 (enero)

Generar números aleatorios

Opciones

Tamaño de la muestra:
5

Valor inicial (semilla):
[]

Destino

Tabla de datos actual
 Nueva tabla de datos
 Portapapeles
 Archivo

Distribución

Log-Pearson 3

Parámetros

α 3.418
 β -0.29504
 γ 5.685

OK Cancelar Ayuda

Fuente: PROPIA-EASYFIT

Ilustración 39 Números aleatorios generados (enero)

The screenshot shows the EasyFit software interface. The title bar reads "EasyFit (Versión de evaluación) - estacion Curahuasi-Enero - [Table2]". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Ver", "Analizar", "Opciones", "Herramientas", "Ventana", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and mathematical functions. The "Árbol de proyecto" (Project Tree) on the left shows a folder "Tablas de datos" containing "Table1" and "Table2", and a folder "Resultados" containing "Fit2". The main spreadsheet area has columns labeled "A", "B", and "C". The data in column "A" is as follows:

	A	B	C
1	131.76963508319		
2	129.057690379505		
3	86.7738669430994		
4	144.671547052738		
5	121.506310818111		
6			

Fuente: PROPIA-EASYFIT

El software EASYFIT genera como mínimo 5 valores aleatorios de los cuales elegimos los 3 primeros para completar la serie de datos de datos de precipitación mensual del mes de febrero de los años faltantes en la tabla N° 19.

Tabla 32 Precipitación mensual completada en mm (enero)

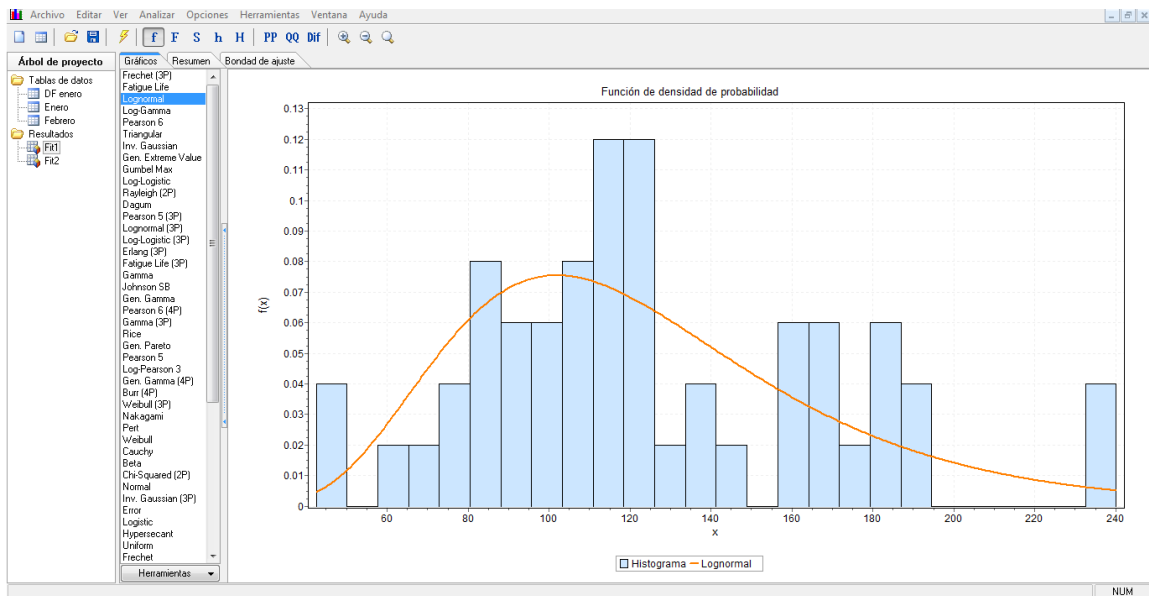
AÑO	ENE
1,964	42.0
1,965	85.2
1,966	83.9
1,967	87.7
1,968	140.2
1,969	100.7
1,970	171.4
1,971	131.8
1,972	117.3
1,973	87.7
1,974	80.3
1,975	26.6
1,976	159.0
1,977	75.0
1,978	124.0
1,979	42.3
1,980	46.5
1,981	114.7
1,982	206.4
1,983	138.5
1,984	182.1
1,985	129.1
1,986	98.3
1,987	150.4
1,988	178.6
1,989	86.8
1,990	37.1
1,991	24.7
1,992	40.0
1,993	164.5
1,994	157.6
1,995	129.1
1,996	120.9
1,997	171.3
1,998	176.0
1,999	182.3
2,000	202.8
2,001	197.2
2,002	114.3
2,003	168.2
2,004	123.8
2,005	77.7
2,006	183.0
2,007	75.6
2,008	107.5
2,009	84.2
2,010	175.5
2,011	145.9
2,012	135.9
2,013	113.2
2,014	182.0
2,015	172.50
2,016	64.00

Fuente: PROPIA-EASYFIT

En la tabla N°22 se muestra los datos de precipitación de enero de todos los años, los datos resaltados de color celeste son los datos completados de forma estadística con EASYFIT.

De la misma forma procedemos a completar los datos del mes de Febrero.

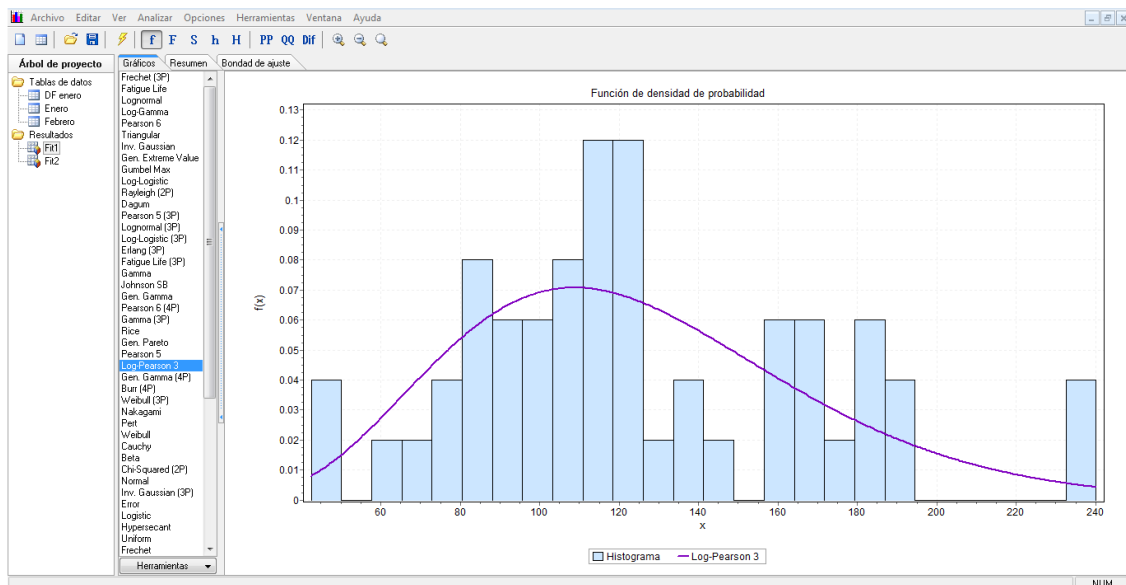
Ilustración 40 Histograma de distribución log normal (febrero)



Fuente: PROPIA-EASYFIT

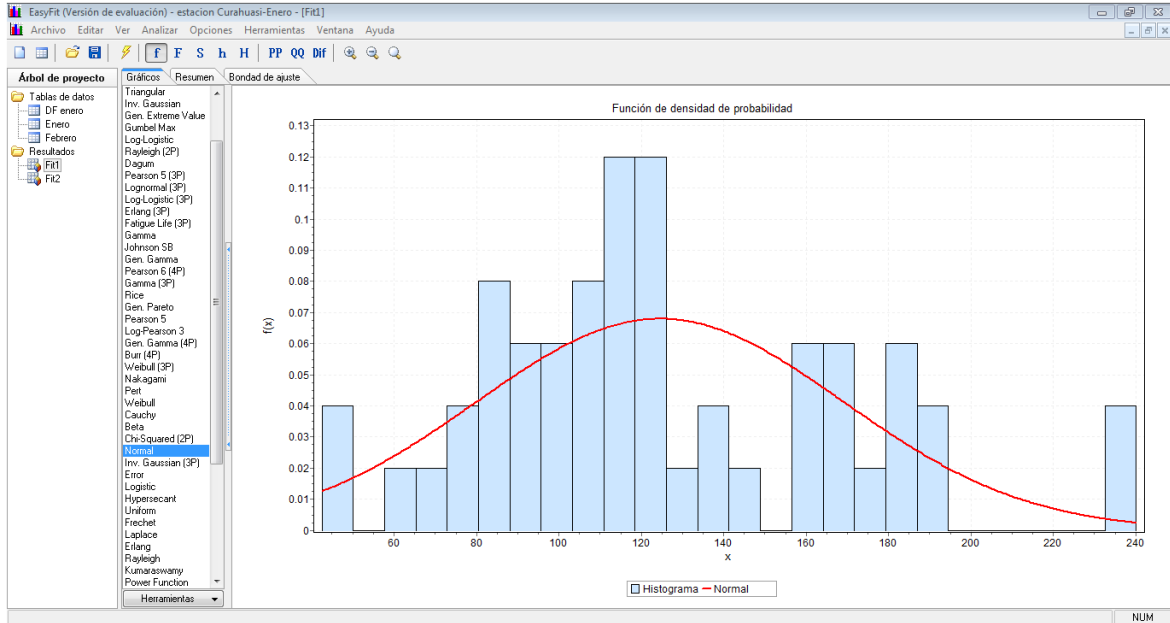
También se tiene el histograma con la distribución LOG PEARSON para los meses de febrero.

Ilustración 41 Histograma de distribución log Pearson (febrero)



Fuente: PROPIA-EASYFIT

Ilustración 42 Histograma de distribución normal (febrero)



Fuente: PROPIA-EASYFIT

Se observa que la mejor distribución de los gráficos anteriores que mejor se ajusta para los datos históricos de precipitaciones del mes de Febrero es la distribución Log Normal, por lo que se generaran los datos faltantes con dicha distribución.

Ilustración 43 Generación de números aleatorios log normal por Easyfit (febrero)

Fuente: PROPIA-EASYFIT

Ilustración 44 Números aleatorios generados (febrero)

The screenshot shows the EASYFIT software interface. The 'Árbol de proyecto' (Project Tree) on the left includes 'Tablas de datos' (Data Tables) with sub-items 'DF enero', 'Enero', 'Febrero', and 'Table1'. Under 'Resultados' (Results), there are 'Fit1' and 'Fit2'. The main spreadsheet area displays a table with columns A, B, C, and D, and rows 1 through 9. The data in column A is as follows:

	A	B	C	D
1	77.7548476973944			
2	98.0749127930493			
3	137.975732160361			
4	125.096671341161			
5	98.8094986376967			
6				
7				
8				
9				

Fuente: PROPIA-EASYFIT

El software EASYFIT genera como mínimo 5 valores aleatorios de los cuales elegimos los 3 primeros para completar la serie de datos de datos de precipitación mensual del mes de febrero de los años faltantes en la tabla N° 18.



Ilustración 45 Precipitación mensual completada en mm (febrero)

AÑO	FEB
1,964	90.0
1,965	158.7
1,966	125.9
1,967	115.5
1,968	112.1
1,969	115.4
1,970	74.2
1,971	77.8
1,972	121.7
1,973	74.9
1,974	108.2
1,975	42.4
1,976	119.2
1,977	121.1
1,978	170.4
1,979	104.3
1,980	99.4
1,981	122.7
1,982	177.2
1,983	87.5
1,984	157.9
1,985	98.1
1,986	96.9
1,987	81.4
1,988	113.6
1,989	138.0
1,990	48.5
1,991	81.1
1,992	61.3
1,993	113.2
1,994	81.3
1,995	89.7
1,996	165.8
1,997	136.6
1,998	106.6
1,999	171.1
2,000	180.5
2,001	68.5
2,002	158.8
2,003	239.4
2,004	134.1
2,005	97.9
2,006	116.9
2,007	109.1
2,008	127.3
2,009	185.3
2,010	91.2
2,011	185.7
2,012	240.1
2,013	186.9
2,014	121.4
2,015	141.80
2,016	193.60

Fuente: PROPIA-EASYFIT



De la misma forma procedemos a completar los datos de precipitación mensual para cada mes del año según la mejor distribución probabilística usando el software EasyFit.

En el siguiente cuadro se muestra el histórico de datos de precipitación mensual completados.

Tabla 33 Histórico de datos de precipitación mensual de la estación de Curahuasi completado

REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
(mm)

Estacion : **CURAHUASI** Latitud : 13° 33' 08" S Departamento : Apurimac
 Tipo : CO-677 Longitud : 72° 44' 05" W Provincia : Abancay
 Altitud : 2763 msnm Distrito : Curahuasi

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	42.0	90.0	162.0	33.6	13.0	0.0	5.2	0.0	60.0	22.1	34.3	42.6	504.8
2	1,965	85.2	158.7	113.0	48.0	8.0	0.0	5.0	0.0	10.2	0.0	37.9	135.8	601.8
3	1,966	83.9	125.9	86.0	16.5	31.4	0.0	0.0	4.0	18.8	136.4	140.6	53.5	697.0
4	1,967	87.7	115.5	252.1	66.6	15.6	0.2	14.7	6.3	15.3	68.0	35.5	154.5	832.0
5	1,968	140.2	112.1	139.4	14.5	0.5	0.0	6.7	5.8	4.7	42.1	131.5	61.1	658.6
6	1,969	100.7	115.4	226.9	73.6	0.8	3.3	3.5	2.5	9.0	93.9	90.2	155.4	875.2
7	1,970	171.4	74.2	73.4	44.6	10.8	1.2	0.0	0.0	28.6	54.2	39.6	130.5	628.5
8	1,971	131.8	77.8	32.1	76.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	84.8	58.2	502.6
9	1,972	117.3	121.7	98.5	48.5	0.4	0.0	12.9	57.9	12.6	20.9	23.2	90.5	604.4
10	1,973	87.7	74.9	128.9	43.7	2.8	0.0	3.9	3.0	20.9	23.2	90.5	35.8	515.3
11	1,974	80.3	108.2	104.4	31.6	8.0	7.9	5.0	14.3	0.5	11.8	17.6	30.3	419.9
12	1,975	26.6	42.4	60.6	30.6	4.7	2.0	1.3	4.8	9.5	20.6	4.3	197.0	404.4
13	1,976	159.0	119.2	141.8	49.2	0.5	7.9	2.0	7.3	30.4	27.8	25.2	65.1	635.4
14	1,977	75.0	121.1	107.1	11.6	5.1	0.0	3.8	0.0	10.6	81.6	133.2	113.5	662.6
15	1,978	124.0	170.4	93.2	25.1	1.1	2.8	0.0	0.3	16.6	20.0	145.0	77.7	676.2
16	1,979	42.3	104.3	116.8	35.9	4.5	0.0	1.2	4.8	11.7	13.4	111.9	109.2	556.0
17	1,980	46.5	99.4	83.1	9.6	4.1	0.0	5.6	0.0	0.0	26.1	63.1	137.3	474.8
18	1,981	114.7	122.7	63.7	46.8	0.0	6.0	0.9	18.3	24.5	53.0	145.7	173.1	769.4
19	1,982	206.4	177.2	113.1	30.4	0.0	3.4	0.0	13.6	4.7	8.7	125.1	55.2	737.8
20	1,983	138.5	87.5	67.8	45.8	4.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	53.7	93.8	492.7
21	1,984	182.1	157.9	147.3	74.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	72.4	120.6	90.2	857.2
22	1,985	129.1	98.1	145.5	93.3	35.9	10.9	2.5	0.3	9.5	33.4	78.3	99.8	736.5
23	1,986	98.3	96.9	157.5	34.0	6.8	0.0	0.0	9.2	29.9	26.8	34.4	54.4	548.2
24	1,987	150.4	81.4	27.1	54.1	11.6	0.0	5.0	0.0	5.0	41.3	43.1	63.9	482.9
25	1,988	178.6	113.6	124.6	71.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	82.7	97.5	710.2
26	1,989	86.8	138.0	75.2	39.0	6.3	3.0	0.3	15.1	30.0	86.8	89.3	124.0	693.7
27	1,990	37.1	48.5	27.1	24.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1	50.1	77.3	306.1
28	1,991	24.7	81.1	25.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3	41.8	246.5
29	1,992	40.0	61.3	29.0	37.9	0.0	0.0	0.0	24.7	10.8	42.1	54.0	85.0	384.8
30	1,993	164.5	113.2	119.4	71.0	6.4	0.0	5.1	38.8	0.0	40.1	124.0	164.6	847.1
31	1,994	157.6	81.3	59.7	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	229.3	95.6	155.5	798.0
32	1,995	129.1	89.7	139.5	34.5	6.8	0.0	0.0	0.0	5.9	4.4	105.8	119.2	634.9
33	1,996	120.9	165.8	77.1	48.7	0.8	0.0	0.0	21.4	17.9	64.1	62.2	63.7	642.6
34	1,997	171.3	136.6	115.1	21.2	18.2	0.0	0.0	19.2	4.7	14.2	91.3	129.3	721.1
35	1,998	176.0	106.6	85.7	12.7	2.2	3.9	0.0	1.7	2.2	35.1	35.8	99.3	561.2
36	1,999	182.3	171.1	119.8	60.0	8.1	3.8	2.0	0.0	27.7	64.9	65.1	107.0	811.8
37	2,000	202.8	180.5	85.8	22.2	7.1	11.2	16.0	14.1	15.5	51.5	40.5	124.9	772.1
38	2,001	197.2	68.5	127.9	23.3	13.5	0.0	12.6	23.1	4.0	48.5	81.1	69.3	669.0
39	2,002	114.3	158.8	107.2	87.4	15.0	7.2	32.2	12.9	27.4	102.4	108.0	106.0	878.8
40	2,003	168.2	239.4	198.1	43.3	6.3	2.0	0.4	14.4	16.6	33.0	112.0	145.2	978.9
41	2,004	123.8	134.1	67.7	47.9	17.9	4.0	14.5	12.4	43.9	46.9	75.8	171.7	760.6
42	2,005	77.7	97.9	102.0	28.7	2.7	0.0	11.2	2.1	8.7	31.5	66.9	141.4	570.8
43	2,006	183.0	116.9	103.9	77.0	0.0	6.0	0.0	1.1	3.1	51.4	87.8	120.0	750.2
44	2,007	75.6	109.1	151.6	19.1	7.0	0.0	7.8	1.5	1.0	47.4	84.1	174.5	678.7
45	2,008	107.5	127.3	109.4	18.7	8.4	6.3	0.0	11.1	5.5	48.2	93.3	152.1	687.8
46	2,009	84.2	185.3	86.5	47.1	13.0	0.0	4.6	5.8	13.5	36.5	119.4	95.0	690.9
47	2,010	175.5	91.2	114.6	35.5	7.1	0.0	1.8	4.6	9.9	43.0	58.7	113.0	654.9
48	2,011	145.9	185.7	152.4	52.2	5.4	1.5	6.8	18.6	33.4	37.2	90.4	102.8	832.3
49	2,012	135.9	240.1	209.5	69.2	0.0	5.6	7.0	1.4	16.8	57.0	36.8	233.6	1012.9
50	2,013	113.2	186.9	64.6	22.1	3.7	1.0	2.3	27.0	7.9	51.7	124.2	146.8	751.4
51	2,014	182.0	121.4	134.9	60.4	5.0	0.0	2.1	1.6	21.4	43.1	52.7	169.1	793.7
52	2,015	172.50	141.80	150.70	55.90	10.00	1.10	0.90	16.90	2.30	28.80	70.60	109.50	761.0
53	2,016	64.00	193.60	46.80	39.20	1.30	4.20	4.90	17.2	21.3	65.0	141.4	103.3	702.3
N° Datos		53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Media		121.0	123.4	108.5	42.3	7.1	2.0	4.0	8.7	13.2	45.2	78.7	109.8	663.7
Desv. Estanda		50.16	44.01	49.29	21.17	7.56	2.99	5.89	11.32	12.46	37.12	37.24	44.59	161.01
Coef. Variacion		41.45	35.68	45.41	50.09	107.03	147.13	147.47	130.73	94.49	82.20	47.33	40.60	24.26
Prec. Max.		206.4	240.1	252.1	93.3	35.9	11.2	32.2	57.9	60.0	229.3	145.7	233.6	252.1
Prec. Min.		24.7	42.4	25.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	30.3	0.0

Fuente: PROPIA

3.6.7 GENERACIÓN DE LOS CAUDALES MENSUALES POR EL MODELO LUTZ SCHOLZ

A continuación se procede a calcular los caudales con el modelo hidrológico que propone Lutz Scholz para la sierra peruana.

3.6.7.1 Parámetros morfométricos de la cuenca

A continuación, se tiene los parámetros morfométricos de la cuenca Asmayacu los cuales se calcularon en puntos anteriores.

Tabla 34 Parámetros morfométricos de la cuenca Asmayacu

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
De la superficie		
Area	km ²	29.758
Perímetro de la cuenca	km	26.952
Cotas		
Cota máxima	msnm	4500.000
Cota mínima	msnm	2775.705
Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	746535.062
Y centroide	m	8495200.263
Z centroide	msnm	3774.692
Altitud		
Altitud media	msnm	3774.692
Altitud más frecuente	msnm	4200.000
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3902.398
Pendiente		
pendiente promedio de la cuenca	%	32.749
De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal	km	11.997
Orden de la Red Hídrica	und	3.000
Longitud de la red hídrica	km	17.695
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.737
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	min	60.842
pendiente del cauce prinpal	%	12.089

Fuente: PROPIA

3.6.7.2 Datos básicos de la cuenca de estudio

De la cuenca Asmayacu se obtuvieron los siguientes datos:

- **Altura media de la cuenca (Hc)**

Este dato fue obtenido por medio del software ArcGIS y su valor es:

$$Hc = 3774 \text{ msnm.}$$

- **Latitud sur (Ls)**

Del software ArcGIS se obtuvo las coordenadas del centroide la cuenca:

Tabla 35 Coordenadas del centroide de la cuenca Asmayacu

Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	746535.062
Y centroide	m	8495200.263
Z centroide	msnm	3774.692

Fuente: PROPIA

Luego se hizo una conversión de coordenadas UTM a coordenada en grados minutos y segundos:

Ilustración 46 Conversión de coordenadas UTM a grados minutos y segundos

Conversor de coordenadas

UTM	Geográficas
X: 746535.0619	Longitud: 72.7214840075726
Y: 8495200.263	Latitud: 13.601423974215615
Zona: 18	
Hemisferio: <input type="radio"/> N <input checked="" type="radio"/> S	

Fuente: (Atlas Cajamarca, s.f.)

Donde la Latitud sur obtenida es:

$$Ls = 13.60142397 = 13^{\circ}36'05.1''$$

- **Radiación extraterrestre (Ra)**

Se realiza una hoja de cálculo para la interpolación mensual de la radiación según la Latitud sur de la cuenca de estudio.

Tabla 36 Cálculo de la radiación extraterrestre de la cuenca

RADIACION EXTRATERRESTRE Y N° HORAS SOL MMDP													
CUENCA DE ESTUDIO													
CUENCA		13°36'05.1"	→	13.60									
TABLA N°: Energía que alcanza el límite exterior de la atmósfera Ra en CAL/(Cm2 - Día)													
Latitud Sur	Lat. Sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	0	885	915	925	900	850	820	830	870	905	910	890	875
5°	5	965	960	915	840	755	710	730	795	875	935	955	960
10°	10	1020	975	885	765	650	590	615	705	820	930	1000	1025
20°	20	1050	965	830	665	525	460	480	595	750	900	1020	1065
30°	30	1055	925	740	545	390	315	345	465	650	840	995	1080
40°	40	1035	865	640	415	250	180	205	325	525	760	975	1075
Fuente:													
Cuenca	13.60	1,030.80	971.40	865.19	728.99	604.98	543.18	566.38	665.38	794.79	919.20	1,007.20	1,039.41
TABLA N° : Numero de Horas de Sol Maxima Media Diaria Probable para diferentes Meses y Latitudes Sur (D)													
Latitud Sur	Latitud Sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	0	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10
5°	5	12.30	12.30	12.10	12.00	11.90	11.80	11.80	11.90	12.00	12.20	12.30	12.40
10°	10	12.60	12.40	12.10	11.80	11.60	11.50	11.60	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70
15°	15	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00
20°	20	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	10.90	11.00	11.50	12.00	12.60	13.10	13.30
25°	25	13.50	13.00	12.30	11.60	10.90	10.60	10.70	11.30	12.00	12.70	13.30	13.70
30°	30	13.90	13.20	12.40	11.50	10.60	10.20	10.40	11.10	12.00	12.90	13.60	14.00
35°	35	14.30	13.50	12.40	11.30	10.30	9.80	10.10	11.00	11.90	13.10	14.00	14.50
40°	40	14.70	13.70	12.50	11.20	10.00	9.30	9.60	10.70	11.90	13.30	14.40	15.00
Fuente:													
Cuenca	13.60	12.82	12.54	12.17	11.83	11.46	11.28	11.38	11.63	12.00	12.47	12.72	12.92
TABLA N° : Factores de corrección e													
Latitud Sur	Latitud Sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5°	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10°	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15°	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20°	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25°	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30°	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35°	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40°	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
45°	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
50°	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41
Fuente:													
Cuenca	13.60	1.11	0.97	1.05	0.98	0.99	0.95	0.98	1.00	1.00	1.07	1.06	1.11
TABLA N° : Radiación Extraterrestre Media Diaria (RMD) Expresada en Equivalente de Evapotranspiración (mm/día) para diferentes latitudes y meses													
Latitud Sur	Latitud Sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	0	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	15.6	15.3	15.4	15.1	14.8
2°	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
4°	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
6°	6	15.8	16	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14	15	15.7	15.8	15.7
8°	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
10°	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12	12.4	13.5	14.3	15.9	16.2	16.2
12°	12	16.6	16.3	15.4	14	12.5	11.6	12	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
14°	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.5
16°	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
18°	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
20°	20	17.3	16.5	15	13	11	10	10.4	12	12.9	15.8	17	17.4
Fuente:													
Cuenca	13.60	16.66	16.40	15.32	13.74	12.18	11.28	11.68	12.96	14.54	15.80	16.46	16.44
Días del Mes		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Radiac. X mes		516.46	459.20	474.92	412.20	377.57	338.39	362.07	401.75	436.20	489.80	493.80	509.65
Radiac. Acum.													5272.01

Fuente: PROPIA

De donde se tiene que:

$$Ra = 5272.01$$

- **Temperatura de la estación de referencia (Te)**

Según el Plan Meris Inka, (1995) la temperatura de la estación con influencia sobre nuestra cuenca de estudio es:

$$Te = 16.20 \text{ }^\circ\text{C.}$$

- **Altura de la estación (He)**

La altura de la estación según el Senamhi es:

$$He = 2763.0 \text{ msnm.}$$

- **Duración de la temporada seca (TD)**

Según Plan Meris Inka, (1995) se tiene que la duración de la temporada seca para esta zona comienza el 1 de Abril y termina el 31 de octubre, es decir tiene una duración de:

$$TD = 214 \text{ días.}$$

- **Precipitación Media de la cuenca (Pc)**

De la tabla de precipitación mensual completada (tabla N° 22) se tiene que la precipitación media Anual de la cuenca Asmayacu es:

$$Pc = 663.70$$

En el siguiente cuadro resumen se muestran todos los datos básicos que serán necesarios para el cálculo de los caudales por el modelo Lutz Scholz.

Tabla 37 Cuadro resumen: datos básicos de la cuenca

AR	=	29.758	Área de la cuenca (Km ²)
Hc	=	3774.692	Altura Media de la Cuenca (msnm)
LS	=	13°36'05.1"	Latitud Sur Centroide de la Cuenca (° ' ")
Ra	=	5272.012	Radiación extraterrestre para la cuenca (mm/año)
Te	=	16.200	Temperatura de estación de referencia
He	=	2763	Altura de estación de referencia
R	=	112.146	Retención de la Cuenca (mm/año)
TD	=	214	Duración de la Temporada Seca (días)
Pc	=	663.700	Precipitación Media de la Cuenca (mm/año)

Fuente: PROPIA

3.6.7.3 Cálculo de parámetros para la obtención de caudales mensuales

A continuación, se procede a calcular los parámetros para la obtención de los caudales, para ello es necesario aclarar que solo se desarrolla el proceso de cálculo para el año 1985, de la misma forma se procede para calcular los 30 años de indica esta investigación.

3.6.7.3.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial anual

Para la evapotranspiración potencial de la cuenca se usó la ecuación de Hargreaves que se muestra a continuación:

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

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

$$RSM = 0.0075(RA)\sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)}$$

$$EP = 0.0075 (0.075(RA)\sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)}) * (TF^\circ) * (1 + 0.06(AL))$$

Donde:

RSM : Radiación solar media

EP : Evapotranspiración potencial anual (mm/año)

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 (%)

(n/N) : 50 % (estimación en base a los registros)

AL : Elevación media de la cuenca (Km)

$$EP = 0.0075 (0.075(RA)\sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)}) * (TF^\circ) * (1 + 0.06(AL))$$

Aplicando la formula se tiene:

$$EP = 0.0075 (0.075(5238.63)\sqrt{(50)}*(38.02)*(1 + 0.06(3774.69/1000))$$

$$EP = 1029.66 \text{ mm/año}$$

3.6.7.3.2 Determinación del coeficiente de escurrimiento “C” y el déficit de escurrimiento “D

Scholtz concluye 6 ecuaciones para el cálculo del coeficiente de escurrimiento para la región Cusco, en función de la precipitación, evapotranspiración y/o temperatura.

Se debe tener en cuenta que la cuenca de estudio se encuentra colindante al Cusco y que hidrográficamente forma parte de la cuenca alta del río Apurímac que transcurre por el departamento del Cusco y Apurimac, se podría considerar dichas ecuaciones propuestas por Scholtz para determinar el coeficiente de escurrimiento en esta cuenca, las ecuaciones se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 38 Formulas para la obtencion del coeficiente de escurrimiento

ECUACIONES PARA EL CALCULO DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	COEFICIENTE DE CORRELACION	C
$C_1 = 0.914 - 2.36E^{-4}P - 0.0581 T$	$r = 0.96$	$C_1 = 0.5337$
$C_2 = 0.682 - 0.0526 T - 1.36E^{-4} T^2$	$r = 0.92$	$C_2 = 0.4903$
$C_3 = 1.813 - 1.87E^{-4} P - 1.12E^{-3} EP$	$r = 0.93$	$C_3 = 0.5289$
$C_4 = 5.21 - 7.31E^{-3} EP + 2.68E^{-6} EP^2$	$r = 0.95$	$C_4 = 0.5313$
$C_5 = 3.16E^{12} P^{-0.571} EP^{-3.686}$	$r = 0.96$	$C_5 = 0.5867$
$C_6 = 6.47 - 0.0691 Ln(P) - 0.8 Ln(EP)$	$r = 0.92$	$C_6 = 0.4685$

Fuente: PROPIA

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

El coeficiente de escurrimiento asumido es el promedio de los 6 resultados de las ecuaciones mostradas con anterioridad.

$$C = 519$$

También se obtuvo el coeficiente de escurrimiento, calculándose previamente el Déficit de escurrimiento.

- **Déficit de escurrimiento (D):**

Se calcula con la siguiente formula:

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

Donde:

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

$$D = -1380 + 0.872 * (663.70) + 1.032 * (1029.66)$$

$$D = 261.53$$

- **Ecuación general de coeficiente de escurrimiento (C):**

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

Donde:

P = Precipitación total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento

Aplicando la formula se tiene:

$$C = \frac{663.70 - 261.53}{663.70}$$

$$C = 0.606$$

3.6.7.3.3 Determinación del Coeficiente de agotamiento

Lutz Scholz indica que, para determinar el coeficiente de agotamiento cuando no exista ningún aforo o solamente una observación, se utiliza una de las cuatro ecuaciones empíricas que propone. Es así que para calcular el coeficiente de agotamiento de la cuenca Asmayacu, se empleó la segunda ecuación propuesta



por Lutz Scholz, debido a que la cuenca de estudio, presenta una cobertura vegetal representativa de la puna (vegetación poco desarrollada).

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

Donde:

a: Coeficiente de agotamiento

A: Área de la cuenca

R: Retención de la cuenca

reemplazando en la formula se tiene que:

$$a = -0.00252 * \ln(29.758) + 0.023$$

$$a = 0.0026$$

A partir del valor del coeficiente de agotamiento "a" se determinó b_0 mediante la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

Que muestra que los caudales durante la estación seca, están relacionados al mes anterior por la siguiente relación, cuando se cuenta el mes por 30 días.

$$b_0 = \frac{Q_t}{Q_0}$$

$$\frac{Q_t}{Q_0} = e^{-at}$$

Reemplazando se tiene:

$$b_0 = e^{-a(30)}$$

Dónde:

Q_t = Descarga en el tiempo t

Q_0 = Descarga inicial

a = Coeficiente de agotamiento

t = tiempo

b_0 = relación del caudal del mes actual y mes anterior

$$b_0 = e^{-at}$$

$$b_0 = e^{-0.0026(30)}$$

$$b_0 = 0.92496$$

3.6.7.3.4 Cálculo del coeficiente de agotamiento mediante aforos

Lutz Scholz indica que cuando se disponga de información sobre el caudal aforado durante el periodo de estación seca es posible determinar el coeficiente de agotamiento a partir de la siguiente formula:

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

Por nuestra cuenta, realizamos aforos en el punto de interés (puente Asmayacu) los caudales y las fechas de aforos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 39 Aforos realizados al río Asmayacu

Fecha	Caudal (l/s)
15/05/2016	0.171
28/06/2016	0.168
29/07/2016	0.165
30/08/2016	0.161
07/10/2016	0.159

Fuente: PROPIA

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del coeficiente de agotamiento calculado mediante los aforos realizados a lo largo de la investigación.

Tabla 40 Cálculo de coeficiente de agotamiento por medio de aforos

Periodo (días)	Fecha	Caudal (l/s)	a (1/día)
	15/05/2016	0.171	
44	28/06/2016	0.168	0.000402
31	29/07/2016	0.165	0.000581
32	30/08/2016	0.161	0.000767
38	07/10/2016	0.159	0.000329
		a =	0.000529

Fuente: PROPIA

Para proseguir con el cálculo de los caudales por el modelo hidrológico Lutz Scholz, asumimos el valor del coeficiente de agotamiento:

$$a = 0.000529$$

3.6.7.3.5 Retención de la cuenca (R)

Para el cálculo de la retención de la cuenca se elaboró el siguiente cuadro donde se muestra las láminas de aguas (mm/año) que retiene una cierta área según la pendiente de terreno que posee.

Según Scholz los suelos con baja pendiente acumulan mayor cantidad de láminas de agua y las áreas que tienen pendiente mayor a 15% simplemente no las considera, en el siguiente cuadro se muestra las láminas de agua que acumula un suelo según la pendiente del suelo.

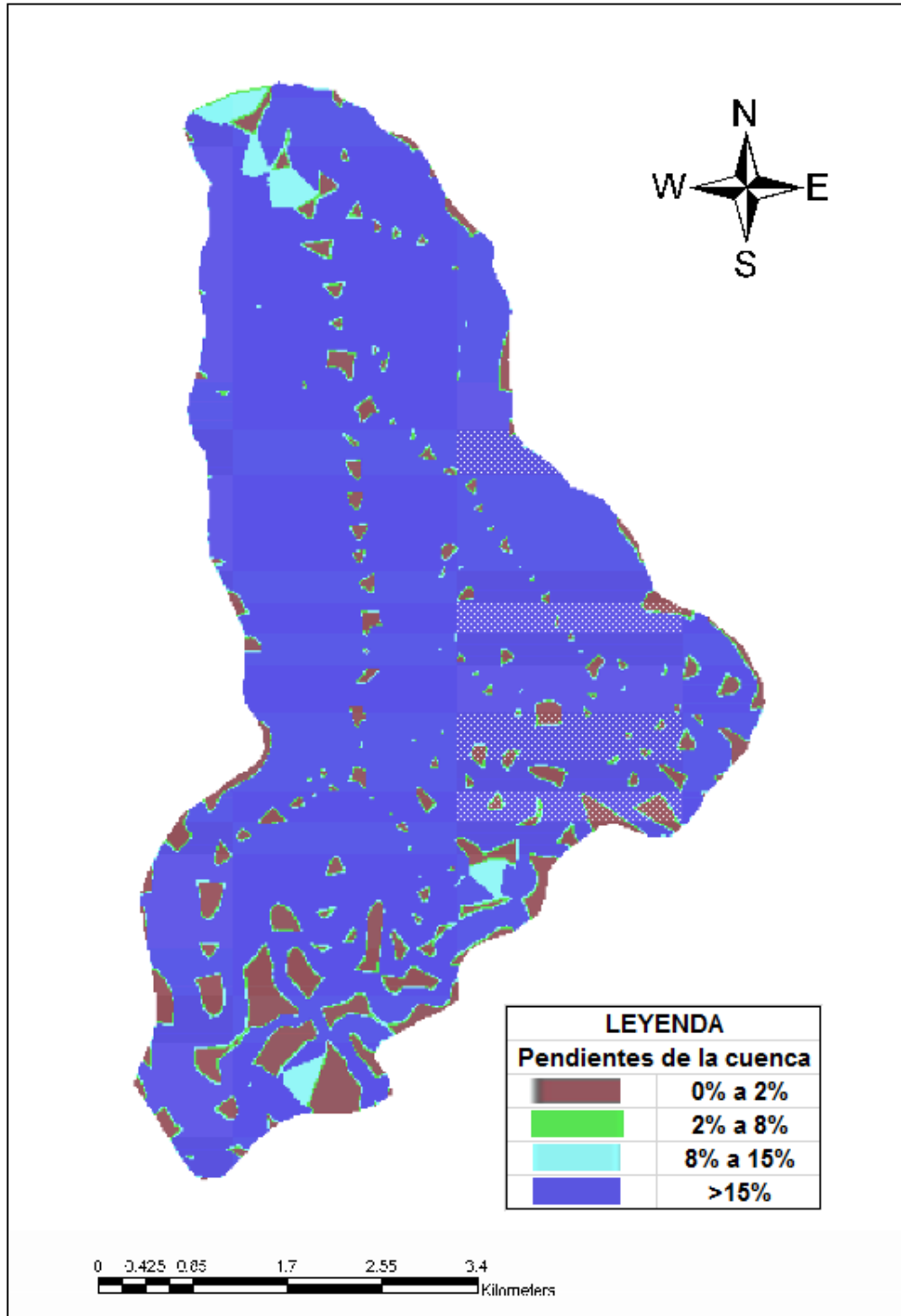
Tabla 41 Lámina de agua según la pendiente del suelo

Tipo	Descripción	Porcentaje (%)	Lamina (mm/año)
Lagunas - Pantanos	----		500
Napa Freatica	Pend. < 2%	Pend. Cuenca 0 - 2 %	300
	Pend. < 8%	Pend. Cuenca 2 < 8 %	250
	Pend. < 15%	Pend. Cuenca 8 < 15 %	200
Nevados	----		500

Fuente: PROPIA

Se muestra en el siguiente mapa las zonas diferenciadas según la pendiente del terreno.

Ilustración 47 Pendientes de la cuenca



Fuente: PROPIA

Las zonas de mayor retención de aguas son las lagunas, pantanos y los nevados que tienen una retención de 500 mm/año.

Las lagunas que existen dentro de la cuenca Asmayacu son 5 y se muestran sus extensiones en la tabla siguiente:

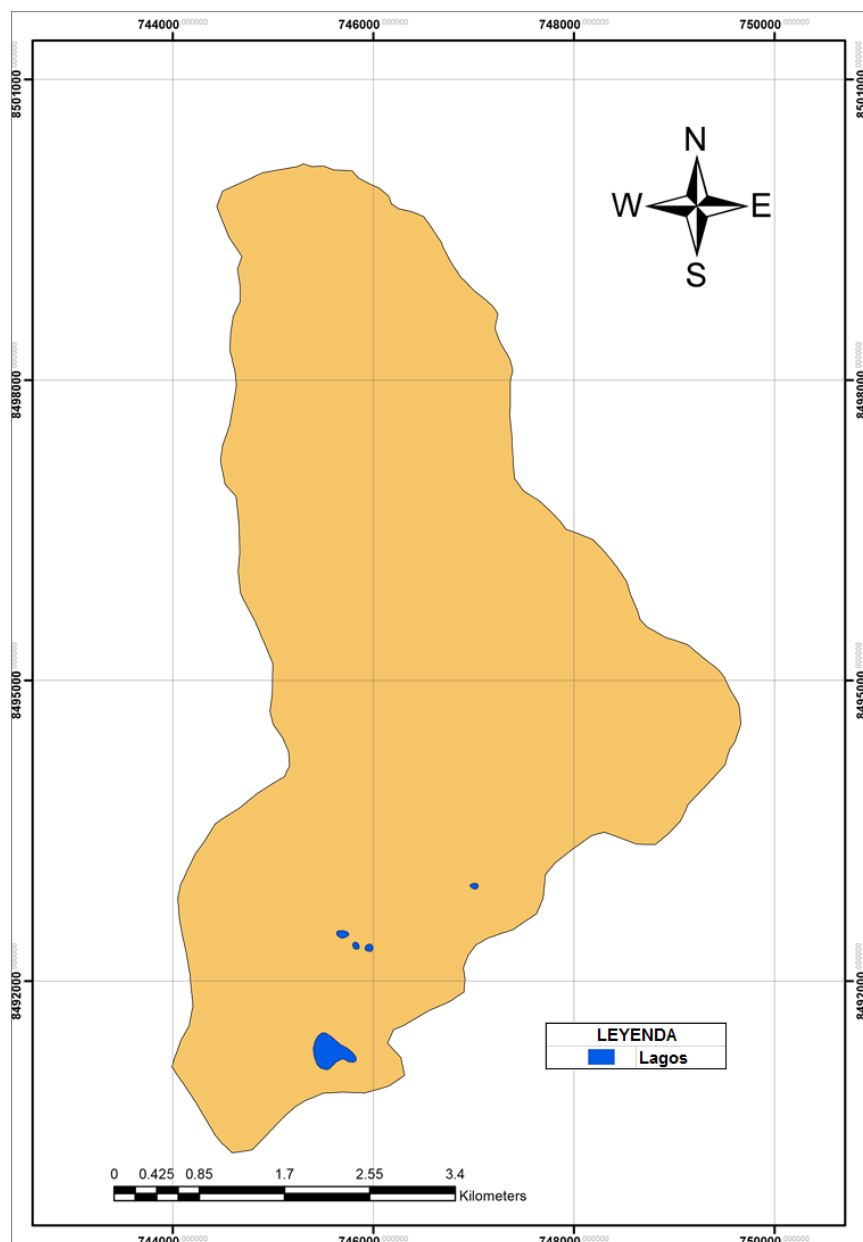
Tabla 42 Áreas de los lagos y lagunas

Nombre	Area de Lagos (km ²)
Ccelhua ccocha	0.09148
Tinqui ccocha bajo	0.00434
Tinqui ccocha medio	0.00364
Tinqui ccocha alto	0.00663
Ronto ccocha	0.00351
Area total	0.10959

Fuente: PROPIA

A continuación, mostramos los lagos y lagunas existentes en la cuenca de estudio en la siguiente figura.

Ilustración 48 Lagos y lagunas de la cuenca asmayacu



Fuente: PROPIA

Se aprecia que los lagos en la cuenca son muy pequeños destacando el lago Ccelhua ccocha que tiene la mayor extensión.

Tabla 43 Cálculo de la retención de la cuenca Asmayacu

Tipo	Descripción	Porcentaje (%)	Lamina (mm/año)	Area (Km2)	Total
Lagunas - Pantanos	----		500	0.110	55
Napa Freatica	Pend. < 2%	Pend. Cuenca 0 - 2 %	300	6.462	1938
	Pend. < 8%	Pend. Cuenca 2 < 8 %	250	3.689	922
	Pend. < 15%	Pend. Cuenca 8 < 15 %	200	2.108	422
Nevados	----		500	0	0
				Σ=	3337.3
				R=	112.15

Fuente: PROPIA

Del cuadro se obtiene que la retención de la cuenca tiene un valor de:

$$R = 112.15 \text{ mm/año.}$$

3.6.7.3.6 Precipitación efectiva

Las precipitaciones efectivas (PE) se determinan para las 3 curvas propuestas por Lutz Scholz, (PEI, PEII, PEIII) y para una cuarta curva empleada en la práctica para la PE IV, considerándose que si P (precipitación mensual) cumple con las siguientes condiciones:

$$\text{CURVA I: Si } P \geq 177,8 \text{ mm/mes}$$

$$\text{CURVA II: Si } P \geq 152,4 \text{ mm/mes}$$

$$\text{CURVA III: Si } P \geq 127,0 \text{ mm/mes}$$

Dichas precipitaciones fueron calculadas empleando las ecuaciones respectivas citadas a continuación:

$$\text{CURVA I: Si } P \geq 177,8 \text{ mm/mes} \quad \text{PE I} = P - 120,60 \text{ (mm/mes)}$$

$$\text{CURVA II: Si } P \geq 152,4 \text{ mm/mes} \quad \text{PE II} = P - 86,40 \text{ (mm/mes)}$$

$$\text{CURVA III: Si } P \geq 127,0 \text{ mm/mes} \quad \text{PE III} = P - 59,70 \text{ (mm/mes).}$$

En caso de no cumplir con las condiciones mencionadas, fueron calculadas a partir del siguiente 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

Posteriormente para el cálculo de la precipitación efectiva mensual, se verificó la condición:

$$C1 + C2 = 1$$

Ambos coeficientes deben ser positivos.

Para el modelo Lutz Scholz se debe tener un coeficiente de escorrentía $C < 0.45$.

En el cálculo de la precipitación efectiva, para este escenario, se debe incidir que Lutz Scholz planteó únicamente la aplicación de las curvas I, II, y III para determinar la precipitación efectiva entre las curvas I y II o entre las curvas II y III, en base al valor del coeficiente de escorrentía C entre 0.15 y 0.45, sin embargo en este estudio se observó, para este escenario, que el valor de $C = 0.519$, se encontraría fuera de estas 3 curvas por lo que para determinar la PE, fue necesario aplicar una cuarta curva empleada en la práctica.

Los coeficientes c_1 y c_2 , determinados para este escenario se muestran a continuación:

$$c_1 = \frac{C * P - PE_{i+1}}{PE_i - PE_{i+1}} \quad c_2 = \frac{C * P - PE_i}{PE_{i+1} - PE_i}$$

Entre la curva I y II

$$c_1 = \frac{C * P - PE_{II}}{PE_I - PE_{II}} \quad c_2 = \frac{C * P - PE_I}{PE_{II} - PE_I}$$

$$C1 = -1.574 \quad C2 = 2.574$$

NO CUMPLE ya que $C1 < 0$

Entre la curva II y III

$$c_1 = \frac{C * P - PE III}{PE II - PE III} \quad c_2 = \frac{C * P - PE II}{PE III - PE II}$$

$$C1 = -0.619 \quad C2 = 1.619$$

NO CUMPLE ya que $C1 < 0$

Entre la curva **III** y **IV**

$$c_1 = \frac{C * P - PE IV}{PE III - PE IV} \quad c_2 = \frac{C * P - PE III}{PE IV - PE III}$$

$$C1 = 0.469 \quad C2 = 0.531$$

SI CUMPLE ambas condiciones

$$\text{Condición 1:} \quad C1 > 0 \text{ Y } C2 > 0$$

$$\text{Condición 2:} \quad C1 + C2 = 1$$

C1 y C2 fueron obtenidos a partir de las curvas III y IV (PEIII y PEIV), siendo por tanto los valores para C1 y C2 los obtenidos anteriormente:

$$\mathbf{C1=0.469} \quad \mathbf{C2=0.531}$$

Por tanto, las precipitaciones efectivas mensuales (PE) se calcularon a partir de los valores de PEIII y PEIV aplicando la siguiente ecuación:

$$c_1 * PEIII + c_2 * PEIV = PE = C * P$$

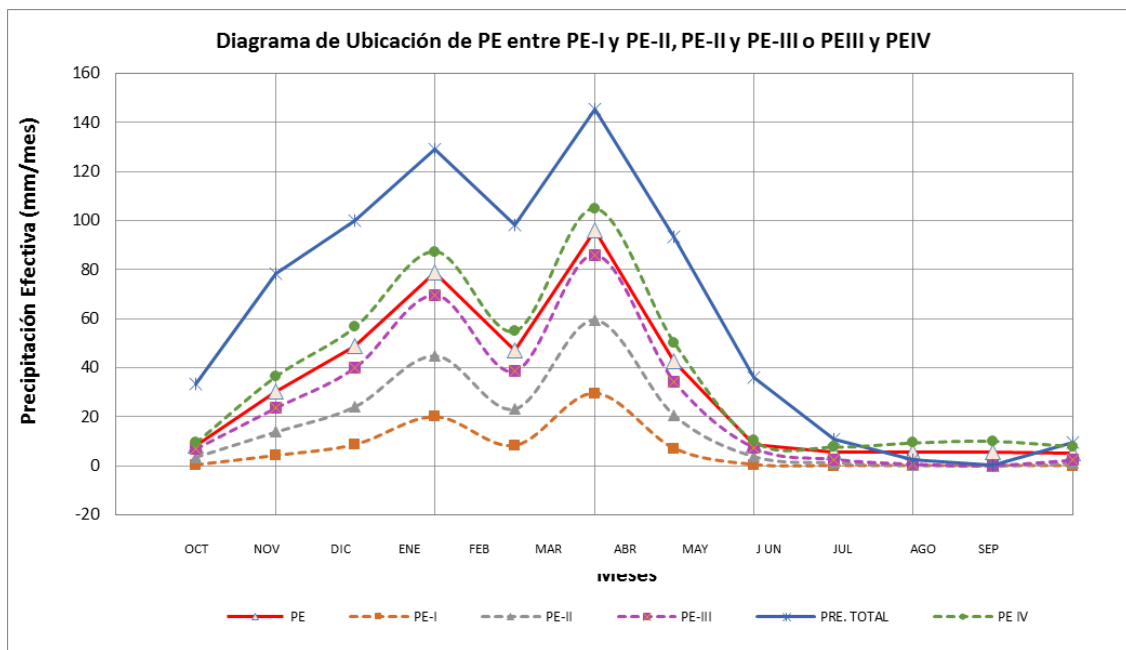
Tabla 44 Cálculo de las precipitaciones efectivas mensuales para el año 1985

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL						
		TOTAL P mm/mes	PE I (mm/mes)	PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE IV mm/mes	PE mm/mes
JUL	31	2.5	-0.10	0.00	0.30	0.60	9.47	5.31
AGO	31	0.3	0.00	0.00	0.00	0.10	10.13	5.43
SET	30	9.5	-0.10	0.00	1.10	2.30	7.95	5.30
OCT	31	33.4	0.30	0.30	3.50	6.80	9.43	8.20
NOV	30	78.3	4.10	4.10	13.80	23.40	36.32	30.26
DIC	31	99.8	8.60	8.60	24.20	39.90	56.58	48.76
ENE	31	129.1	19.90	19.90	44.90	69.40	87.24	78.88
FEB	28	98.1	8.20	8.20	23.20	38.40	54.88	47.16
MAR	31	145.5	29.50	29.50	59.50	85.80	104.69	95.84
ABR	30	93.3	7.00	7.00	20.60	34.30	50.15	42.72
MAY	31	35.9	0.40	0.40	3.80	7.30	10.16	8.82
JUN	30	10.9	-0.10	0.00	1.20	2.60	7.75	5.34
TOTAL		736.6	77.7	78.0	196.1	310.9	444.7	382.0

Fuente: PROPIA

En la tabla se resaltan las precipitaciones efectivas de las curvas PE III Y PE IV, debido a que los valores de C1 y C2 indican que la precipitación efectiva esta dentro de estas 2 curvas.

Ilustración 49 Precipitaciones efectivas (1985)



Fuente: PROPIA

3.6.7.3.7 Gasto de la retención

Para calcular el gasto de la retención, primero se determinó los coeficientes b_i para los meses correspondientes a la época seca (de abril a octubre) a partir de la siguiente relación:

$$b_i = b_0^i$$

Se sabe que:

$$b_0 = e^{-at}$$

Entonces:

$$b_i = (e^{-at})^i$$

Posteriormente, se calculó la contribución mensual de la retención durante la estación seca (gasto de la retención) mediante la relación siguiente:

$$G_i = \left(\frac{b_0^i}{\sum_{i=1}^m b_0^i} \right) * R$$

Donde:

b_0^i = relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial.

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

R = Retención de la cuenca.

Tabla 45 Valores de "i" para la temporada seca

MES	i
ABR	1
MAY	2
JUN	3
JUL	4
AGO	5
SET	6
OCT	7

Fuente: PROPIA

Con los valores de i procedemos a calcular el gasto de la retención.

Tabla 46 Cálculo del gasto mensual (1985)

MES	i	GASTO (mm/mes)	
		$bi = (e^{-at})^i$	$Gi = \left(\frac{b_0^i}{\sum_{i=1}^m b_0^i}\right) \cdot R$
JUL	4	0.94	16.00
AGO	5	0.92	15.75
SET	6	0.91	15.54
OCT	7	0.89	15.25
NOV		0.00	0.00
DIC		0.00	0.00
ENE		0.00	0.00
FEB		0.00	0.00
MAR		0.00	0.00
ABR	1	0.98	16.80
MAY	2	0.97	16.53
JUN	3	0.95	16.29
ANUAL (mm/año)		6.57	112

Fuente: PROPIA

3.6.7.3.8 Abastecimiento de la retención

Para la región Cusco, Scholz propone coeficientes de abastecimiento **ai** para el cálculo de caudales mensuales promedio, los cuales mostramos en el siguiente cuadro.

Tabla 47 Coeficientes de abastecimiento propuesto por Scholz para la región cusco

Región	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Σ
Cusco	0	5	35	40	20	0	100

Fuente: (Scholz, 1980)

Los coeficientes de agotamiento **ai** mostrados en el cuadro anterior se aplica para caudales medios mensuales, por el contrario, nuestra investigación busca calcular los caudales de cada mes de los 30 últimos años, para ello no es conveniente generalizar estos coeficientes.

Los coeficientes de abastecimiento que hemos visto por conveniente usar en esta investigación son obtenidos de la siguiente forma:

Hacemos una sumatoria de la precipitación mensual para cada año y ponderamos la incidencia de cada mes, de esta manera obtenemos los porcentajes para el coeficiente de abastecimiento para cada mes para 30 años diferentes, los cuales mostramos el cuadro siguiente:

Tabla 48 Coeficientes de abastecimiento propuesto para esta investigación

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Precipitación 1985 (mm)	129.1	98.1	145.5	93.3	35.9	10.9	2.5	0.3	9.5	33.4	78.3	99.8	736.5
ai (%)	0.175	0.133	0.197	0.127	0.049	0.015	0.003	0.000	0.013	0.045	0.106	0.136	1

Fuente: PROPIA

El abastecimiento de la retención fue determinado mediante la siguiente expresión:

$$Ai = a_i * R$$

Donde:

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

ai = coeficiente de abastecimiento (%)

R = Retención de la cuenca (mm/mes)

Aplicando la formula se obtuvo el siguiente cuadro con el abastecimiento mensual

Tabla 49 Calculo del abastecimiento mensual (1985)

ABASTECIMIENTO		
MES	ai	Ai (mm/mes) $Ai = \alpha_i * R$
JUL	0.003	0.381
AGO	0.000	0.046
SET	0.013	1.446
OCT	0.045	5.085
NOV	0.106	11.921
DIC	0.135	15.194
ENE	0.175	19.655
FEB	0.133	14.936
MAR	0.198	22.152
ABR	0.127	14.205
MAY	0.049	5.466
JUN	0.015	1.660
TOTAL	1.000	112.100

Fuente: PROPIA

3.6.7.3.9 Cálculo de los caudales mensuales

Una vez determinados los parámetros del balance hídrico: Precipitación efectiva (PE), Gasto (G), y Abastecimiento (A) se determinó los caudales para cada mes con la siguiente ecuación.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Dónde:

CM_i = Caudal del mes i (mm/mes)

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

G_i = Gasto de la retención en el mes i (mm/mes)

A_i = Abastecimiento en el mes i (mm/mes)

A continuación, se muestra el cálculo de los caudales mensuales del año 1985.

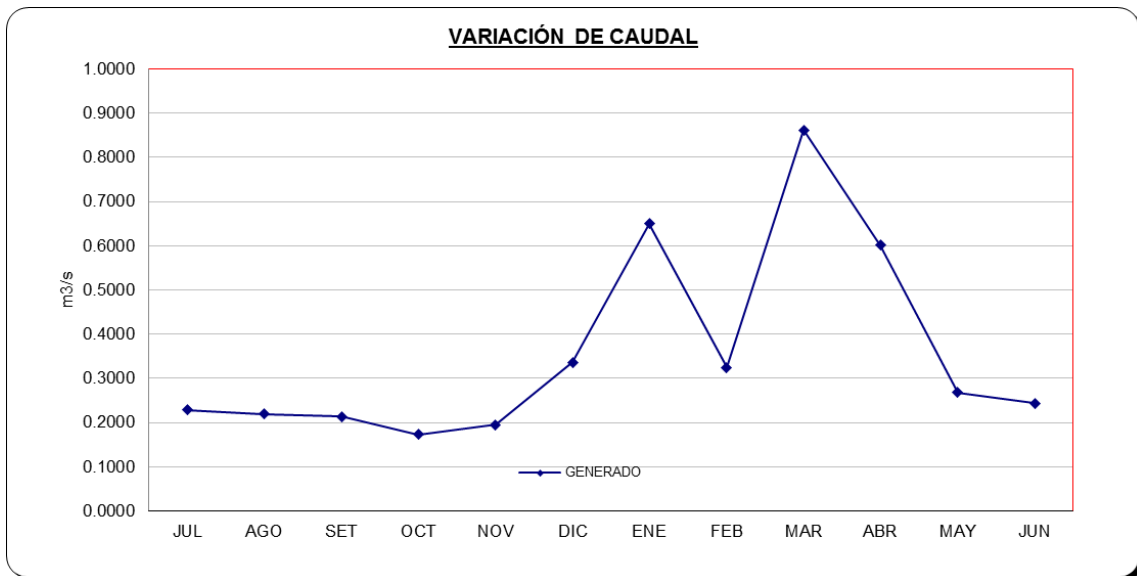
Tabla 50 Calculo de los caudales mensuales por el modelo hidrológico Lutz Scholz

PRECIPITACION					CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES MENSUALES	
MES	TOTAL P mm/mes	PE III mm/mes	PE IV mm/mes	PE mm/mes	G A S T O		ABASTECIMIENTO		mm/mes	m3/s
					bi $bi = (e^{-at})^i$	Gi (mm/mes) $Gi = \left(\frac{b_0^i}{\sum_{l=1}^m b_0^l}\right) * R$	ai	Ai (mm/mes) $Ai = \alpha_i * R$		
JUL	2.5	0.6	9.468	5.312	0.938	16.001	0.003	0.381	20.933	0.233
AGO	0.3	0.1	10.130	5.429	0.923	15.746	0.000	0.046	21.129	0.235
SET	9.5	2.3	7.945	5.300	0.911	15.542	0.013	1.446	19.395	0.223
OCT	33.4	6.8	9.428	8.197	0.893	15.246	0.045	5.085	18.358	0.204
NOV	78.3	23.4	36.316	30.263	0.000	0.000	0.106	11.921	18.342	0.211
DIC	99.8	39.9	56.583	48.765	0.000	0.000	0.135	15.194	33.570	0.373
ENE	129.1	69.4	87.238	78.878	0.000	0.000	0.175	19.655	59.223	0.658
FEB	98.1	38.4	54.880	47.157	0.000	0.000	0.133	14.936	32.221	0.396
MAR	145.5	85.8	104.694	95.839	0.000	0.000	0.198	22.152	73.687	0.819
ABR	93.3	34.3	50.150	42.722	0.985	16.803	0.127	14.205	45.320	0.520
MAY	35.9	7.3	10.161	8.820	0.968	16.526	0.049	5.466	19.880	0.221
JUN	10.9	2.6	7.748	5.335	0.954	16.287	0.015	1.660	19.963	0.229
TOTAL	736.6	310.9	444.7	382	6.571	112.2	1	112.1	382	0.36

Fuente: PROPIA

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del caudal mensual del río Asmayacu durante el año 1985, se puede apreciar que el comportamiento del caudal es similar al de la precipitación, también se puede diferenciar que presenta un caudal bajo durante los meses secos (Abril a Octubre) una crecida considerable en los meses lluviosos con una caída de caudal en el mes de febrero (como también pasa con la precipitación).

Ilustración 50 Variación del caudal (1985)



Fuente: PROPIA

Se obtuvieron los caudales para cada mes del año 1985 por el modelo hidrológico Lutz Scholz, de igual manera se procede a calcular los caudales de cada mes de los siguientes 30 años en la cuenca.



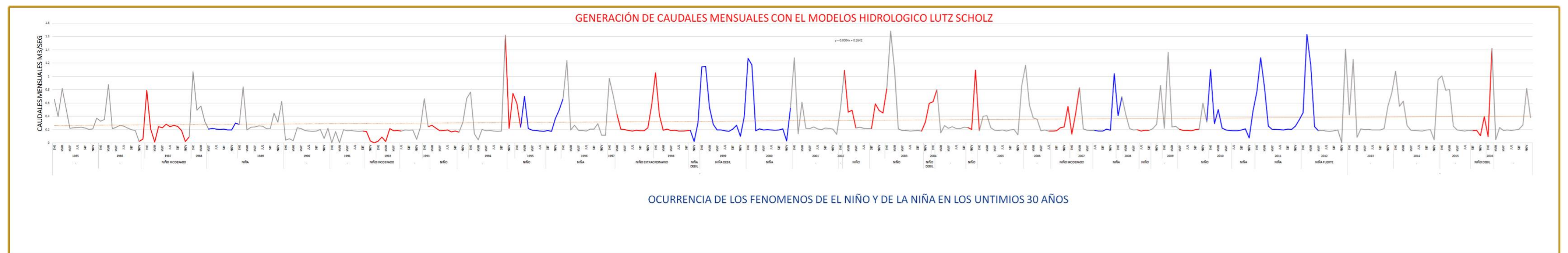
Tabla 51 Generación de caudales mensuales con el modelo Lutz Scholz desde 1985 hasta el 2016

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1985	0.658	0.396	0.819	0.520	0.221	0.229	0.233	0.235	0.223	0.204	0.211	0.373
1986	0.329	0.351	0.876	0.213	0.237	0.266	0.254	0.222	0.197	0.188	0.021	0.060
1987	0.789	0.213	0.014	0.245	0.227	0.280	0.246	0.265	0.248	0.189	0.023	0.091
1988	1.069	0.491	0.554	0.322	0.209	0.218	0.208	0.205	0.209	0.193	0.194	0.297
1989	0.279	0.841	0.195	0.237	0.242	0.257	0.254	0.215	0.212	0.448	0.309	0.622
1990	0.041	0.065	0.036	0.227	0.214	0.187	0.178	0.175	0.178	0.203	0.066	0.222
1991	0.001	0.170	0.000	0.199	0.184	0.187	0.178	0.175	0.178	0.169	0.032	0.000
1992	0.025	0.089	0.020	0.217	0.184	0.187	0.178	0.196	0.192	0.197	0.055	0.236
1993	0.667	0.246	0.265	0.224	0.184	0.187	0.193	0.168	0.178	0.163	0.309	0.668
1994	0.765	0.139	0.046	0.203	0.184	0.187	0.178	0.175	0.178	1.619	0.219	0.745
1995	0.600	0.238	0.700	0.215	0.192	0.187	0.178	0.175	0.186	0.175	0.369	0.497
1996	0.663	1.240	0.195	0.263	0.185	0.187	0.178	0.208	0.208	0.289	0.115	0.117
1997	0.972	0.714	0.432	0.209	0.199	0.187	0.178	0.191	0.184	0.182	0.227	0.576
1998	1.051	0.417	0.190	0.206	0.187	0.192	0.178	0.177	0.182	0.189	0.021	0.304
1999	1.144	1.147	0.532	0.275	0.196	0.194	0.181	0.175	0.207	0.267	0.102	0.395
2000	1.272	1.173	0.184	0.211	0.194	0.200	0.193	0.189	0.194	0.213	0.029	0.530
2001	1.281	0.139	0.611	0.218	0.215	0.241	0.211	0.200	0.225	0.220	0.205	0.130
2002	0.535	1.090	0.464	0.491	0.222	0.235	0.219	0.215	0.217	0.587	0.488	0.452
2003	0.818	1.681	1.112	0.211	0.188	0.188	0.178	0.182	0.186	0.180	0.313	0.594
2004	0.620	0.800	0.149	0.260	0.219	0.245	0.217	0.217	0.235	0.232	0.204	1.093
2005	0.183	0.402	0.408	0.226	0.190	0.187	0.195	0.178	0.194	0.204	0.123	0.861
2006	1.167	0.571	0.376	0.356	0.184	0.197	0.178	0.177	0.184	0.228	0.241	0.551
2007	0.132	0.444	0.828	0.211	0.193	0.187	0.188	0.177	0.179	0.208	0.191	1.041
2008	0.409	0.694	0.429	0.215	0.195	0.197	0.178	0.189	0.187	0.216	0.282	0.868
2009	0.220	1.360	0.240	0.248	0.204	0.187	0.187	0.184	0.199	0.208	0.601	0.314
2010	1.102	0.290	0.500	0.226	0.194	0.187	0.182	0.183	0.194	0.210	0.076	0.481
2011	0.770	1.281	0.833	0.253	0.202	0.205	0.197	0.197	0.209	0.202	0.252	0.347
2012	0.454	1.629	1.169	0.244	0.184	0.190	0.180	0.176	0.182	0.193	0.006	1.407
2013	0.423	1.255	0.085	0.213	0.199	0.202	0.193	0.196	0.196	0.217	0.553	0.750
2014	1.076	0.548	0.626	0.261	0.191	0.188	0.181	0.178	0.197	0.201	0.048	0.953
2015	1.008	0.793	0.801	0.252	0.196	0.189	0.179	0.191	0.182	0.192	0.110	0.393
2016	0.098	1.418	0.049	0.233	0.185	0.195	0.185	0.197	0.203	0.270	0.816	0.381
PROMEDIO	0.644	0.698	0.429	0.253	0.200	0.205	0.195	0.193	0.198	0.271	0.213	0.511

Fuente: PROPIA

Con los datos de la tabla anterior se procede a graficar el cuadro que muestra las variaciones de los caudales mensuales generados por el modelo hidrológico Lutz Scholz, indicándose los años que ocurrieron fenómenos del Niño y de la Niña en los últimos 30 años.

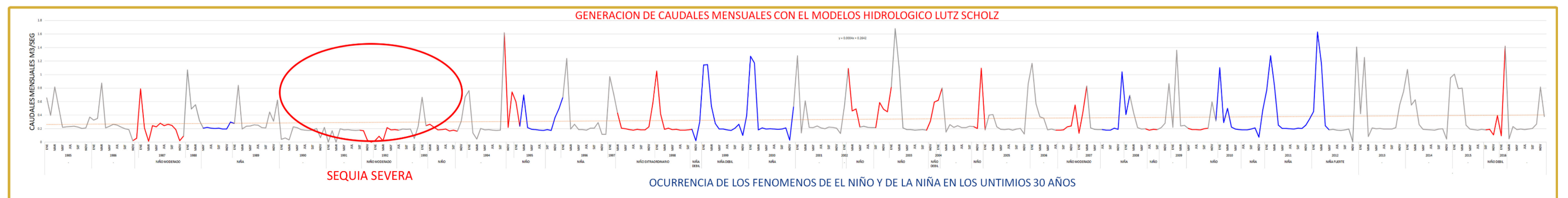
Ilustración 51 Variación de los caudales mensuales según el modelo Lutz Scholz en los últimos 30 años



Fuente: PROPIA

En la ilustración 53 el color rojo representa los caudales generados con presencia del Fenómeno del Niño y el color azul representa a los caudales generados con la presencia del fenómeno de la Niña.

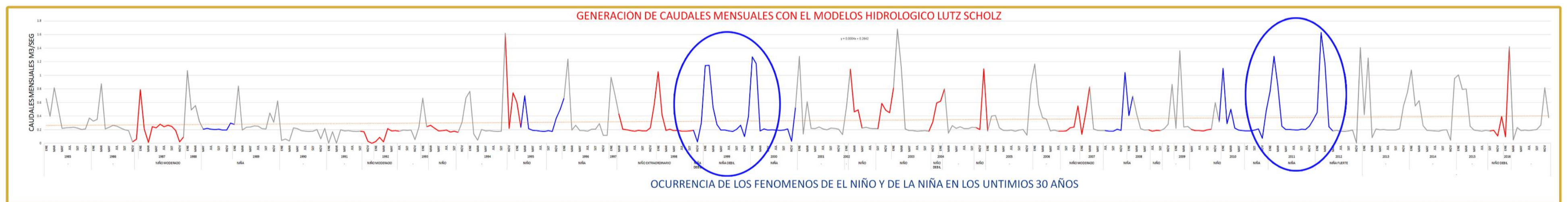
Ilustración 52 Sequia severa con fenómeno del niño



Fuente: PROPIA

En la ilustración 54 se muestra el periodo donde se presentó un evento de sequía severa en los años 1990-1991-1992, presentándose en este evento de sequía una ocurrencia del Fenómeno del Niño, teniendo una incidencia del 8.33% en los últimos 30 años.

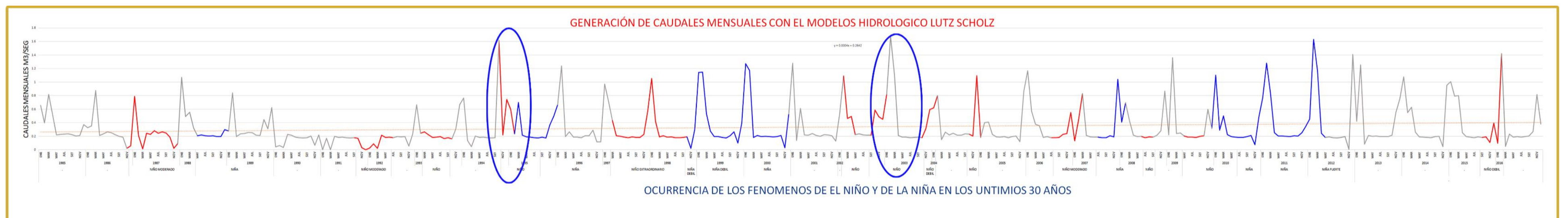
Ilustración 53 Incremento notable de caudales con fenómeno la Niña



Fuente: PROPIA

En la ilustración anterior mostramos la presencia del fenómeno de la Niña en los años (1999-2000) -(2011-2012) donde tuvo influencia este fenómeno, teniendo un porcentaje de incidencia del 33.33% en los últimos 30 años.

Ilustración 54 Máximos caudales sin fenómenos naturales



Fuente: PROPIA

En la ilustración 56 mostramos los máximos caudales pico sin la presencia del fenómeno de la Niña ocurridos en los años 1994 y 2003, siendo este último año el pico más alto de los caudales generados en los 30 años de estudio, demostrándose que estas alteraciones en los caudales no necesariamente se presentan con la presencia de fenómenos naturales.

3.6.8 CAUDALES MAXIMOS

3.6.8.1 Determinación del caudal máximo por el método racional modificado

- **Coeficiente de escorrentia**

Se calcula el coeficiente de escorrentia como indica el manual de hidrologia, hidraulica y drenaja del minsiterio nacional de transportes y comunicaciones, para el caudala maximo.

Para ello se necesitan los valores de la precipitacion maxima diaria y el numero de curva.

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23 * P_o)}{(P_d + 11 * P_o)^2} \quad (35)$$

C=	0.3001096
----	-----------

Donde:

P_d : Precitación máxima diaria (mm)

P_d = 48.54 mm consultar

P_o : Umbral de escorrentia = $\left(\frac{5000}{CN}\right) - 50$

CN = 77.5 para la cuenca de Asmayacu

CN : Número de curva

P_o = 14.516129

- **Coeficiente de simultaneidad o factor reductor (Ka)**

Para esto utiliza la siguiente ecuacion:

$$K_A = 1 - (\log_{10} A/15)$$

Donde:

A=	29.758144
----	-----------

El valor de Ka es:

Ka=	0.7024854
-----	-----------

- **Precipitación Máxima Corregida**

$$P = k_A P_d$$

Donde:

k_A : Factor reductor