

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**HIDRÁULICA**



**TESIS**

**“DISPONIBILIDAD HÍDRICA EMPLEANDO INFORMACIÓN CLIMÁTICA DE LA  
CUENCA RÍO AZUFRE, DISTRITO DE LA ENCAÑADA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO HIDRÁULICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. RONALD JHONY CHALÁN PÉREZ**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A Dios por otorgarme todo cuanto le pido, por darme la entereza y la fuerza todos los días.

A mis maestros, quienes aportaron con su conocimiento durante toda mi etapa de formación y fueron quienes me hicieron amar a mi carrera.

A mis padres quienes me dieron la educación, los valores y todo el cariño cuanto pueda pedir, a mis hermanos y sobrinos por comprenderme en los momentos difíciles.

Y a Zulema, mi compañera en este largo camino de vida universitaria, a quien agradezco su apoyo desinteresado, su confianza incesante, a quien admiro y por sobre todo amo profundamente.

## INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 UBICACIÓN	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 HIDROLOGÍA	4
2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	42
3.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS	42
3.2 ÁREA DE ESTUDIO	42
3.3 METODOLOGÍA	48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO CARTOGRÁFICO	53
4.2 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE LA CLIMATOLOGÍA	56
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1 CONCLUSIONES	63
5.2 RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
Anexo 1. PLANILLAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS	69
Anexo 2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	77

Anexo 3.	PLANILLAS DE REGISTRO DE PRECIPITACIONES AGRUPADAS POR PERIODOS	87
Anexo 4.	REGISTRO DE AFOROS:	89
Anexo 5.	CAUDALES MEDIOS MENSUALES GENERADOS PARA LA CUENCA AZUFRE	93

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo Hidrológico	5
Figura 2: Cuenca Hidrográfica	6
Figura 3: Demarcaciones hidrográficas	6
Figura 4: Delimitación de una cuenca convencional y sus componentes principales.	7
Figura 24: Orden de las corrientes	11
Figura 14: Hidrografía de la Cuenca Azufre	13
Figura 15: Mapa de Textura de Suelos	15
Figura 16: Mapa de Permeabilidad de Suelos	16
Figura 17: Suelos cultivados en la cabecera de cuenca	16
Figura 18: Mapa de Materia Orgánica en Suelos	17
Figura 19: Geología de las zonas altas de la cuenca	18
Figura 20: Erosión en las rocas volcánicas producto de las lluvias	18
Figura 21: Mapa Geológico de la cuenca Azufre y alrededores	19
Figura 22: Vista del valle y cañón Tres Tingos	21
Figura 5: Diagrama para el tratamiento de datos meteorológicos.	22
Figura 6: Aforo de un río con el método-Tubo de Pitot.	28
Figura 7: Ubicación Política de la Cuenca Azufre	43
Figura 8: Ubicación Administrativa	44
Figura 9: Ubicación Geográfica	45
Figura 10: Ubicación del punto emisor	46
Figura 11: Cañón Tres Tingos, Vista panorámica (confluencia de la Cuenca Azufre y el Río Grande)	47
Figura 12: Cañón Tres Tingos, Vista en perspectiva (confluencia de la Cuenca Azufre y el Río Grande)	47
Figura 13: Punto de aforo de la cuenca Azufre a 50 m de la confluencia.	48
Figura 23: Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio	49
Figura 25: Curva Hipsométrica	54
Figura 26: Frecuencia de altitudes	55
Figura 27: Mapa de Orden de Cauces	55
Figura 28: Precipitación media mensual (mm) para un año hidrológico	56

Figura 29: Precipitación sobre la cuenca Azufre	57
Figura 30: Caudal medio generado	61
Figura 31: Serie histórica PP total mensual E. A. Weberbauer.	77
Figura 32: Serie histórica PP total mensual E. Namora.	77
Figura 33: Serie histórica PP total mensual E. La Encañada.	77
Figura 34: Serie histórica PP total mensual E. Celendín.	78
Figura 35: Serie histórica PP total mensual E. Yanacocha.	78
Figura 36: Serie histórica PP total mensual E. Maqui Maqui.	78
Figura 37: Serie histórica PP total mensual E. La Quinua.	79
Figura 38: Serie histórica PP total mensual E. Carachugo.	79
Figura 39: Análisis de Doble Masa.	82
Figura 40: Análisis de Doble Masa Estación La Encañada.	83
Figura 41: Análisis de Doble Masa Estación Celendín.	83
Figura 42: Análisis de Doble Masa Estación Yanacocha.	84
Figura 43: Análisis de Doble Masa Estación Maqui Maqui.	84
Figura 44: Análisis de Doble Masa Estación La Quinua.	85
Figura 45: Análisis de Doble Masa Estación Carachugo.	85
Figura 46: Mapa de Isoyetas típica Enero Periodo 1976 - 1980	87
Figura 47: Mapa de Isoyetas típica Diciembre 2015	87
Figura 48: Caudales medios anuales generados para periodo extendido	97
Figura 49: Prueba de bondad	99

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 4: Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad	9
Tabla 1: Clasificación del USDA de las partículas según su tamaño	14
Tabla 2: Descripción del mapa geológico	20
Tabla 5: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias - (valores -ai %)	36
Tabla 3: Red de Estaciones Meteorológicas	48
Tabla 6: Parámetros de la Cuenca Azufre	53
Tabla 7: Temperaturas Medias	56
Tabla 8: Precipitación media multianual mensual (mm) de la cuenca Azufre (1976-2015)	56
Tabla 9: Valores para la aplicación del modelo	57
Tabla 10: Precipitación media efectiva mensual (mm) de la cuenca Azufre (1976-2015):	57
Tabla 11: parámetros para calcular la retención de la cuenca Azufre.	58
Tabla 12: Valores de la relación de caudales del flujo base, para meses de estiaje.	59
Tabla 13: Gasto de la retención para los meses de estiaje en la cuenca Azufre.	59
Tabla 14: Valores mensuales de Abastecimiento para la región Cajamarca.	59
Tabla 15: Abastecimiento de la retención para meses lluviosos.	60
Tabla 16: Caudales mensuales promedio generados	60
Tabla 17: Series y coeficientes estadísticos para la regresión múltiple	61
Tabla 18: Parámetros de regresión lineal múltiple.	62
Tabla 19: Precipitación Mensual completada Estación Augusto Weberbauer.	69
Tabla 20: Precipitación Mensual completada Estación La Encañada.	70
Tabla 21: Precipitación Mensual completada Estación Namora.	71
Tabla 22: Precipitación Mensual completada Estación Celendín.	72
Tabla 23: Precipitación Mensual completada Estación Yanacocha.	73
Tabla 24: Precipitación Mensual completada Estación Maqui Maqui.	74
Tabla 25: Precipitación Mensual completada Estación La Quinoa.	75
Tabla 26: Precipitación Mensual completada Estación Carachugo.	76
Tabla 27: Precipitación Mensual Anual Estaciones Índices	80
Tabla 28: Precipitación Mensual Anual de las Estaciones en estudio vs Estaciones Índices	81
Tabla 29: Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales	86
Tabla 30: Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales	86

Tabla 31: Precipitaciones Medias mensuales anuales agrupadas en periodo	88
Tabla 32: Precipitaciones Medias Areales	88
Tabla 33: Aforo N°01 06/01/2018	89
Tabla 34: Aforo N°02 13/01/2018	89
Tabla 35: Aforo N°03 20/01/2018	91
Tabla 36: Aforo N°03 10/10/2018	92
Tabla 37: Precipitaciones Efectivas Generadas	93
Tabla 38: Números aleatorios con Distribución Normal Estándar (0,1)	94
Tabla 39: Coeficientes de Regresión Múltiple	95
Tabla 40: Descargas medias mensuales	95
Tabla 41: Descargas medias mensuales generadas para periodo extendido.	96
Tabla 42: Prueba de bondad	98



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo estimar los caudales promedios mensuales de la cuenca Azufre, cuya principal finalidad es servir como base de información en la formulación de proyectos futuros que se encuentren involucrados con el aprovechamiento hídrico en la zona. Se basó fundamentalmente en la recopilación y procesamiento estadístico de información cartográfica e hidrológica y el posterior modelamiento hidrológico y generación de dichos caudales para un año promedio y además para un periodo extendido teniendo como punto de salida al cañón Tres Tingos ubicado en la confluencia con el río Grande. Para ello se aplicó una metodología descriptiva, recopilándose información cartográfica y climatológica de 40 años (1976 – 2015), se procesó y se caracterizó la cuenca de acuerdo a sus características geomorfológicas, además se determinó los valores para tanto la precipitación anual, como la precipitación mensual anual. Los cuales fueron datos claves para la aplicación del modelo determinístico estocástico Lutz Scholz, obteniéndose como resultados caudales estimados directamente relacionados con la precipitación. En conclusión, los meses que presentan los mayores caudales disponibles son marzo y abril con  $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$  (54.24 MMC) y  $1.73 \text{ m}^3/\text{s}$  (54.55 MMC), respectivamente. Por otro lado, los meses con el estiaje más acentuados y por ende con menos dotación de agua son agosto y septiembre con  $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$  (6.3 MMC) y  $0.26 \text{ m}^3/\text{s}$  (8.2 MMC) en el mismo orden.

**Palabras clave:** Cuenca del Río Azufre, Modelo Lutz Scholz, Caudales Medios Mensuales, Disponibilidad De Agua. Usos.

## SUMMARY

The objective of this research work is to estimate the monthly average flows of the Azufre basin, whose main purpose is to serve as a base of information in the formulation of future projects that are involved with the water use in the area. It was based fundamentally on the collection and statistical processing of cartographic and hydrological information and the subsequent hydrological modeling and generation of said flows for an average year and also for an extended period having as point of departure Tres Tingos canyon located at the confluence with the river Big. To this end, a descriptive methodology was applied, collecting cartographic and climatological information of 40 years (1976 - 2015), the basin was processed and characterized according to its geomorphological characteristics, and the values for both annual precipitation and precipitation were determined. annual monthly These were key data for the application of the Lutz Scholz stochastic deterministic model, obtaining as estimated flow results directly related to precipitation. In conclusion, the months with the highest available flows are March and April with  $1.72 \text{ m}^3 / \text{s}$  (54.24 MMC) and  $1.73 \text{ m}^3 / \text{s}$  (54.55 MMC), respectively. On the other hand, the months with the deepest estiaje and therefore with less water supply are August and September with  $0.20 \text{ m}^3 / \text{s}$  (6.3 MMC) and  $0.26 \text{ m}^3 / \text{s}$  (8.2 MMC) in the same order.

**Keywords:** Azufre River Basin, Lutz Scholz Model, Monthly Average Flows, Water Availability. Use.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La escasez del agua representa sin duda el principal desafío del siglo XXI a lo que la ingeniería deberá hacer frente, casi en la totalidad de actividades humanas dependen directa o indirectamente del vital recurso, además este problema se ve intensificado por factores como el cambio climático y el aumento demográfico desmedido, así como también por las actividades industriales y mineras que destruyen las fuentes de recarga. Frente a ello es necesario la construcción de infraestructura que permita aprovechar en lo posible mayores cantidades de agua dulce.

La lucha por el agua entre los usuarios en áreas como la agricultura, el mantenimiento de los ecosistemas, los asentamientos humanos, la industria y la producción de energía. Esto afectará a las aguas regionales, a la energía y a la seguridad alimentaria, y potencialmente a la seguridad geopolítica, e escalas. Los impactos potenciales en la actividad económica y el mercado del trabajo son reales y posiblemente graves. Muchas economías en desarrollo están ubicadas en lugares que sufren serios conflictos relacionados con el agua, en particular en África, Asia, América Latina y Oriente Medio. (INFORME DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL MUNDO, 2016).

El principal problema para una adecuada gestión del agua es quizá la falta de información hidrológica, la disponibilidad hídrica es fundamental para conocer los caudales promedios con los que cuenta una cuenca, es por ello que el presente estudio pretende estimar dicho parámetro de la Cuenca Río Azúfre, la cual se ubica entre los distritos de La Encañada y Cajamarca, del departamento de Cajamarca, puesto que se ha logrado apreciar que en la zona existe pobreza y falta de proyectos agrícolas que permitan potenciar sus principales actividades económicas, que en efecto son la ganadería y agricultura.

Para tales fines se ha optado por el empleo de un modelo hidrológico muy usado para este tipo de cuencas tanto por las limitaciones en cuanto a información, así como por la ubicación de nuestra cuenca en estudio (sierra peruana). El modelo Lutz Scholz ha sido muy estudiado y sus aplicaciones han resultado satisfactorias, para ello se ha reunido y procesado la información histórica correspondiente a 40 años.

## **1.1 PROBLEMA**

La falta de información hidrométrica dificulta el diseño, planeamiento y operación de los proyectos hidráulicos en la cuenca del río Azufre, ante ello surge la interrogante: ¿Es posible generar información por medio de modelos hidrológicos que puedan ser útiles ante tal problemática?

Para responder a ello observamos realidades semejantes y podemos afirmar que sí es posible, y para el particular caso de la presente investigación se plantea sintetizar caudales promedios aplicando los criterios que se aplican a cuencas típicas de la sierra peruana.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **- Objetivo General**

Estimar los caudales promedio mensuales de la cuenca del río Azufre empleando información climática.

### **- Objetivos Específicos**

- Recopilar y procesar información cartográfica.
- Recopilar y procesar información climática.
- Modelamiento hidrológico y generación de caudales mensuales promedio.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La cuenca del Río Azufre pertenece al Distrito de la Encañada, Provincia de Cajamarca y de acuerdo a datos del INEI cuenta con una población proyectada de 24 291 habitantes, donde el 95% pertenece al ámbito zona rural, el porcentaje de pobreza se estima en 78.5%, ubicándose como el segundo distrito más pobre de Cajamarca, y por ende uno de los más pobres del Perú. Su incipiente economía principalmente se apoya en la agricultura y la ganadería tradicional, las cuales no han mostrado progreso en las últimas décadas, pudiendo atribuirse quizás al mal manejo de cuenca y la falta de infraestructura que proporcione un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico.

## **1.4 UBICACIÓN**

En cuanto al área de estudio La cuenca Río Azufre políticamente se encuentra ubicada entre los distritos de Cajamarca y La encañada del Departamento de Cajamarca, al noroeste del Perú. Dentro de ella se encuentran principalmente el centro poblado de Combayo y Yacimientos Mineros propiedad de la empresa Minera Yanacocha S.R.L, así como también potenciales atractivos turísticos.

El tiempo en el que se realiza la investigación comprende al presente año 2018, y los resultados que se obtengan de la misma podrán servir de referencia por un lapso aproximado de 5 años a partir de este, considerando la injerencia de fenómenos naturales como el calentamiento global en los cambios abruptos de clima y comportamiento del ecosistema y teniendo además en consideración estudios similares llevados a cabo anteriormente.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 HIDROLOGÍA**

#### **a. CICLO HIDROLÓGICO**

La vida en nuestro planeta responde a una dinámica entre la atmósfera, el suelo y el agua, este último factor es el combustible que, gracias a su capacidad de modificar su estado de la materia dependiendo de la temperatura y la presión, hace posible el funcionamiento de todo el sistema mediante un proceso periódico o ciclo.

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, los animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado. (MADEREY, L. 2005)

El agua que encontramos en la atmósfera en forma de vapor (nubes) proviene casi en su totalidad del agua que se evapora del mar, otras pequeñas fuentes son la transpiración de plantas y animales, además de una ínfima parte que procede de la sublimación que ocurre en la superficie helada o banquisa. Esta humedad asciende por acción de los procesos termodinámicos y los vientos hacia la masa continental, donde se precipita en forma líquida (lluvia), sólida (nieve o granizo) y/o condensada (rocío). Del total de agua que cae al suelo, una cantidad de ella regresa a la atmósfera por acción de la evapotranspiración (evaporación + transpiración vegetal) otra parte discurre por la superficie formando la escorrentía superficial y escorrentía subterránea que es aquel porcentaje de agua que se infiltra, la primera alimentará las fuentes superficiales como ríos y la segunda lo hará a los acuíferos, ambas independientemente del tiempo lo harán a su vez al mar, cerrando así el ciclo.

Figura 1: Ciclo Hidrológico

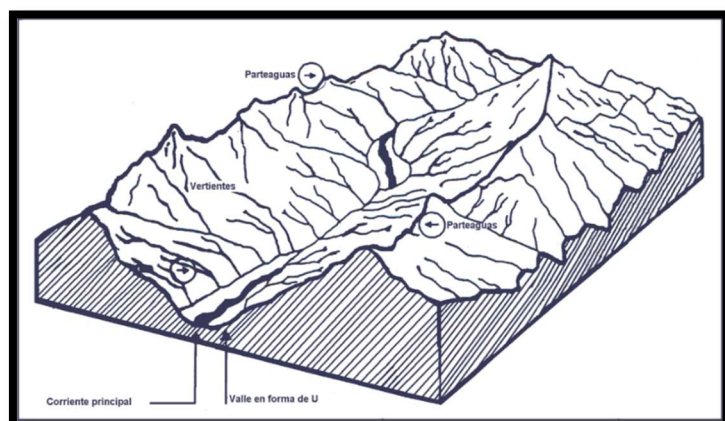


Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGS)

## b. CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica es un segmento de terreno demarcado geográficamente por divisorias de aguas, que corresponden a las cimas de las colinas o las cadenas montañosas que la rodean y sus componentes coluvio – aluviales, ladera abajo. Las cuencas son el resultado de procesos geomorfológicos. Entre ellos, se incluye patrones geológicos locales y modificaciones ocasionadas en la superficie del terreno por procesos tectónico - fluviales, que fácilmente son apreciables en mapas cartográficos o fotografías aéreas.

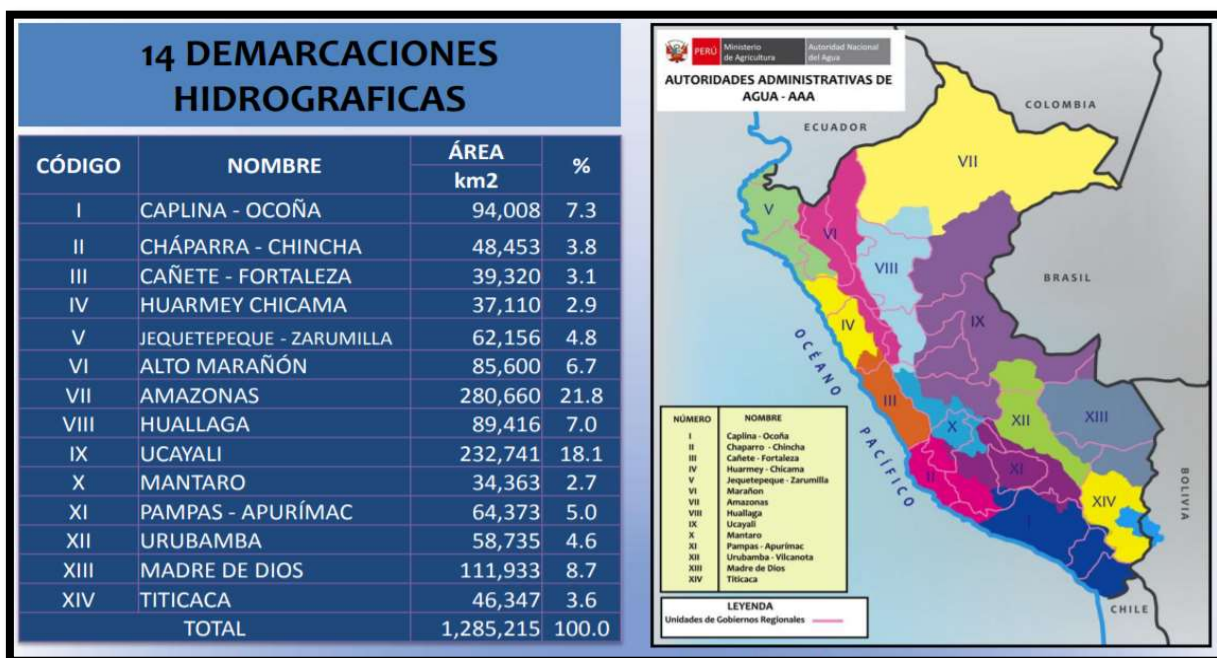
Figura 2: Cuenca Hidrográfica



Fuente: (SÁNCHEZ, A. 1987).

En el Perú La Autoridad Nacional del Agua ha identificado 159 unidades hidrográficas en tres grupos o vertientes: La vertiente del Atlántico, afluente del río Amazonas, ocupa un total del 74.6% del territorio nacional con 84 cuencas o unidades hidrográficas, La vertiente Pacífico que posee 62 cuencas en 21.8% del territorio nacional y la vertiente del Titicaca con un 3.6% del territorio nacional distribuido en 14 cuencas. El volumen de aporte anual promedio es de 1'768.172 MMC, el 4% del agua dulce de todo el mundo.

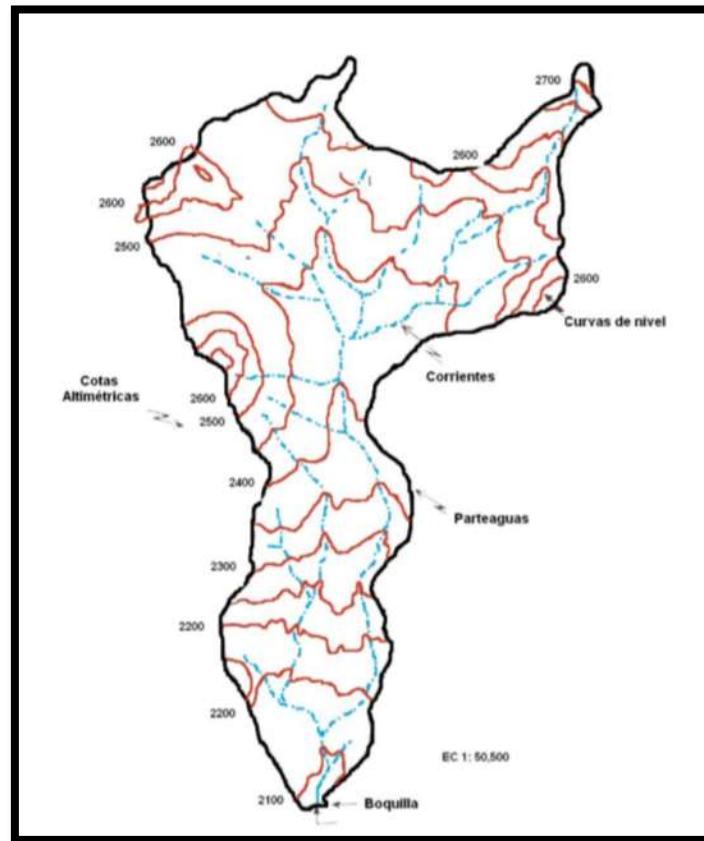
Figura 3: Demarcaciones hidrográficas



Fuente: AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



Figura 4: Delimitación de una cuenca convencional y sus componentes principales.



Fuente: (SÁNCHEZ, A. 1987).

### c. GEOMORFOMETRÍA DE LA CUENCA

El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. (GASPARI, F. 2012).

#### - Parámetros geométricos:

##### Área (A):

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa

normalmente en km<sup>2</sup>. Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor. (CARDONA, B. 2016).

**Perímetro (P):**

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros

**Longitud de la Cuenca (L):**

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

**Ancho de Cuenca (B):**

Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

**- Parámetros de forma:**

**Factor de Forma Horton (Kf)**

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. (HORTON, R. 1945).

**Coefficiente de Compacidad (Kc)**

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el

perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.

$$C_c = \frac{P}{P_c} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro:

Tabla 1: Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad

Clase de Forma	Índice de Compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval – redondeada
Clase II	1.26 a 1.50	Oval – Redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 o más de 2	Oval – oblonga a rectangular – oblonga

### Razón de Elongación (Re)

Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma. La fórmula es la propuesta por Shumm (1956):

$$Re = \frac{D}{L_c} = 1.1284 \frac{\sqrt{Ac}}{L_c} \quad (3)$$

Donde:  $Re$ , Es la relación de elongación o cociente adimensional entre:  $D$ , Diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca y  $L_c$ , Longitud de la cuenca.

### - Parámetros de relieve

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de esorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, algunos parámetros destacan:

### Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica o curva área - elevación se construye determinando el área entre curvas de nivel y representando en una gráfica el área acumulada por encima o por debajo de una cierta elevación.

### **Pendiente media de la cuenca**

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce.

Criterio de Alvord:

$$S_c = \frac{DL_c}{A} \quad (4)$$

Donde:  $S_c$ , Es la Pendiente de la cuenca;  $D$ , Es la equidistancia o desnivel constante entre curvas de nivel (km);  $A$ , Es el área de la cuenca, en  $\text{Km}^2$  y  $L_c$ , Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en km.

### **Pendiente del cauce principal**

La pendiente del curso de agua influye en los valores de descarga del río de forma significativa. Así, cuanto mayor es la pendiente, mayor será la velocidad del flujo. La pendiente se obtiene dividiendo, la diferencia total de elevación del lecho entre la longitud horizontal del curso de agua.

### **Coefficiente Orográfico**

Se considera aquí, por razones obvias, que el coeficiente orográfico constituye el parámetro adimensional de relieve más importante que controla el potencial o poder degradante de los sistemas hidrológicos y todo lo relacionado con la dinámica de los flujos superficiales gravitaciones inmersos en la transferencia de materia y energía. Visto de este modo, el coeficiente orográfico no sólo resulta útil en la evaluación de pérdida de suelo, sino también en la evaluación de potenciales hidroenergéticos disponibles en los sistemas hidrológicos. (ORTIZ, O. 2005).

$$C_o = \frac{H^2}{A} \quad (5)$$

Donde:  $C_o$ , es el coeficiente orográfico;  $H$ , Altitud media (m.s.n.m.) y  $A$ , es el área proyectada sobre un plano horizontal.

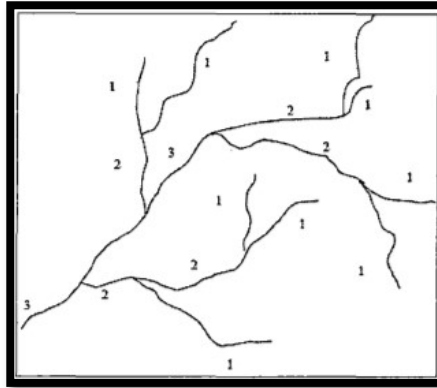
## **- Parámetros relativos al drenaje**

### **Orden de los cauces:**

Es una clasificación que refleja el grado de ramificación dentro de una cuenca. El método Horton - Strahler clasificó el orden de corrientes asignando el orden 1 a las más pequeñas, es

decir, aquellas que no están ramificadas, el orden 2 a las corrientes que sólo tienen ramificaciones o tributarios de primer orden, de orden 3 aquellos con dos o más tributarios de orden 2 o menor etc. (JIMENES, P 2011).

Figura 5: Orden de las corrientes



Fuente: (JIMENES, P. 2011).

### **Relación de confluencias (Rc):**

Una vez categorizada la red de drenaje, la relación de confluencias promedio resulta de relacionar el número de cauces de cierto orden “i” y el número de cauces de orden inmediatamente superior “i+1” y promediando luego todos los valores parciales, tal como lo expresan las ecuaciones (6). Los valores de relación de confluencias promedio conducen al análisis interpretativo de la geometría de la red de drenaje y su respuesta dinámica ante tormentas pluviales extraordinarias.

$$R_{ct} = \frac{N_i}{N_{i+1}}; \quad R_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1} R_{ci} \quad (6)$$

Donde:  $R_{ct}$ , es la relación de confluencia parcial;  $N_i$ , es el número de cursos de orden i;  $N_{i+1}$ , número de cursos de orden inmediatamente superior;  $R_c$ , es la relación de confluencias promedio y  $n$ , es el número de relaciones de confluencias parciales calculadas.

Valores bajos de relación de confluencias promedio corresponden a cuencas muy bien drenadas, de forma redondeada y redes muy ramificadas; contrariamente, los altos valores de relación de confluencias corresponden a cuencas de forma alargada, de bajo drenaje y redes poco ramificadas. (ORTIZ, O. 2015).

#### **d. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA AZUFRE**

##### **- Clima**

##### **Precipitación pluvial**

La precipitación promedio total anual varía entre 1 250 mm, el régimen de lluvias a lo largo del año presenta un período lluvioso de octubre a abril con un decaimiento leve en noviembre y diciembre y otro, de escasa precipitación entre los meses de mayo a septiembre, que alcanza sus niveles más bajos de junio a agosto, donde se registran valores inferiores a 10 mm/mes.

##### **Temperatura**

La temperatura máxima media mensual oscila entre 15.7°C y 19.3°C, valores que corresponden a los meses de marzo y enero, respectivamente, mientras que la temperatura mínima media mensual, se encuentran entre -1.2°C y 1.6°C, para los meses de agosto y marzo, respectivamente.

##### **Humedad relativa**

La humedad relativa varía entre un máximo de 85.8% registrado en el mes de marzo, hasta un mínimo de 63% medido en el mes de julio.

##### **Horas de sol**

De esta variable meteorológica, sólo se tiene información referida a la parte baja de las cuencas y del valle del Cajamarquino, donde se reporta que a nivel total mensual el menor valor medido es de 4.7 hrs y ocurre en el mes de marzo, mientras que el mayor valor ocurre en el mes de julio y es de 7.4 horas.

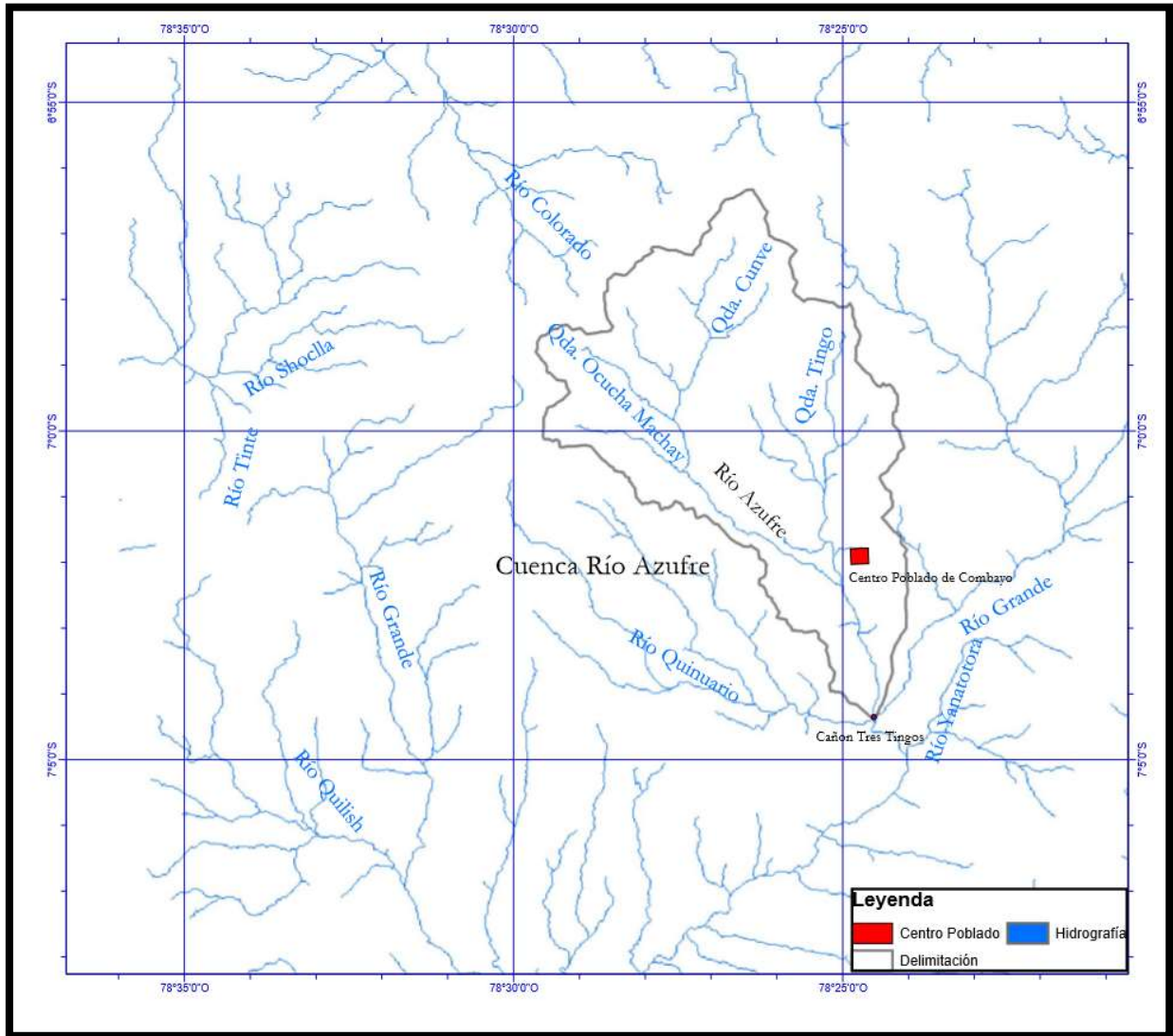
##### **Radiación solar**

En relación a esta variable, sólo se cuenta con información tomada en las partes bajas de la cuencas y el valle del Cajamarquino, donde a nivel total mensual, se reporta un menor valor de 16.4 (MJ/m<sup>2</sup>/d) medido en el mes de mayo, mientras que el mayor valor es de 19.0 (MJ/m<sup>2</sup>/d), ocurrido en el mes de noviembre.

### - Hidrografía de la cuenca

Las quebradas Tingo, Cumbe y Ocuca Machai conforman los afluentes más importantes del Azufre, antes de unirse a los ríos Quinuario y Grande en el cañón 3 tingos y unos pocos kilómetros aguas más abajo, recibe los aportes del río Yanatotora, a partir de la cual comienza a llamarse Río Chonta. Forma parte de la Macro Cuenca Crisnejas.

Figura 6: Hidrografía de la Cuenca Azufre



### - Suelos

De acuerdo a los estudios realizados en investigaciones anteriores por Sánchez, Cabanillas, Miranda, Poma, Díaz & Terrones contenidas en el libro 'La Jalca. (Ecosistema Frío del Noreste Peruano, Fundamentos Biológicos y Ecológicos)' (2006). Las cuales corresponden al distrito

minero de Yanacocha y a sus alrededores, lo cual abarca nuestra zona de estudio. Dentro de las características de suelo más importantes para nuestro estudio tenemos:

**Material Parental.-** En el caso de suelos no transportados (in situ), éste está constituido por materiales volcánicos extrusivos, ligeramente suaves y bastantes porosos; asimismo, se encuentran materiales ricos en cuarzo (cuarzitas) y fierro (ferruginosas). Los suelos transportados son desarrollados a partir de depósitos de materiales gruesos con presencia de piedras, gravas y gravillas. Éstos son de origen fluvio glaciario que toman la forma de morrenas o de depósitos de pie de monte.

**La Textura.** - La textura del suelo puede clasificarse de fina a gruesa. La textura fina indica una elevada proporción de partículas más finas como el limo y la arcilla. La textura gruesa indica una elevada proporción de arena.

Tabla 2: Clasificación del USDA de las partículas según su tamaño

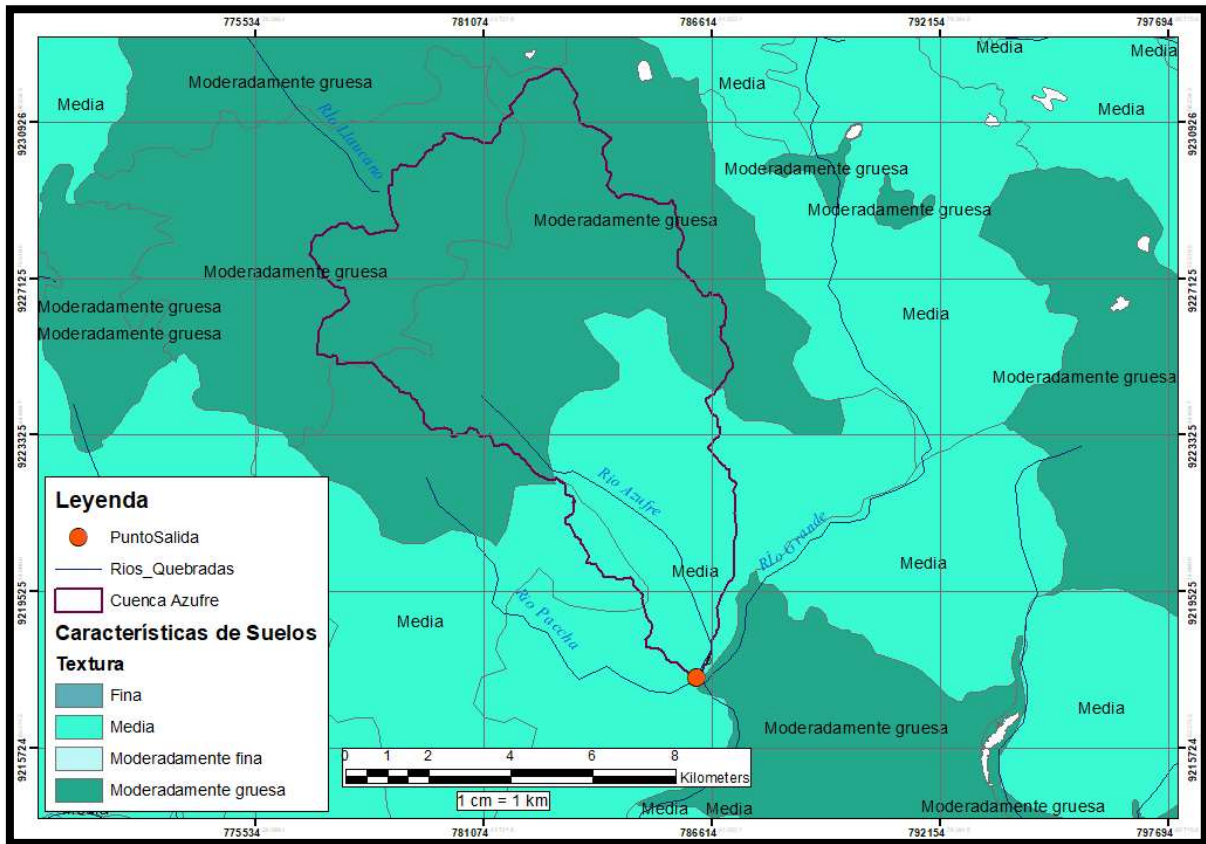
Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura mediana)	23-52	28-50	7-27	Franco
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

El siguiente mapa ha sido elaborado recogiendo la información proporcionada por la Sub Gerencia de Acondicionamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca, en el cual podemos apreciar que dentro de nuestra cuenca predominan dos tipos de textura, moderadamente gruesa (Franco Arenosos), predominante en la cabecera de cuenca y textura



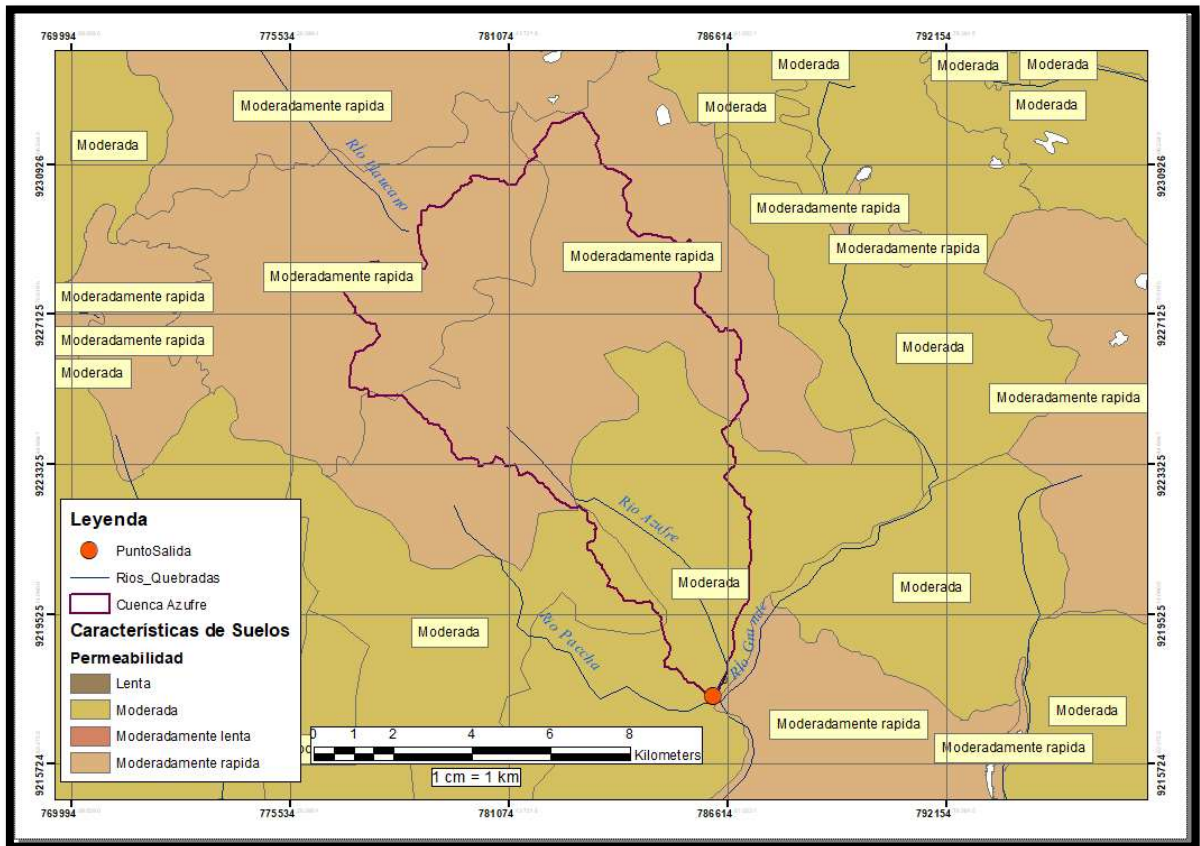
mediana (Suelos francos, franco limoso y limoso) en la parte baja, lo cual corresponde a una cuenca característica de pie de montaña, cabe mencionar que también existe presencia de suelos agrícolas en la parte alta de la cuenca, mismos que son cultivados por los agricultores de la zona.

Figura 7: Mapa de Textura de Suelos



**Permeabilidad.** - Se refiere a la capacidad que tiene el suelo de eliminar el exceso del agua. Se clasifica en moderadamente rápido, moderadamente lento, moderado y lento. Los suelos presentes en la cuenca de estudio son moderadamente rápidos en la cabecera de cuenca, lo que se justifica tratándose de material arenoso y grueso, por otro lado en la parte baja la permeabilidad se ve reducida por encontrarnos con materiales más finos, esto además se ve influenciada por las fuertes pendientes de la cuenca y el material franco arenoso presentes en la parte alta de la cuenca. Esto es un indicador de que existen fuentes que alimentan acuíferos en la parte baja y estas a las quebradas y ríos.

Figura 8: Mapa de Permeabilidad de Suelos

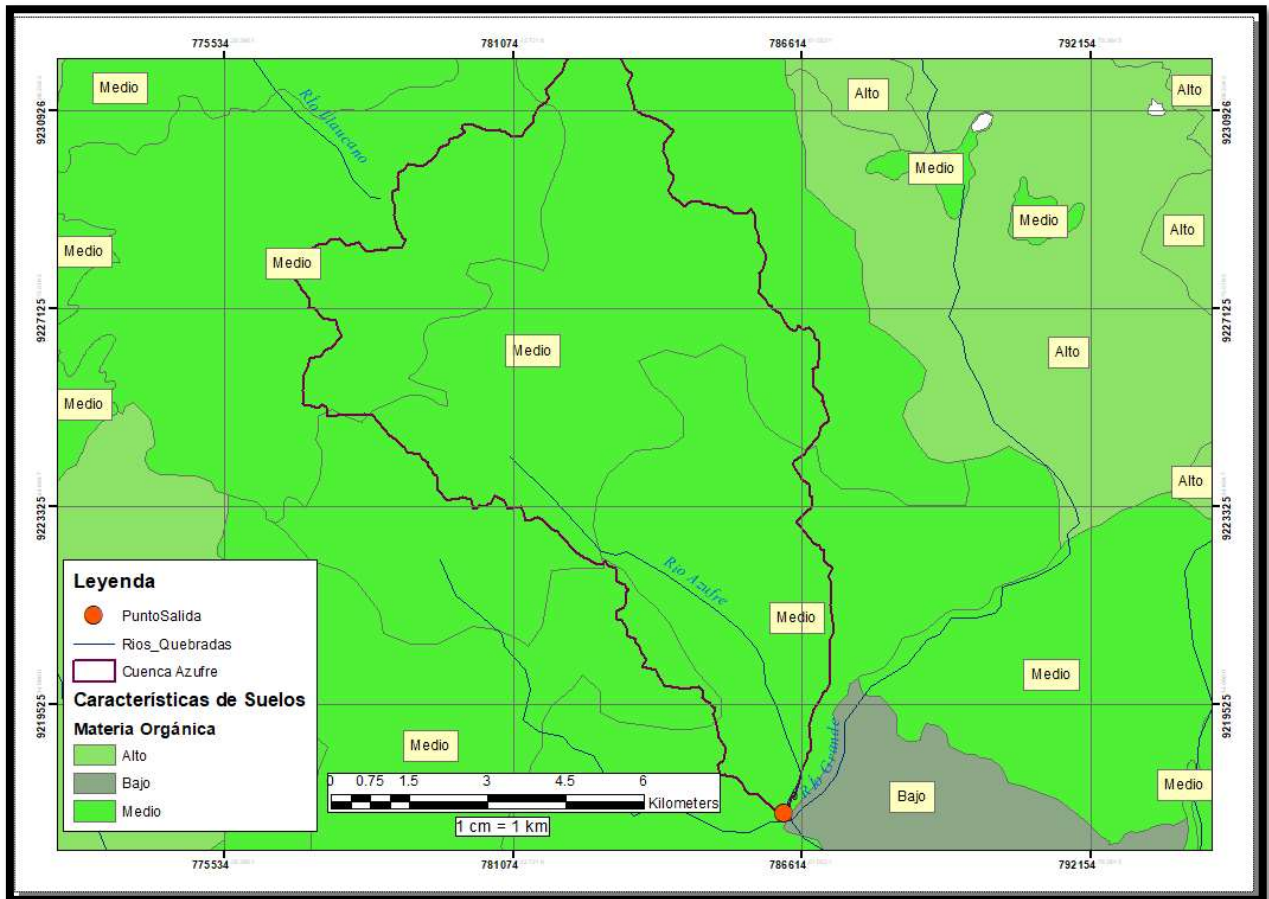


**Contenido de materia orgánica.** - El contenido materia orgánica de los suelos es mediana, probablemente es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales (ganado vacuno y ovino en menor proporción) y microorganismos, y por otra parte la proveniente de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte. Evidente al tratarse de suelos agrícolas destinados a la agricultura (pastos) y ganadería.

Figura 9: Suelos cultivados en la cabecera de cuenca



Figura 10: Mapa de Materia Orgánica en Suelos



#### - Geología de la cuenca

La geología de la cuenca está compuesta principalmente por rocas volcánicas piroclásticas de la Formación Huambos, entre la que resaltan las litologías como tobas, aglomerados y brechas correspondiente al periodo cenozoico, en la parte nor oriental de la cuenca se puede apreciar la existencia de rocas volcánicas sedimentarias de la formación Volcánico San Pablo y en una mínima proporción rocas sedimentarias de la formación Yumagual, entre las que destacan las lutitas, calizas y margas.

Figura 11: Geología de las zonas altas de la cuenca



Figura 12: Erosión en las rocas volcánicas producto de las lluvias



Figura 13: Mapa Geológico de la cuenca Azufre y alrededores

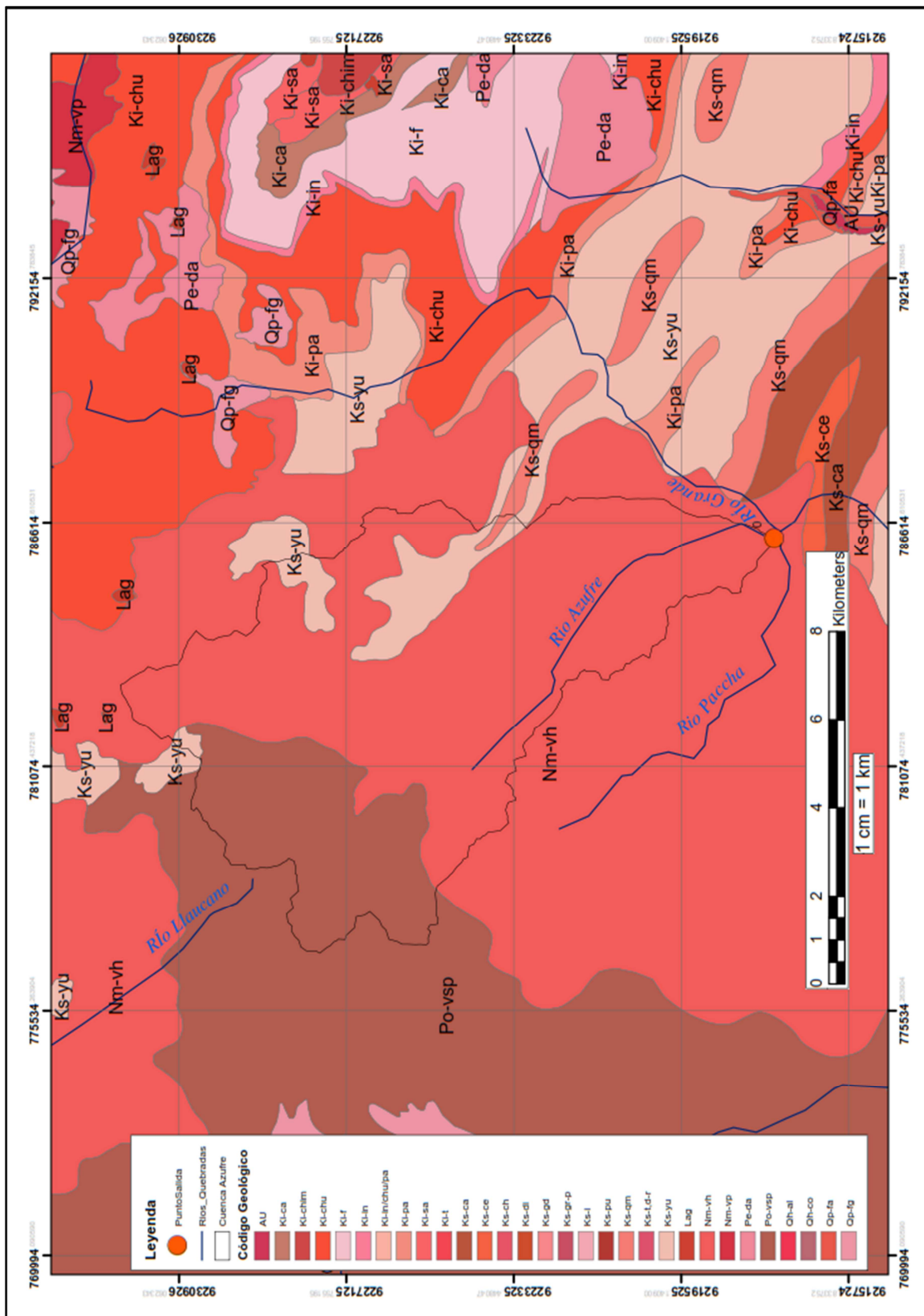


Tabla 3: Descripción del mapa geológico

Código Geológico	Descripción	Era	Tipo de Roca	Litología
Ji-a	Formación Aramachay	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ki-ca	Formación Carhuaz	Mesozoico	Sedimentaria	Areniscas, lutitas
Ki-ch/pa	Formación Chulec-Pariatambo	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ki-chim	Formación Chimú	Mesozoico	Sedimentaria	Areniscas, lutitas
Ki-chu	Formación Chulec	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ki-f	Formación Farrat	Mesozoico	Sedimentaria	Cuarцитas, areniscas
Ki-g	Grupo Goyllarisquiza	Mesozoico	Sedimentaria	Cuarцитas, areniscas
Ki-in	Formación Inca	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ki-in/chu/pa	Fms. Inca, Chulec, Pariatambo	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ki-sa	Formación Santa	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ki-tgd	Tonalita-Granodiorita	Mesozoico	Plutónica	Tonalita Granodiorita
Ks-ca	Formación Cajamarca	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, margas
Ks-ce	Formación Celendín	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ks-ch	Formación Chota	Mesozoico	Sedimentaria	Areniscas, lutitas, conglomerados
Ks-di	Diorita	Mesozoico	Plutónica	Diorita
Ks-gd	Granodiorita	Mesozoico	Plutónica	Granodiorita
Ks-pu	Grupo Pullucana	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ks-qm	Formación Quilquiñan/Mujarrun	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ks-to	Tonalita	Mesozoico / C	Plutónica	Tonalita
Ks-yu	Formación Yumagual	Mesozoico	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas
Ks-gr-p	Granito, Paltashaco	Mesozoico / C	Plutónica	Granito
Ks-i	Granitoides Indiferenciados	Mesozoico / C	Plutónica	Granitoides
Ks-t,d-r	Tonalita, Diorita, Rumipita	Mesozoico / C	Plutónica	Tonalita, Diorita
Qh-al	Depósitos Aluviales	Cenozoico	Sedimentaria	Arenas, gravas, arcillas
Nm-vh	Volcánico Huambos	Cenozoico	Volcánica	Tobas, aglomerados, brechas
Nm-vp	Volcánico Porculla	Cenozoico	Volcánica	Tobas andesíticas, ignimbrita
Pe-da	Dacitas	Cenozoico	Volcánica	Dacita
Po-vsp	Volcánico San Pablo	Cenozoico	Volcánica - Sedimentaria	Tobas, aglomerados, brechas
Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales	Cenozoico	Sedimentaria	Gravas, arenas, arcillas, limos
Qp-fg	Depósitos Fluvioglaciares	Cenozoico	Sedimentaria	Gravas subredondeadas a subangulosas, arena
Qh-al	Depósitos Aluviales	Cenozoico	Sedimentaria	Arenas, gravas, arcillas
Ki-g	Grupo Goyllarisquiza	Mesozoico	Sedimentaria	Cuarцитas, areniscas
AU	Casco urbano			

### e. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA

**Cordillera Occidental.** - Esta unidad está constituida por una cadena de cerros cuyas altitudes varían entre los 3,000 y los 4,100 m.s.n.m., sobre la cual se ha desarrollado la Superficie Puna caracterizada por extensas pleniplanicies, donde se observa algunas lagunas de origen glaciar. Esta unidad geomorfológica, dentro de la cual está la Divisoria Continental, muestra evidencia de haber sufrido una intensa erosión glaciar. En ella se observan ríos y quebradas profundas con laderas empinadas.

El relieve diverso que se observa es el resultado de la erosión en unidades sedimentarias de distinta composición, sobresaliendo en las rocas más resistentes como son las areniscas, cuarcitas y calizas. El fallamiento inverso y el desarrollo de pliegues en los sedimentos aflorantes resistentes, colaboran en la formación de crestas abruptas.

**Valles.** - La Cordillera de los Andes está cortada por ríos y quebradas que en ciertos tramos forman cañones profundos.

Los valles principales pueden haberse profundizado, hasta cierto punto, por factores tectónicos, pero mayormente son producto de erosión. En sección transversal se reconoce una parte alta ancha y una parte inferior encañonada, las mismas que representan a la etapa valle y a la etapa cañón, respectivamente.

En general, el desarrollo geomorfológico del área está íntimamente vinculado con las diferentes fases de la tectónica andina.

Figura 14: Vista del valle y cañón Tres Tingos

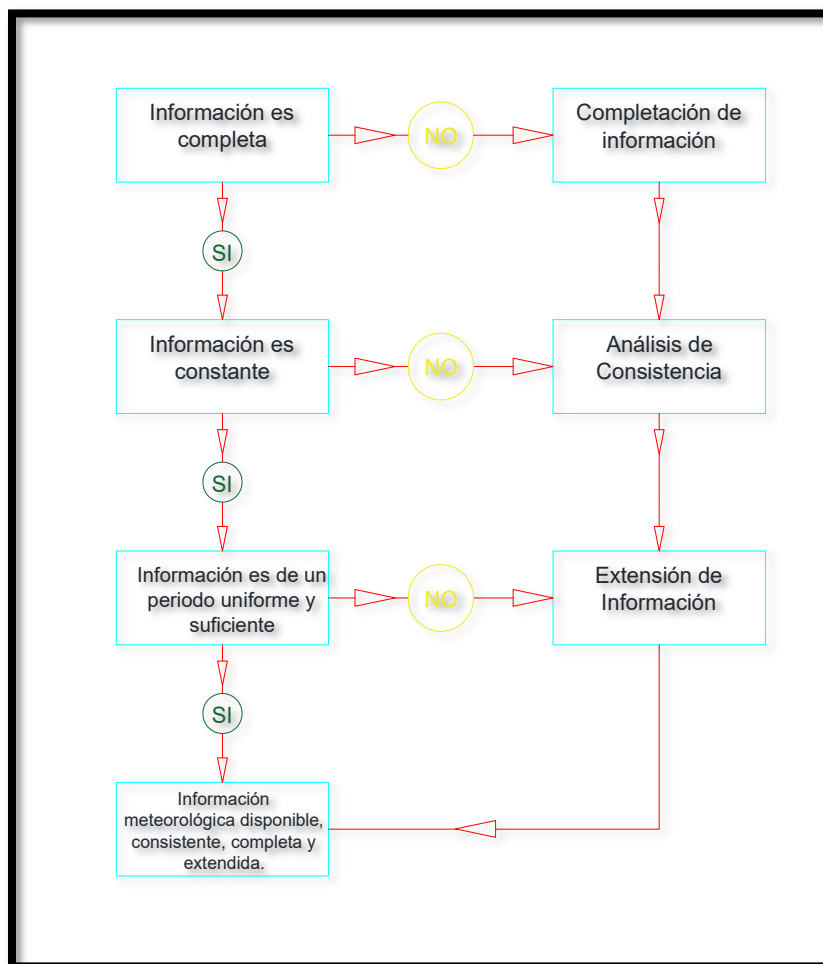


## f. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Como se mencionó anteriormente una de las dificultades que se presentan en el tratamiento de información meteorológica es su poca confiabilidad, es por ello que resulta necesario el análisis de series hidrológicas históricas, y su posterior ajuste o corrección de errores conforme lo amerite, para nuestro caso también se requerirá realizar la extensión de datos, puesto que se dispone de intervalos de registros relativamente cortos y que son insuficientes para realizar un cálculo aceptable.

El procedimiento seguido para el tratamiento de los datos meteorológicos se presenta en la siguiente figura:

Figura 15: Diagrama para el tratamiento de datos meteorológicos.





Con la obtención de la información consistente, completa y extendida termina la fase preliminar, pudiendo a partir de este momento determinar los parámetros deseados.

#### - **Análisis de Consistencia**

La no-homogeneidad e inconsistencia en secuencias hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes del estudio en la hidrología, puesto que, si éstos no son identificados y eliminados, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros obteniendo resultados altamente sesgados.

En general, los datos medidos incluyen dos tipos de errores:

Errores aleatorios o accidentales y Errores sistemáticos; los errores aleatorios se presentan a causa de la inexactitud en las mediciones y observaciones. Las causas que dan lugar a este tipo de errores pueden ser diversas, teniendo entre las más comunes: lecturas poco conscientes, aparato ligeramente estropeado y mal colocado, errores de transcripción de cálculo, copia, impresión e interpretación. Los errores sistemáticos son los de mayor importancia, ya que los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente; los errores sistemáticos pueden ser a la vez naturales, artificiales u ocasionados por la intervención de la mano del hombre, los mismos que ocurren como saltos y como tendencias, (ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ACARÍ Y YAUCA. 2003).

#### - **Análisis de los Hidrogramas**

Esta fase complementaria consiste en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información meteorológica disponible, combinado con los criterios obtenidos del campo para detectar la regularidad o irregularidad de los mismos; para lo cual la información meteorológica se grafica en coordenadas cartesianas representando en el eje de las ordenadas el valor de la información (precipitación, descargas, etc.) y en el eje de las abscisas el tiempo cronológico respectivo (anuales, mensuales, semanales, diarios), el grafico resultante es denominado hidrograma, (TARAZONA, N. 2005).

De la apreciación visual de este gráfico se deduce si la información es aceptable o dudosa, considerándose como información dudosa o de poco valor para el estudio, aquéllas que

muestran en forma evidente valores constantes en periodos en los cuales físicamente no es posible debido a la característica aleatoria de los datos y, cuando no hay compatibilidad con la información obtenida en el campo. Puede aplicarse el siguiente criterio para identificar los posibles periodos que presentan información dudosa:

- Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan los gráficos de las series históricas y se observa que período varía notoriamente con respecto del otro.
- Cuando se tiene una sola estación, se divide en varios periodos y se compara con la información de campo obtenida.
- Cuando se tiene datos de precipitación y escorrentía, se compara los diagramas los cuales deben ser similares en su comportamiento. La interpretación de estas comparaciones se efectúa conjuntamente con el análisis de doble masa.

#### - **Análisis de doble masa**

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

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

Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que, si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico. (ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ACARÍ Y YAUCA. 2003).

## - Test Estadístico

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

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

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

## - Completación y Extensión de información

La completación se refiere a la determinación de los datos faltantes en la serie incompleta, mientras que la extensión es el estire de registros cortos menores a 30 años. Se utilizó para ello, la información de las Estaciones Meteorológicas vecinas, escogiendo aquella que tenga un coeficiente de correlación más cercano a 1 y siempre y cuando esta cuente con registros completos. El método utilizado fue el de regresión lineal simple:

$$y_i = a + bx_i \quad (7)$$

Donde:  $x_i$ , Es la variable conocida, valor de la precipitación mensual de la Estación vecina para un mes  $i$ ;  $y_i$ , Es la variable desconocida, valor de la precipitación mensual que se trata de predecir para un mes  $i$ ;  $a$ , Es el intercepto, punto donde la línea de regresión cruza el eje  $y$ , es decir el valor de  $y$  cuando  $x = 0$ ;  $b$ , Es la pendiente de la línea o el coeficiente de regresión, es decir, es la cantidad de cambio de  $y$  asociada a un cambio unitario de  $x$ .

En el caso de la completación se emplea el registro de un año hidrológico conocido de una estación vecina y el registro incompleto de la estación a completar, los intervalos conocidos en común se utilizan para determinar la ecuación de regresión lineal simple y el coeficiente de correlación. Mediante dicha ecuación se procede a calcular los valores desconocidos usando los de la estación vecina.

Para la extensión se emplea un proceso similar, se extraen las medias de los periodos anuales que sean conocidos, se obtiene la ecuación de primer grado y se procede a calcular los datos faltantes.

#### **g. PRECIPITACIÓN MEDIA (MÉTODO DE LA ISOYETAS)**

Consiste en obtener a partir de los datos de los pluviómetros las isoyetas del evento, definidas como los contornos de lluvia constante. Se obtiene una superficie representada de forma similar a la de los planos topográficos con cada curva de nivel representando un valor de lluvia constante. El valor de la precipitación media se obtendrá a partir de fórmulas del tipo:

$$P = \frac{\sum_i a_i \cdot P_i}{\sum_i a_i} \quad (8)$$

Dónde:  $a_i$ , el área entre isoyetas y  $P_i$ , los valores medios entre las mismas

Este método tiene una ventaja fundamental, que es la posibilidad de permitir que el analista introduzca su experiencia y adapte la distribución espacial de precipitaciones a la orografía u otras influencias que él estime necesarias. De esta manera permite obtener un patrón de precipitaciones útil para corregir otros métodos.

#### **h. MEDICIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**

La hidrometría, como es conocido es la rama de la hidrología que estudia la medición del escurrimiento. Para este mismo fin, es usual emplear otro término denominado aforo. Aforar una corriente, significa determinar a través de mediciones, el caudal que pasa por una sección dada y en un momento dado. O por otro lado existen métodos como el Directo o Empíricos como el Método Racional que nos permite obtener el valor de la escorrentía como una variable dependiente.

##### **- Tubo de Pitot:**

Consiste en una sonda cilíndrica que se coloca dentro del agua en movimiento y permite medir su velocidad. La ventaja del Pitot es que puede medir velocidades puntuales dentro del fluido, lo que permite determinar el perfil de distribución de velocidades en la sección transversal del

río. Conociendo las velocidades en una sección y la geometría de la misma, calcularemos el caudal integrando la velocidad en el área considerada. En este aparato, la altura cinética se convierte en una presión de impacto, de modo que la diferencia entre la presión estática y la de impacto nos da la velocidad del agua.

Para medir el caudal de un río con este método seccionamos al río en tramos iguales y medimos la profundidad de cada tramo, esto se realiza con la finalidad de obtener áreas parciales las cuales en suma conformaran la sección transversal del río, en cada tramo se mide la variación de altura que alcanza el agua a través del tubo de Pitot ( $\Delta h$ ), con este dato podemos encontrar la velocidad del flujo en ese tramo aplicando la siguiente formula. (GONZÁLES, R. 2008).

$$\Delta h = \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:  $V$ , Velocidad del agua;  $\Delta h$ , Altura que alcanza el agua a través del tubo y  $g$ , Constante de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

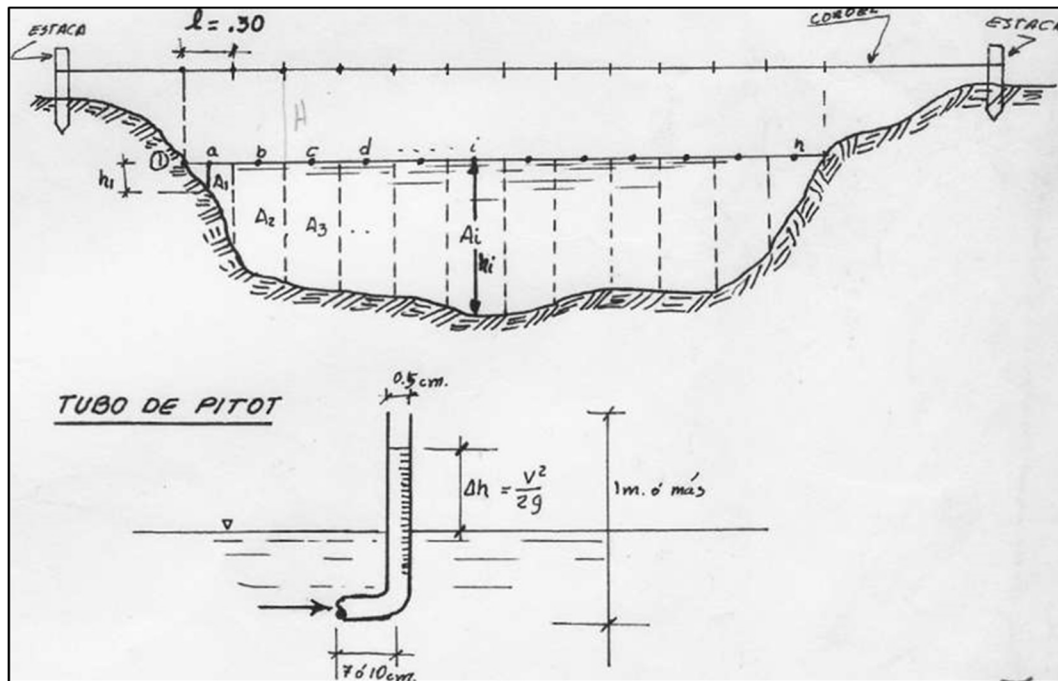
Despejando la formula anterior, encontramos la velocidad en cada tramo del río; luego calculamos el caudal para ese tramo con la formula.

$$Q = V * A \quad (10)$$

Donde:  $V$ ; Velocidad del agua;  $A$ , Área de la sección y  $Q$ , Caudal

Finalmente sumamos los caudales parciales calculados para cada tramo logrando así obtener el caudal total de agua que pasa por el río.

Figura 16: Aforo de un río con el método-Tubo de Pitot.



Fuente: (JIMENTES, P. 2011).

#### i. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

La simulación hidrológica se puede definir como la descripción matemática de la respuesta de un sistema hidrológico a una serie de eventos programados durante un periodo de tiempo. El uso más frecuente de la simulación hidrológica es la síntesis de hidrogramas a partir de los datos de precipitación y las características de la cuenca de drenaje, ya sea en una escala temporal pequeña (estudio de eventos) o grande (estudio de recursos). (MARTÍNEZ, A. 1999).

Los modelos hidrológicos buscan simplificar la complejidad del mundo real por medio de una selección de los aspectos fundamentales que determinan el funcionamiento del sistema hidrológico modelado, de forma que generalmente cuantas más simplificaciones supone un modelo, menos precisos serán sus resultados. Un buen modelo debe mantener un equilibrio, de forma que sea suficientemente sencillo para comprenderlo y usarlo, y suficientemente complejo para representar correctamente el sistema modelado. (ESTRELA, T. 1998).

#### j. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS

Los modelos en cualquier ámbito de la ciencia se clasifican en:

- Modelos físicos reducidos. Se basan en la reducción a una determinada escala del prototipo (realidad). Su fundamento teórico lo constituye el análisis dimensional completado con la teoría de la semejanza.
- Modelos analógicos. Analizan un sistema a partir de otro regido por teorías similares.
- Modelos matemáticos. Representan el sistema por un conjunto de ecuaciones y sentencias lógicas que expresan las relaciones entre variables y parámetros.

Los modelos matemáticos son ampliamente los más utilizados en hidrología y suelen requerir del empleo de ordenadores. Una representación general de un modelo matemático es la siguiente:

$$F(Y_t, X_t, Y_{t-1}, X_{t-1}, \dots, \theta_t, \dots, \theta_n) + \varepsilon_1 = 0 \quad (11)$$

Donde:  $X_t$ , Es el conjunto de variables de entrada al sistema en el tiempo  $t$ ;  $Y_t$ , Es el conjunto de variables de salida del sistema en el tiempo  $t$ ;  $\theta_t$ , Es el conjunto de parámetros ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $\varepsilon_t$ , Es el conjunto de residuos o errores del modelo en el tiempo  $t$ ;  $F$ , Es el conjunto de funciones formadas por ecuaciones y sentencias lógicas que expresan las relaciones entre variables y parámetros.

Los modelos matemáticos a su vez se dividen en dos grandes grupos:

- Determinísticos: las variables vienen determinadas por leyes físicas consideradas como exactas y que explican toda su variabilidad.
- Estocásticos: las variables son regidas en todo o en parte por las leyes del azar, y por tanto caracterizadas en términos de probabilidad. Requieren la existencia de datos que permitan caracterizar dichas variables. (MARTÍNEZ, A. 1999).

### **Modelos Precipitación – Descarga**

Los modelos de Precipitación-Descarga más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema (precipitación) y las salidas del mismo (evaporación, escorrentía y descarga del acuífero) reproduciendo simplifícadamente los procesos del ciclo hidrológico. (TARAZONA, N. 2005).

## **k. MODELO PROPUESTO POR LUTZ SCHOLZ -1980**

Este modelo hidrológico es combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico) y, una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano - Modelo Estocástico); fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II. (LUTZ S.1980).

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo; los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas; el procedimiento que siguió el experto Lutz Scholz fue:

- Analizó los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas entre Cuzco y Cajamarca y procedió a calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de la escorrentía promedio.
- En un segundo paso, estableció un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en estas cuencas que carecen de información hidrométrica. Aplicando los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca respectiva y los modelos parciales, se puede calcular los caudales mensuales
- El tercer paso permite la generación de caudales para un periodo extendido en el punto de captación proyectada por un cálculo combinando (la precipitación efectiva con las descargas del mes anterior por un proceso markoviano) y, calibrando el modelo integral por aforos ejecutados. Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.), los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos. (SOVERO, H 1991).



Los procedimientos necesarios a seguir en la implementación del modelo son:

- Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrentía promedio.
- Establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica.
- Calibración del modelo y generación de caudales extendidos por un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior. (ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE HUACRAHUACHO. 2010).

#### - Balance Hídrico

El proceso hidrológico que se plantea para la determinación de la disponibilidad hídrica responde a la siguiente ecuación:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i + A_i \quad (12)$$

Donde:  $CM_i$ , Es el caudal mensual (mm/mes);  $P_i$ , Es la precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes);  $D_i$ , Es el déficit de escurrimiento (mm/mes);  $G_i$ , Es el gasto de la retención de la cuenca (mm/mes);  $A_i$ , Es el Abastecimiento de la retención (mm/mes).

No obstante, cuando se considera periodos anuales el Gasto y Abastecimiento de la retención coinciden en cantidad, con lo cual  $G_i = A_i$ , y si a su vez consideramos que un porcentaje de la precipitación se evapora, reemplazando así la expresión  $P_i - D_i$  por  $cD_i$ , y transformando de mm/mes a  $m^3/s$ .

$$Q_i = c * C_i * P_i * AR \quad (13)$$

Tal ecuación coincide con el método racional.

Donde:  $Q_i$ , Es el caudal ( $m^3/s$ );  $c$ , Es el coeficiente de conversión del tiempo (mes/s);  $C_i$ , Es el coeficiente de escorrentía;  $P_i$ , Es la precipitación mensual total (mm/seg);  $AR$ , Es el área de la cuenca ( $m^2$ ).

### - Coeficiente de escorrentía ( $C_i$ )

Para la estimación del coeficiente de escorrentía  $C_i$ , se utilizara las ecuaciones de **L. Turc** debido a que los resultados serán muy cercanos a los datos registrados. Así mismo, siguiendo los mismos criterios del experto Lutz Scholz, se ha calibrado los resultados obtenidos por el método de **L. Turc** con los registrados, obteniéndose ecuaciones empíricas con buena aproximación, las mismas que sólo son aplicables para la zona de influencia del proyecto.

$$C = \frac{P-D}{P} \quad (14)$$

Donde:  $C$ , Es el coeficiente de escurrimiento;  $P$ , Es la precipitación total anual (mm/año);  $D$ , Es el déficit de escurrimiento (mm/año).

$$D = \frac{P}{\left[0.9 * \left(\frac{P}{L}\right)^2\right]^{0.5}} \quad (15)$$

Así mismo;  $L$ , Es el coeficiente de temperatura.

$$L = 300 + 25 * T + 0.05T^3 \quad (16)$$

Y  $T$ , Es la temperatura anual media ( $C^\circ$ ).

### - Precipitación Efectiva

Es aquella precipitación que da origen a la escorrentía directa y al flujo base. Se obtiene multiplicando la precipitación total por el coeficiente de escorrentía, tal que éste último toma en cuenta el flujo superficial y el flujo base.

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

$$PE_i = C PT_c \quad (17)$$

Donde:  $PE_i$ , Precipitación efectiva del mes "i" (mm/año);  $PT_c$ , Precipitación total generada. (mm/año) y  $C$ , Coeficiente de escorrentía.

#### - Retención de la cuenca

De acuerdo al supuesto anterior de que nos encontremos en el estudio de un año hidrológico, que además exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las relaciones mostrada en la ecuación:

$$R_i = CM_i - PE_i \quad (18)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (19)$$

Donde:  $CM_i$ , Es el caudal mensual (mm/mes);  $PE_i$ , Es la precipitación efectiva mensual (mm/mes);  $R_i$ , Es la retención de la cuenca (mm/mes);  $G_i$ , Es el gasto de la retención (mm/mes);  $A_i$ , Es el abastecimiento de la retención (mm/mes) y  $R_i = G_i$ , Para valores mayores que cero (mm/mes);  $R_i = -A_i$ , Para valores menores que cero (mm/mes).

Sumando los valores de  $G$  o  $A$  respectivamente, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio, que para el caso de las cuencas de la sierra varía de 43 a 188 (mm/año). (AFIANZAMIENTO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO INGENIO. 2011).

$$R = \frac{(C_a \cdot AR \cdot LA + AL \cdot LL + AN \cdot LN)}{AR} \quad (20)$$

Donde:  $R$ , Retención de la cuenca (mm/año);  $C_a$ , Coeficiente (15% - 30%);  $AR$ , Área de la cuenca ( $Km^2$ );  $LA$ , Almacenamiento de acuíferos (mm/año);  $AL$ , Área de las lagunas ( $Km^2$ );  $LL$ , Almacenamiento de lagunas y pantanos (mm/año);  $AN$ , Área de los nevados ( $Km^2$ ) y  $LN$ , Almacenamiento de nevados (mm/año).

#### - Almacenamiento hídrico

El experto Lutz Scholz considera tres fuentes principales para el almacenamiento hídrico que inciden en la retención de la cuenca: acuíferos, lagunas-pantanos y nevados; para los cuales propone diferentes aportes específicos en función del área de la cuenca:

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

- **Acuíferos:**

$$LA = -750 I + 350 \quad (21)$$

Donde: LA, es el almacenamiento de acuíferos (200-300 mm/año) e I, Pendiente del cauce principal ( $I \leq 15\%$ ).

- **Lagunas y pantanos:**

$$LL = 500 \left( \frac{mm}{año} \right) \quad (22)$$

Donde: LL, es el almacenamiento de lagunas y pantanos (mm/año)

- **Nevados:**

$$LN = 500 \left( \frac{mm}{año} \right) \quad (23)$$

Donde: LN, es el almacenamiento de nevados (mm/año)

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. El almacenamiento a corto plazo, intercepción, no se toma en consideración estacionaria de valores mensuales, sino que ya está incluido en la precipitación efectiva. (AGUIRRE, M. 2006)

### - **Relación entre descargas y retención**

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

$$Q_t = Q_0 \exp^{-a} \quad (24)$$

Donde:  $Q_t$ , Es la descarga en el tiempo t;  $Q_0$ , Es la descarga inicial;  $a$ , Es el coeficiente de agotamiento y  $t$ , Es el tiempo.

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

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO YAUCA. 2003).

#### - Coeficiente de Agotamiento

Mediante la fórmula (25) se puede calcular el coeficiente de agotamiento  $a$ , en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.

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

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca. (ESTUDIO DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO YAUCA. 2003).

$$a = f(\ln AR) \quad (25)$$

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

$$a = 3.1249E67(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}(T)^{-3.369}(R)^{-1.429}; r = 0.86 \quad (26)$$

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

Cuencas con agotamiento muy rápido, debido a temperaturas elevadas ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) y retención que va de reducida (50mm/año) a mediana (80 mm/año):

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.034 \quad (27)$$

Cuencas con agotamiento rápido, cuya retención varía entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.030 \quad (28)$$

Cuencas con agotamiento mediano, cuya retención es alrededor de 80 mm/año y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.026 \quad (29)$$

Cuencas con agotamiento reducido por alta retención (>100mm/año) y vegetación mezclada:

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.023 \quad (30)$$

Donde:  $a$ , Es el coeficiente de agotamiento por día;  $AR$ , Es el área de la cuenca ( $Km^2$ );  $EP$ , Es la evapotranspiración potencial anual (mm/año);  $T$ , Es la duración de la temporada seca (días) y  $R$ , Es la retención total de la cuenca (mm/año).

#### - Abastecimiento de la retención

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cuzco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en el Cuadro 7.3. (ESTUDIO DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO YAUCA. 2003).

Tabla 4: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias - (valores -ai %)

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

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

$$A_i = a_i \left( \frac{R}{100} \right) \quad (31)$$

Donde:  $A_i$ , Es el abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes);  $a_i$ , Es el coeficiente de abastecimiento (%) y  $R$ , Es la retención de la cuenca (mm/año).

#### - Determinación del caudal mensual para el año promedio

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

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (32)$$

Donde:  $CM_i$ , Es el caudal del mes  $i$  (mm/mes);  $PE_i$ , Es la precipitación efectiva del mes  $i$  (mm/mes);  $G_i$ , Es el gasto de la retención del mes  $i$  (mm/mes);  $A_i$ , Es el abastecimiento del mes  $i$  (mm/mes).

#### - Generación de caudales mensuales para periodos extendidos

Podemos decir que el modelo consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden con una variable de impulso. El elemento constitutivo del modelo Markoviano es la autorregresión del evento en el tiempo con el mismo evento en el tiempo  $t-1$ .

La variable de impulso para descargas es la precipitación efectiva. Para aumentar el rango de los valores y obtener una aproximación adecuada a la realidad, se considera además una variable aleatoria. (EVALUACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO PISCO. 2003).

La ecuación integral es:

$$CM_t = B_1 + B_2 CM_{t-1} + B_3 PE_t + zS(1 - r^2)^{1/2} \quad (33)$$

Donde:  $CM_i$ , Es el caudal del mes  $i$  (mm/mes);  $CM_{i-1}$ , Es el caudal del mes anterior  $i-1$  (mm/mes);  $PE_i$ , Es la precipitación efectiva del mes  $i$  (mm/mes);  $B_1$ , Es el factor constante;  $B_2$ , Es el factor de influencia del valor  $CM_{i-1}$ ;  $B_3$ , Es el factor de influencia del valor  $PE_i$ ;  $r$ , Es el coeficiente de regresión;  $S$ , Es la desviación de residuos;  $z$ , Es la variable aleatoria con

distribución normal, con media cero y desviación tipo unitaria. Los valores  $B_1$ ,  $B_2$  y  $B_3$  se obtienen por un proceso de regresión triple mediante los caudales y precipitaciones efectivas durante el año promedio.

Para iniciar el proceso de simulación, la elección del valor inicial se puede hacer siguiendo los siguientes criterios.

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

#### **- Limitaciones del modelo hidrológico**

La principal limitación en general se presenta en la disponibilidad de información dependiendo de cuan sofisticado sea el modelo y la confiabilidad de los resultados, la aplicación del modelo requiere reconocer cuando una hipótesis que se puede realizar y cuando no. Suele ofrecer mejores resultados un mal modelo con buenos datos que un buen modelo con datos malos. (ESTRELA, T. 1988).

#### **- Restricciones del modelo Lutz Scholz**

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

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



Es importante tener en cuenta las mencionadas restricciones a fin de garantizar una buena performance del modelo. (ESTUDIO DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO YAUCA. 2003).

## **2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **a. DISPONIBILIDAD HÍDRICA:**

Podemos entender como disponibilidad Hídrica a la cantidad de agua presente en una cuenca hidrográfica que puede ser aprovechada en cualquier actividad Antrópica, que, en su mayoría consistente en fuentes superficiales, como ríos, quebradas, lagos, manantiales, humedales, etc. Sin embargo, en la actualidad debido a la escasez o a la mala calidad de las mismas, se ha optado por explotar las fuentes subterráneas. Como se conoce, ambos tipos de fuentes se recargan a través del ciclo hidrológico y dependen en gran medida de un equilibrio ecosistémico fácilmente alterable.

### **b. PRECIPITACIÓN:**

Se entiende por precipitación a la acción de descenso del agua que proviene de la humedad atmosférica sobre la superficie terrestre indistintamente de su estado (lluvia, granizo, nieve, etc.) que junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera dinamiza con el agua superficial dando origen al ciclo hidrológico del agua. Su formación requiere que la masa de agua atrapada en la atmósfera se enfríe y que de esa forma parte de su humedad se condense. Se pueden dividir en:

- Precipitaciones convectivas. Ocurre cuando altos niveles de energía solar calientan el aire cercano a la superficie, causando que suba rápidamente, se enfríe y condense la humedad que contiene. Frecuentemente, el aire que se eleva viene cargado de humedad de alguna fuente distante, como puede ser un lago, golfo u océano. La lluvia asociada con nubes de verano y truenos es un ejemplo de lluvia convectiva, así como también vientos fuertes y aún tornados. (GLIESSMAN, S. 1998).
- Precipitaciones orográficas. Se produce por el ascenso del aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña. Los vientos cálidos provenientes de los océanos se elevan hasta encontrarse con capas frías de aire, condensándose y constituyendo nubes y, por tanto, posibles precipitaciones. (WHITEMAN, C. 2000).

- Precipitaciones ciclónicas o frontales. Se producen cuando dos masas de aire de características diferentes se ponen en contacto (frente) y el desplazamiento de una provoca la ascensión frontal de la otra. A lo largo del frente, el aire cálido y húmedo se eleva por encima del aire frío, engendrando nubes y lluvias; a lo largo del frente frío, la masa de aire cálido es levantada por el impulso del aire frío, de lo que se siguen intensas lluvias y chubascos tormentosos separados por claros. Este tipo de lluvias es característico de los países templados. (GOUROU & PAPY. 1970).

El análisis de las precipitaciones es el punto de partida para cualquier estudio hidrológico que pretenda encontrar la disponibilidad hídrica de una cuenca, pues salvo pequeñas excepciones conforma la única fuente de recarga. También es fundamental en estudios de control de avenidas, erosión, sedimentación, etc.

Podemos cuantificar la precipitación ocurrida en un área mediante algún recipiente de paredes rectas (pluviómetro), el cual almacena el agua de lluvia y posteriormente se obtiene la información midiendo lámina de agua recogida. La unidad de medida es el milímetro (mm). Y se denomina Precipitación diaria, precipitación mensual y precipitación anual, simplemente a la suma de las cantidades de lluvia precipitadas en un día, mes y año respectivamente

La intensidad de precipitación, aunque conceptualmente se refiere a un instante, suele expresarse en mm/hora.

#### **c. EVAPOTRANSPIRACIÓN:**

Se denomina de evapotranspiración al porcentaje de agua que vuelve a la atmósfera luego de presentarse una precipitación y que proviene de la superficie terrestre, incluye evaporación de ríos, lagos, suelo descubierto, transpiración vegetal, etc.

#### **d. ESCORRENTÍA O FLUJO SUPERFICIAL:**

Definiremos a la escorrentía superficial a la lámina de agua que recorre por la superficie del terreno hasta el cauce más cercano, ocurre como resultado de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real más la infiltración; adoptaremos además el postulado de Horton, R (1945). Según el cual, ésta se forma cuando la precipitación supera la cantidad de infiltración del suelo, es decir cuando los poros del suelo se encuentran saturados. Cabe resaltar que este

factor depende también del microrelieve de la cuenca, es así que en cuencas provistas de cobertura densa y de pendiente leve, la escorrentía es relativamente baja, por el contrario, en suelos arcillosos y con poca cobertura el escurrimiento es mayor.

**e. FLUJO SUB – SUPERFICIAL:**

Está constituido por el flujo lateral desde la zona de humedad del suelo. Luego de la infiltración el agua en el suelo continúa moviéndose en función de los gradientes hídricos, especialmente el gradiente vertical y si se encuentra con una capa relativamente impermeable, se produce un flujo lateral el cual culmina con su intercepción por los cauces. El flujo subsuperficial es muy importante en cuencas con suelos permeables y estratificados. Junto con el escurrimiento conforma el llamado flujo rápido (“quick flow” en inglés) y que generalmente se considera como escorrentía directa. (GOUROU & PAPY. 1970).

**f. FLUJO SUBTERRÁNEO:**

El flujo subterráneo está conformado por el agua que fluye desde el almacenamiento del agua subterránea hacia los cauces. Este ocurre cuando los cauces interceptan el agua subterránea, ya sea desde el nivel freático como de acuíferos más profundos. Este flujo es llamado flujo base o caudal base. El flujo base ocurre siempre que exista un almacenamiento subterráneo. El caudal mínimo de un cauce es llamado caudal de estiaje. (ROJAS, R. 2009).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS:

#### Materiales

- Data de Estaciones meteorológicas (SENAMHI y Minera Yanacocha).
- Modelos digitales, y cartas geográficas (Gobierno Regional de Cajamarca).
- Archivos digitales, Fotografías satelitales (NASA).
- Materiales de Campo: Libreta de Campo, Formatos de Aforo.
- Software Argis 10.3, para la digitalización de planos.
- Software Microsoft Excel para el procesamiento de datos.

#### Instrumentos

- Tubo de Pitot.
- GPS.
- Laptop.
- Cámara fotográfica.

### 3.2 ÁREA DE ESTUDIO

#### Ubicación Política de la cuenca río azufre:

Políticamente la microcuenca se encuentra ubicada entre los distritos de Cajamarca y La encañada del Departamento de Cajamarca, al noroeste del Perú.

Departamento : Cajamarca.

Provincia : Cajamarca

Distrito : La Encañada, Cajamarca

#### Ubicación administrativa de la cuenca río azufre:

ALA : Crisnejas

AAA : VI Marañón

La cuenca Azufre se encuentra ubicada dentro de la macrocuenca Marañón, la cual abarca una superficie total de 82 748 km<sup>2</sup> según los datos obtenidos de la Autoridad Nacional del Agua, y al mismo tiempo dentro de la cuenca Crisnejas (4 910 km<sup>2</sup>), específicamente en lo que se conoce

como subcuenca Alto Crisnejas, antes de confluir con el río Grande para formar parte del río Chonta.

Figura 17: Ubicación Política de la Cuenca Azufre

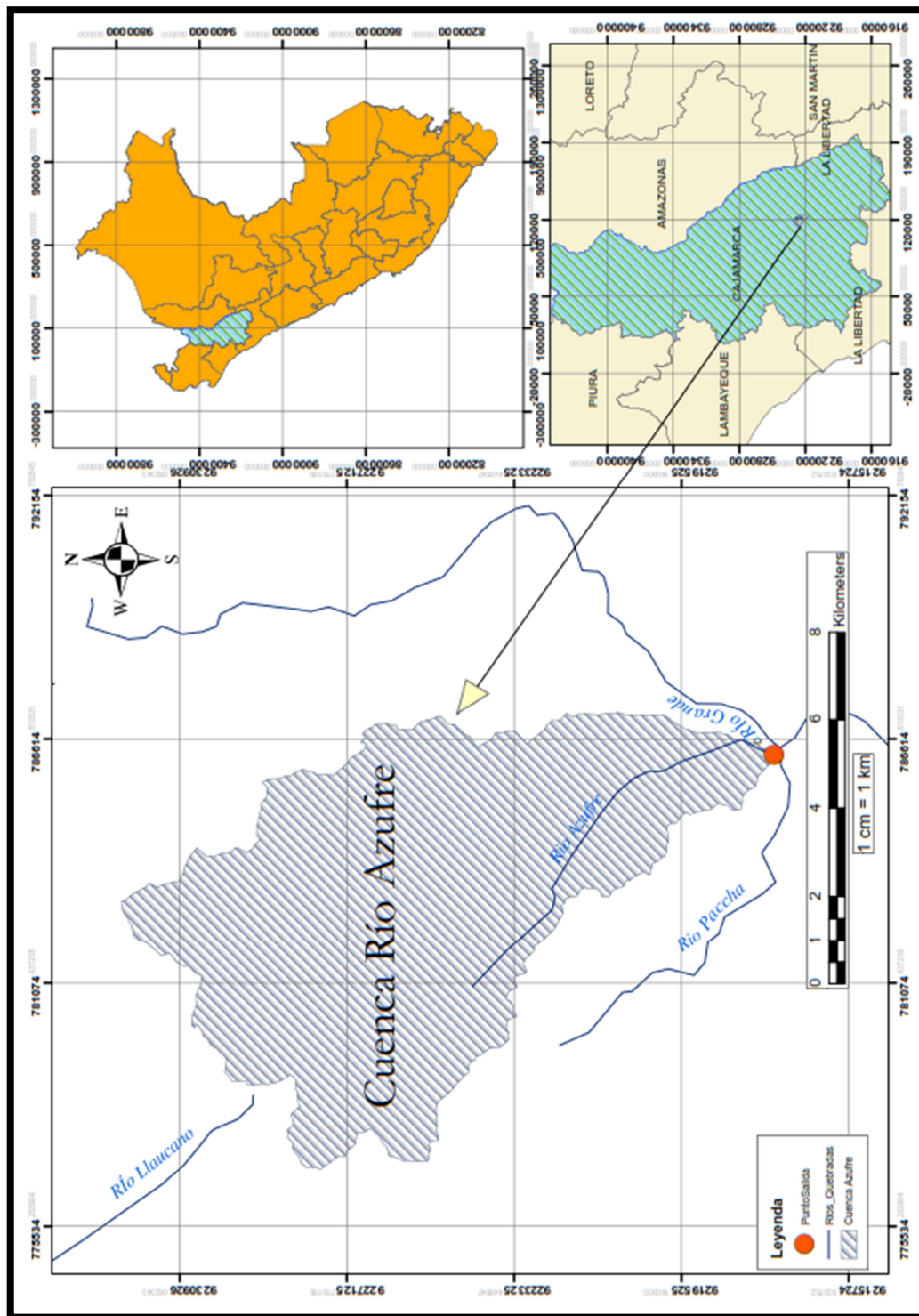
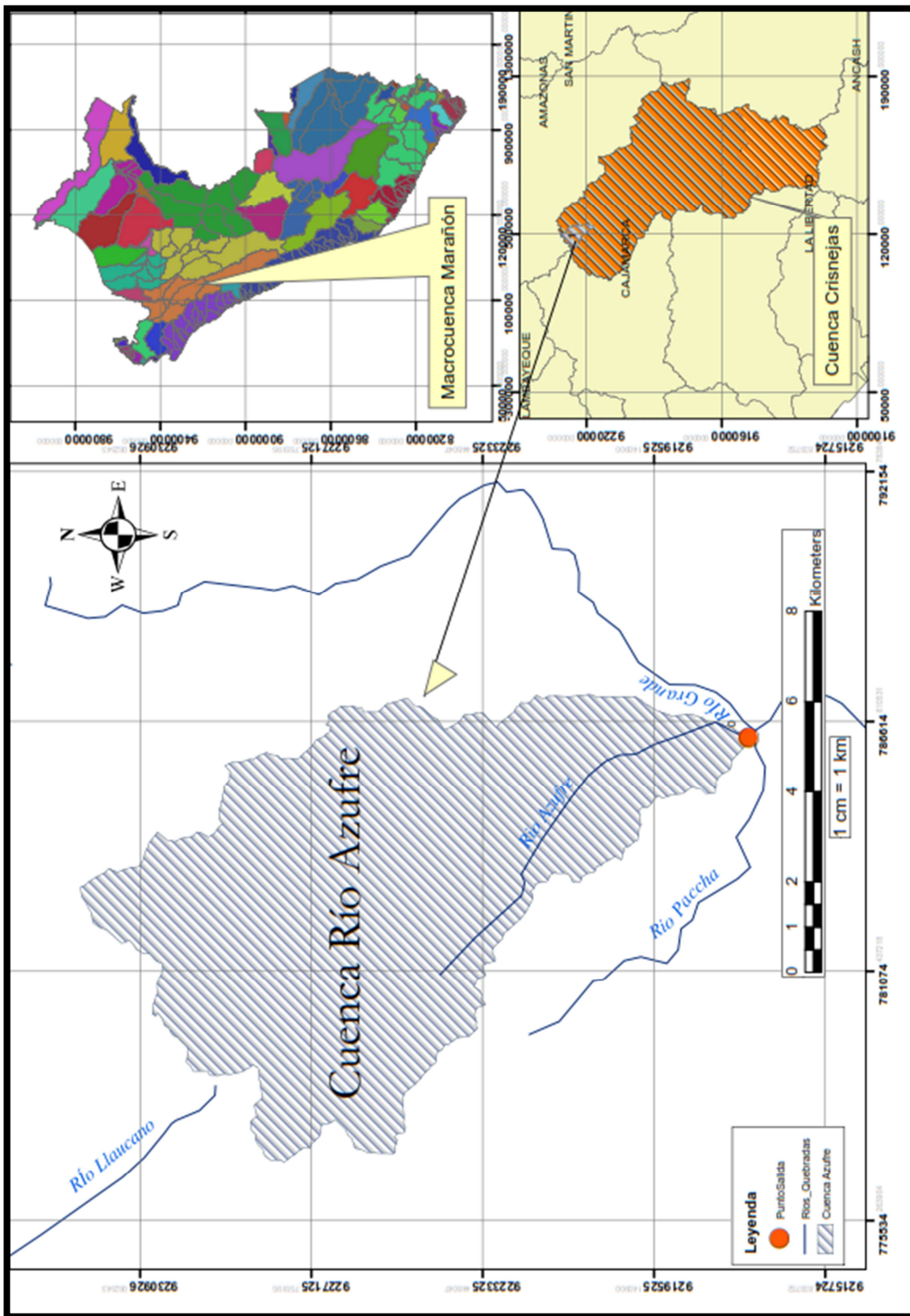


Figura 18: Ubicación Administrativa



### Ubicación geográfica de la cuenca río azufre:

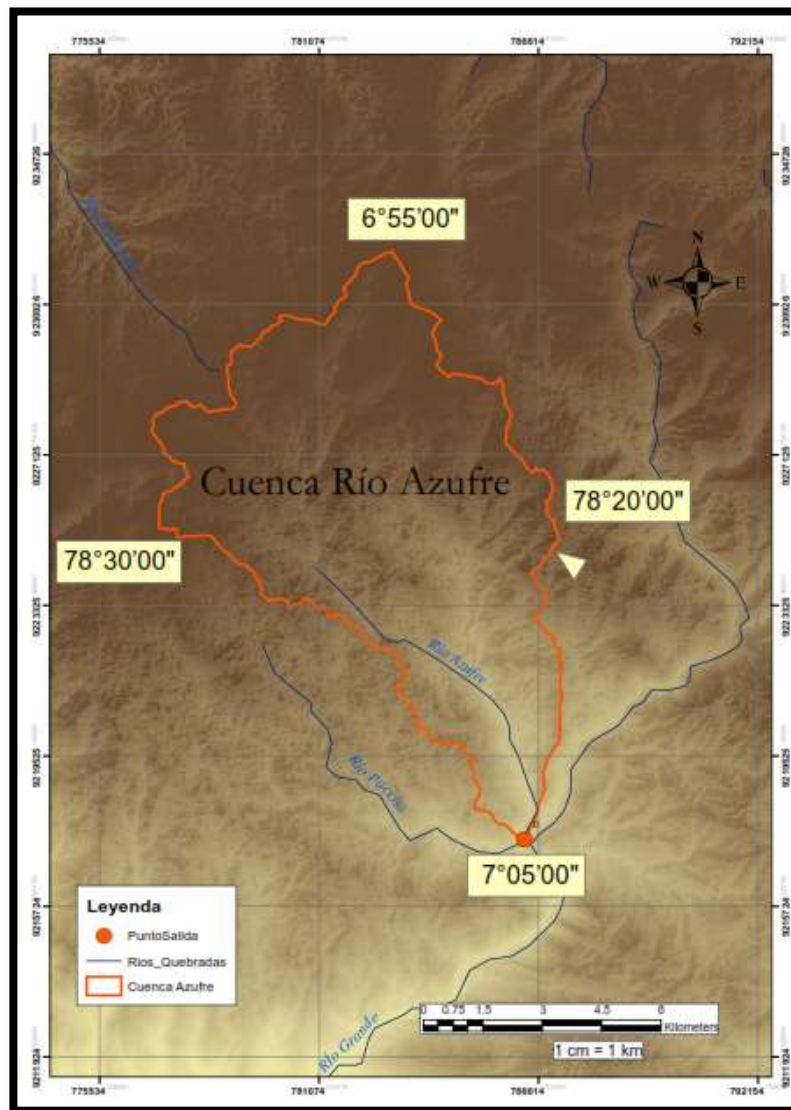
El área en estudio (Cuenca del río Azufre) se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17S:

Este :  $78^{\circ}30'0''$  y  $78^{\circ}20'0''$  de longitud oeste

Norte :  $6^{\circ}55'0''$  y  $7^{\circ}5'0''$  de latitud sur

Cota : 2915 m.s.n.m. y 4187 m.s.n.m.

Figura 19: Ubicación Geográfica



### Punto Emisor:

El punto de captación se encuentra en las siguientes coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17SS:

Coordenada Este: 786286.00 m

Coordenada Norte: 9217437.00 m S

Altura: 2915 m.s.n.m.

Se encuentra ubicado a un costado del cañón Tres Tingos, a 50m del punto de confluencia entre el río Azufre y el Río Grande.

Figura 20: Ubicación del punto emisor

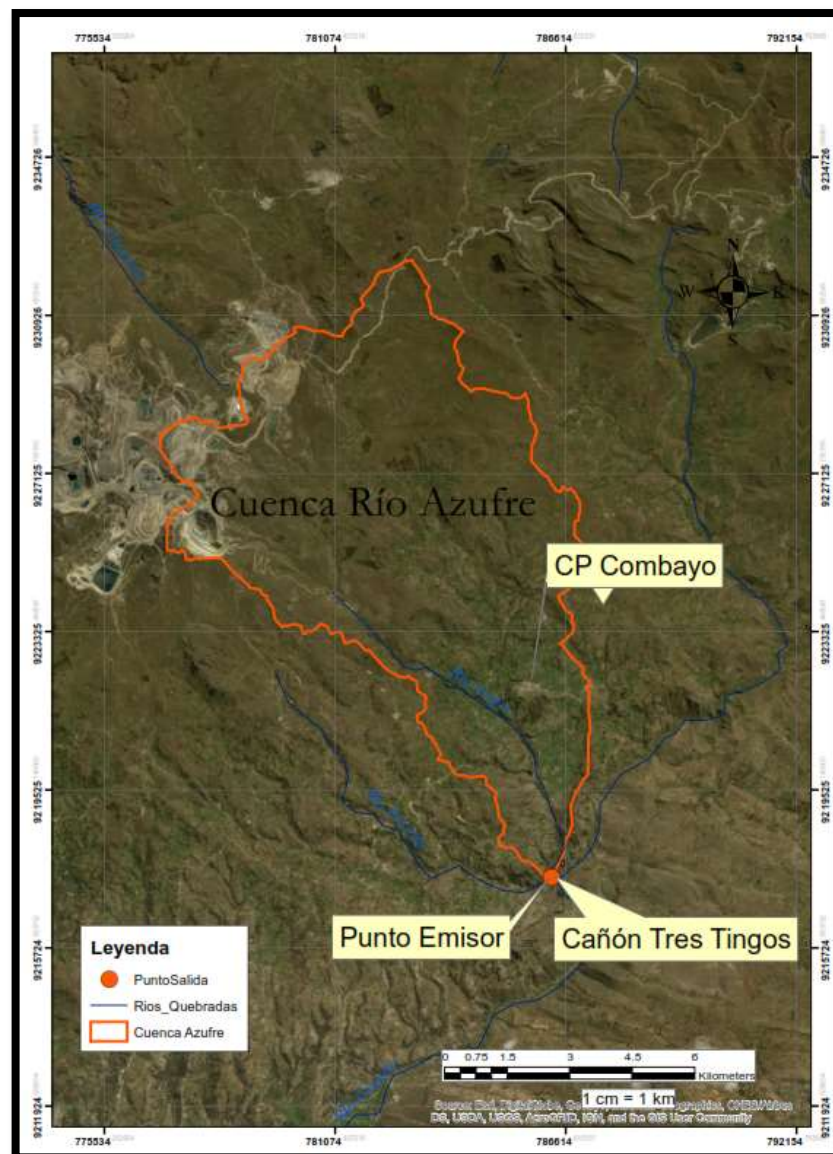




Figura 21: Cañón Tres Tingos, Vista panorámica (confluencia de la Cuenca Azufre y el Río Grande)



Figura 22: Cañón Tres Tingos, Vista en perspectiva (confluencia de la Cuenca Azufre y el Río Grande)



Figura 23: Punto de aforo de la cuenca Azufre a 50 m de la confluencia.



### 3.3 METODOLOGÍA

#### a. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LA RED DE ESTACIONES

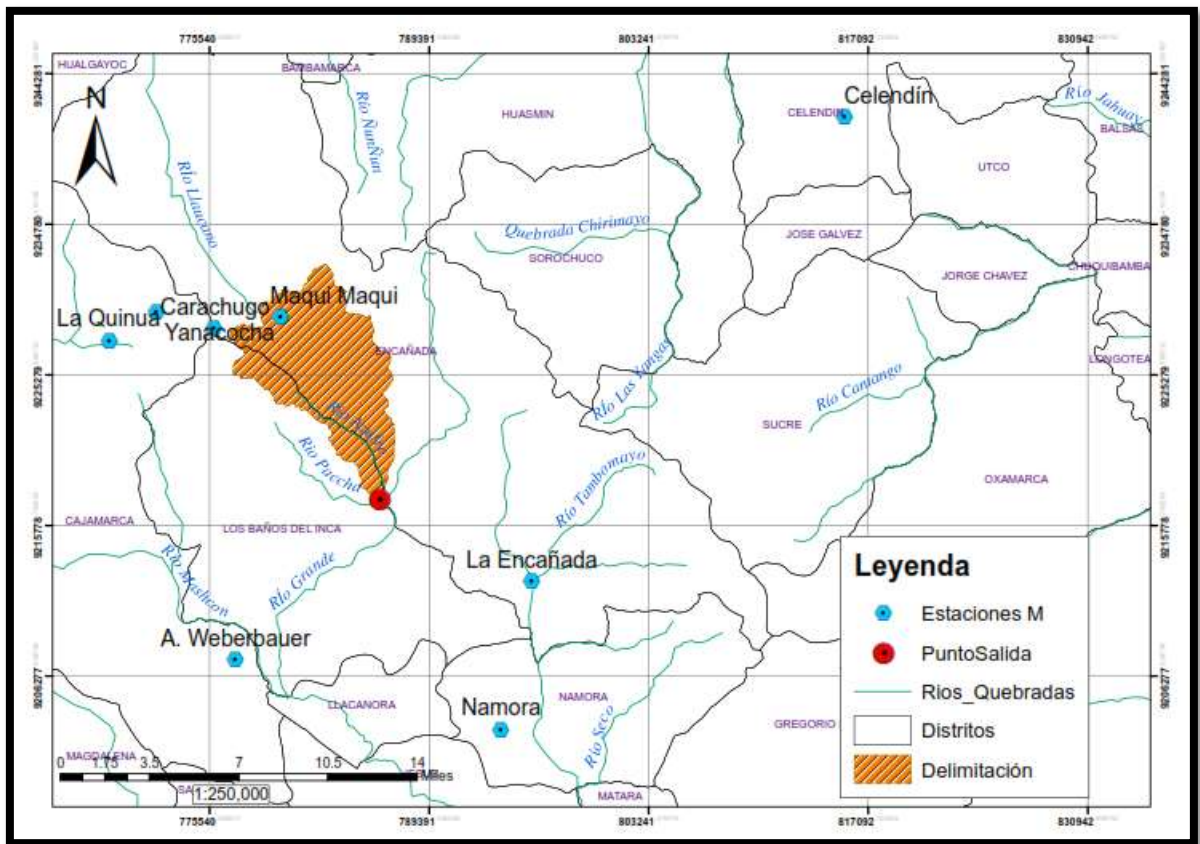
##### METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS

Las estaciones que operan en los alrededores de la cuenca Azufre pertenecen al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y a la empresa Minera Yanacocha S.R.L. (MYSRL) Son las que se muestran a continuación:

Tabla 5: Red de Estaciones Meteorológicas

Código	Nombre	Cuenca	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo de Registro	Operador
000304	Augusto Weberbauer	Crisnejas	9 207 332	777 132	2660	1945 - 2018	SENAMHI
153331	La Encañada	Crisnejas	9 212 493	796 408	2980	1997 - 2018	SENAMHI
000321	Namora	Crisnejas	9 202 917	793 896	2445	1978 - 2018	SENAMHI
000371	Celendín	Alto Marañón	9 240 309	818 506	2470	1996 - 2018	SENAMHI
-----	Yanacocha	Jequetepeque	9 229 180	772 167	3818	1998 - 2018	MYSRL
-----	Maqui Maqui	Crisnejas	9 228 957	780 019	4024	1995 - 2018	MYSRL
-----	Carachugo	Jequetepeque	9 228 200	775 800	3988	1993 - 2018	MYSRL
-----	La Quinoa	Jequetepeque	9 227 473	769 157	3618	1999 - 2018	MYSRL

Figura 24: Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio



Para el estudio de las variables meteorológicas se ha tomado en cuenta la estación más cercana a la zona de estudio (Figura 23: Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio) que es la estación hidrometeorológica Augusto Weberbauer. Para ello se han analizados sus variables climatológicas como se muestra en los siguientes puntos.

## b. TRATAMIENTO CARTOGRÁFICO

La información cartográfica se obtuvo de las cartas del IGN y las imágenes ASTER-GDEM de la NASA, y la información de los mapas temáticos en SIG de libre acceso por parte del Gobierno Regional de Cajamarca, ambas a través de sus portales web. Posteriormente se procesó utilizando el software ARC GIS 10.3, con el que se realizó la delimitación de la cuenca, se identificó la ubicación de las estaciones meteorológicas empleadas en este estudio, se determinaron las características geomorfométricas de la cuenca.

Complementariamente en el cálculo de los parámetros que mejor nos describen a la cuenca en estudio, y la realización de las gráficas necesarias para la adecuada presentación de la información de la cuenca se empleó el software Microsoft Excel 2016.

### **c. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA**

Se creyó conveniente para este estudio aplicar el modelo propuesto por Lutz Scholz con una data de precipitaciones de 40 años, más precisamente en el intervalo de años desde 1976 hasta 2015, para lo cual se identificó, procesó y extendió información obtenida de 08 estaciones meteorológicas, las cuales se encuentran más cercanas o en el mejor de los casos dentro de la cuenca en estudio.

Considerando la cantidad de datos reales y la confiabilidad de los mismos se consideró como estaciones bases a las estaciones Augusto Weberbauer y Namora.

Se emplearon los métodos de completación de datos antes descritos para completar datos faltantes de las otras 6 estaciones (Encañada, La Quinua, Carachugo, Maqui Maqui, Yanacocha y Celendín), con ello se procedió a realizar los cálculos para la determinación de las precipitaciones medias históricas.

La completación de datos y el análisis de consistencia de la información pluviométrica se muestran en los anexos A1 y A2.

### **d. PROCESAMIENTO PARA LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA.**

La data de precipitación media mensual para la aplicación del modelo escogido generalmente se obtiene a través del método de Poligonos de Thiessen el cual es más rápido y práctico, sin embargo, para el presente estudio se creyó conveniente aplicar el Método de Isoyetas, para el cual se agrupó los 30 primeros años en 6 lustros mes a mes y los restantes 10 se realizaron mapas mes a mes pero para cada año individualmente.

### **e. TEMPERATURA MEDIA.**

El modelo requiere de los datos de temperatura media sobre la cuenca, mismos que se obtuvieron de los estudios realizados por el Autoridad Nacional del Agua, y que se encuentran

en el Informe: (EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA CRISNEJAS. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2015). Naturalmente se realizó una descripción desmenuzada de la cuenca Crisnejas, lo cual nos permitió emplear estos datos a nuestro estudio.

#### **f. APLICACIÓN DE MODELO LUTZ SCHOLZ**

Los cálculos realizados para la aplicación del modelo Lutz Scholz corresponden a lo descrito en el capítulo anterior.

##### **Coefficiente de esorrentía**

Para hallar el coeficiente de esorrentía ( $C_i$ ), empleamos la data de temperaturas obtenidas para la cuenca en cuestión, y aplicamos las ecuaciones de L. Turc (14), (15) y (16).

##### **Precipitación Efectiva**

La precipitación efectiva es la lluvia que da origen a las esorrentías directas y al flujo base, y se obtuvo a partir de las precipitaciones totales y el coeficiente de escurrimento, aplicando la ecuación (17).

##### **Retención de la cuenca**

La retención de la cuenca  $R$  se produce en los almacenes naturales: acuíferos, nevados, lagunas y pantanos; y para el cálculo de la retención de la cuenca en estudio utilizamos las ecuaciones (18) y (19).

##### **Almacenamiento hídrico**

Para el cálculo del almacenamiento hídrico, debido a que en la zona en estudio no tenemos presencia de lagunas tampoco de nevados, entonces solo consideramos el almacenamiento considerado en los acuíferos. Este almacenamiento se calcula con la ecuación (21).

##### **Coefficiente de agotamiento**

Debido a que la retención de la cuenca esta entre los valores 50-80 mm/año el coeficiente de agotamiento lo calculamos con la formula (25), no obstante, se tuvo en cuenta la cobertura vegetal de la zona de estudio, pastos, bosques y terrenos cultivados.

##### **Abastecimiento durante la estación lluviosa.**

El abastecimiento ( $A_i$ ) durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. La lámina de agua  $A_i$  que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la precipitación efectiva  $PE_i$ . Se calcula mediante la ecuación (31). El coeficiente de abastecimiento lo obtenemos de la Tabla 5, vista anteriormente.

#### **g. GENERACIÓN DE CAUDALES**

##### **Caudales mensuales para el año promedio**

Para generar los caudales medios mensuales para el año promedio, se utilizó la ecuación (32) que describe la ecuación básica de balance hídrico. Los caudales obtenidos con la ecuación (32) se muestran en unidades de (mm/mes), para convertirlos a ( $m^3/s$ ), es necesario multiplicarlos por el área de la cuenca, dividido entre el número de días del mes, 24h, 60mi, 60seg.

##### **Caudales mensuales para periodos extendidos.**

Para calcular los caudales mensuales para periodos extendidos de la cuenca Azufre, inicialmente se calcularon los parámetros  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $S$ ,  $r$ , sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante una regresión con  $Q_t$  (caudales generados para el año promedio) como valor independiente,  $Q_{t-1}$  y  $PE$  como valores independientes.

#### **h. CAUDALES AFORADOS MEDIANTE TUBO DE PITOT**

El punto de aforo se realizó en las siguientes coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17SS:

Coordenada Este: 786286.00 m

Coordenada Norte: 9217437.00 m S

Altura: 2915 m.s.n.m.

Se encuentra ubicado a un costado del cañón Tres Tingos, a 50m del punto de confluencia entre el río Azufre y el Río Grande.

Se realizaron 04 aforos mediante la metodología descrita en el capítulo anterior, tres de ellos sirvieron para el cálculo de los caudales sintéticos (periodo extendido) como valor inicial de la cadena de Markov. El tercero por otro lado sirvió para cotejar lo obtenido en cálculos con un valor real en el periodo de estiaje (mes de octubre).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO CARTOGRÁFICO

#### Parámetros geométricos

Tabla 6: Parámetros de la Cuenca Azufre

Área de la cuenca	76.103 Km <sup>2</sup>
Perímetro de la cuenca	48.15 Km.
Longitud del cauce principal	26.15 Km.
Longitud de la cuenca	15.204 Km
Ancho de la cuenca	5.00 Km.
<b>C. de Gravelius o índice de compacidad</b>	<b>1.556</b>
Factor de forma	0.33
Pendiente de la cuenca	21.75 %
Altitud media	3385 m.
<b>Coefficiente orográfico</b>	<b>0.1505</b>
Pendiente del cauce principal	3.2 %
Tiempo de concentración	2.89 Horas
<b>Relación de confluencias</b>	<b>4.14</b>

De acuerdo a su tamaño la cuenca se clasifica como Intermedia, hidrológicamente definida como Microcuenca.

La medida del escurrimiento principal de la cuenca, medido desde la parte más alta hasta la salida hasta el punto más bajo del colector común, conocido como punto emisor en la cuenca del ámbito en estudio la longitud del cauce principal. De acuerdo a los rangos de longitud se clasifica como un río de cauce medio.

Como el factor de forma es menor que la unidad podemos afirmar que nos encontramos frente a una cuenca de tipo oval alargada, por ende, la cuenca es menos propensa a grandes crecidas.

De acuerdo a Gravelius, corresponde a una cuenca de Forma oval – alargada a alargada, misma que se confirma con el resultado anterior, y nos presenta una cuenca con una concentración de agua lenta.

Podemos decir que la cuenca es plana con porciones accidentales, puesto que se encuentra dentro del intervalo (0.5, 0.8).

Como se aprecia la curva hipsométrica de la cuenca Azufre corresponde a una cuenca de pie de montaña, en formación. La pendiente de la cuenca es de 21.75%, podemos decir que la cuenca es propensa a la erosión y a una velocidad de arrastre de moderada a fuerte.

Figura 25: Curva Hipsométrica

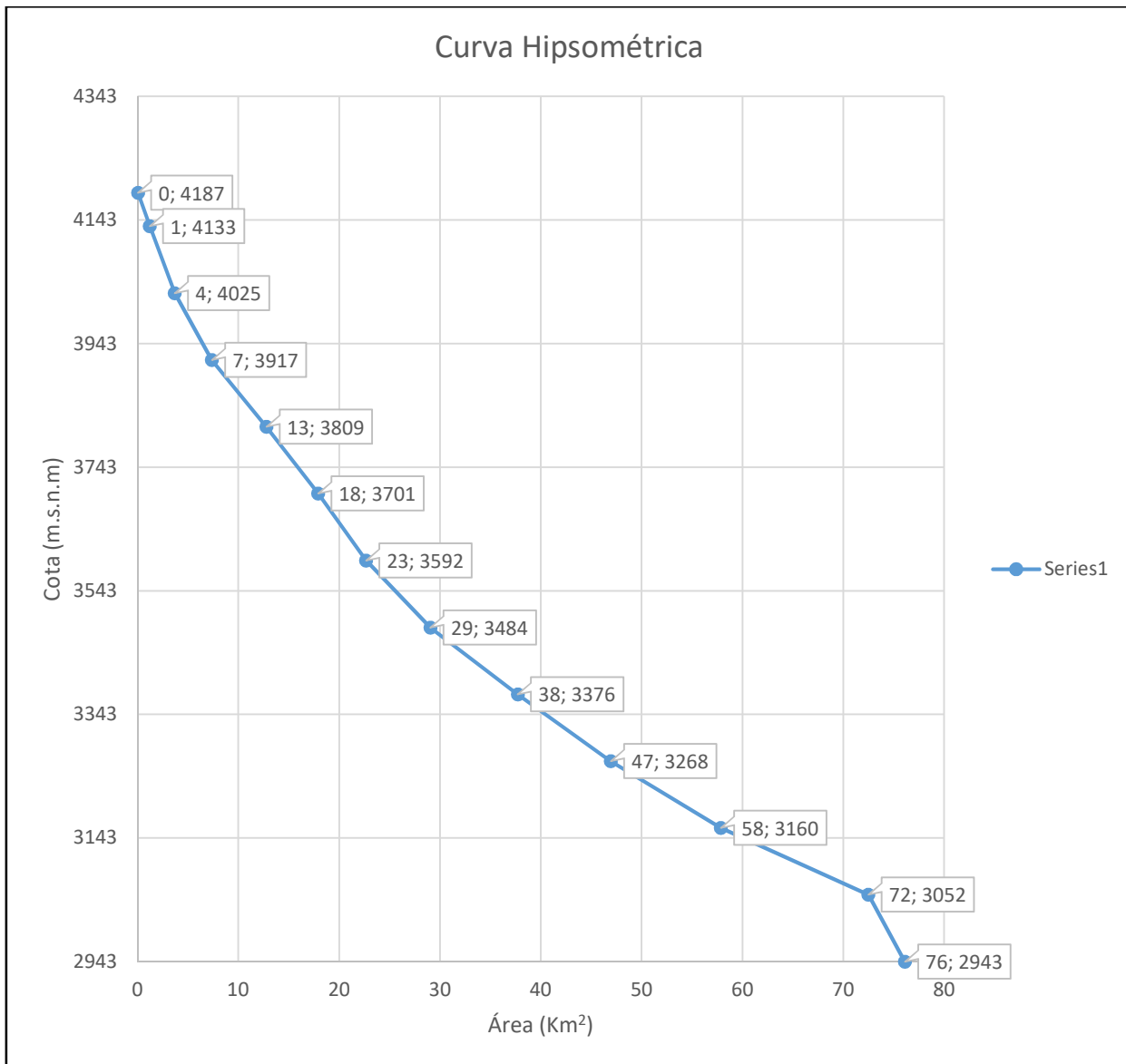
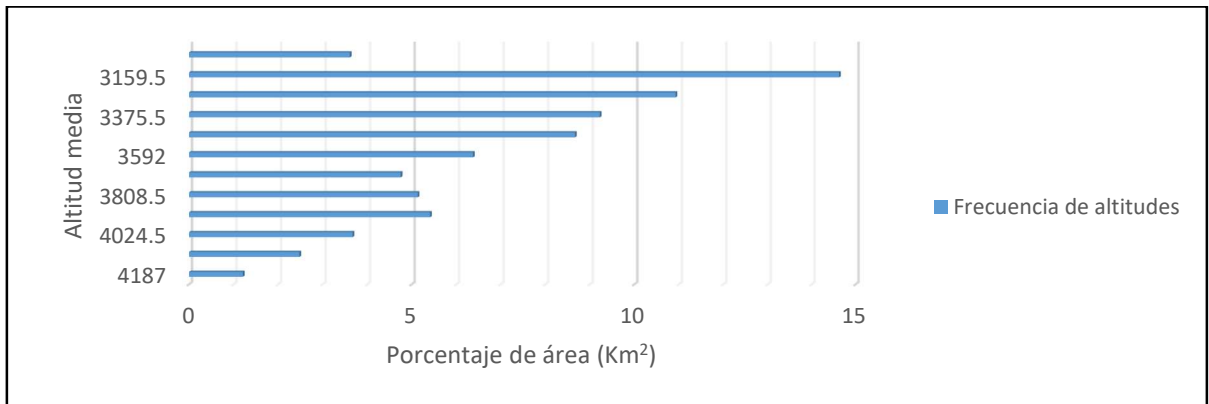




Figura 26: Frecuencia de altitudes

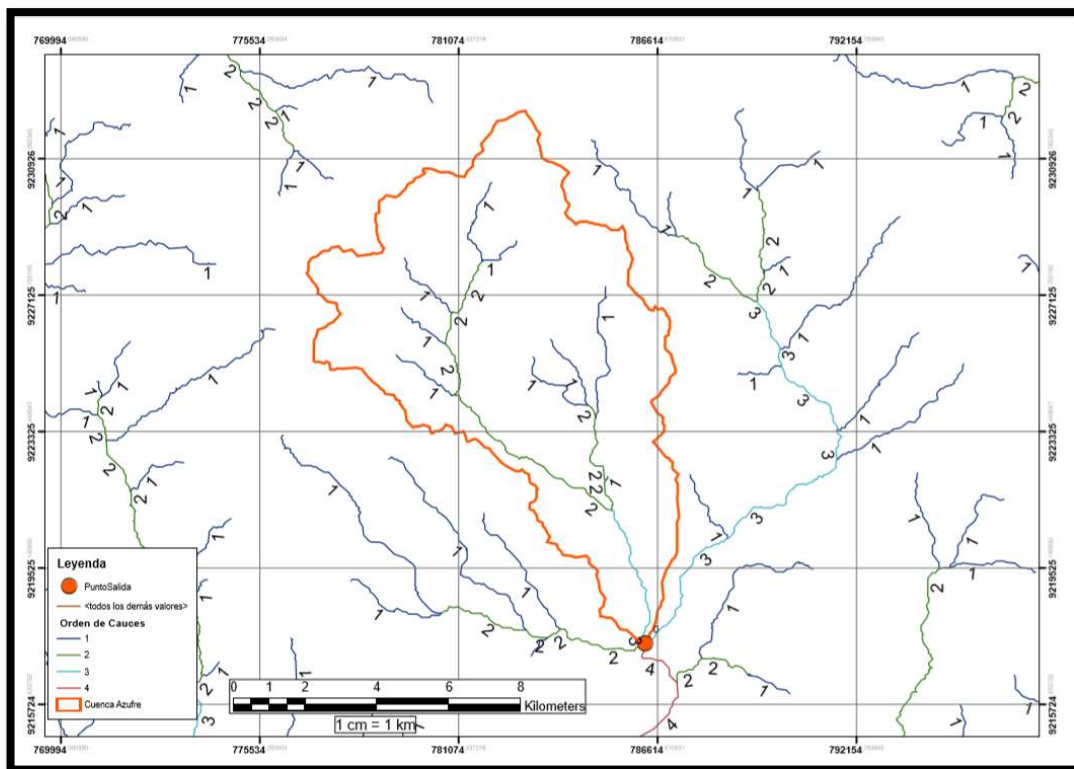


### Parámetros relativos al drenaje

- Orden de los cauces (Horton - Strahler):

Como se puede observar el orden calculado es de 3. Para la determinación de estos parámetros se utilizó el software ARC GIS y se tuvo en cuenta que se trata de una micro cuenca, y las quebradas que solo se activan en el periodo de lluvia.

Figura 27: Mapa de Orden de Cauces



## 4.2 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE LA CLIMATOLOGÍA

### a. TEMPERATURA

Tabla 7: Temperaturas Medias

Temp. Med. Mens. °C	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom.
	15.36	15.31	15.32	15.26	14.60	13.89	13.41	13.90	14.64	15.13	15.08	15.24	14.76

La temperatura media anual ha sido obtenida a partir de la temperatura media mensual, la que a la vez se obtuvo sacando promedio a la media máxima y media mínima mensual.

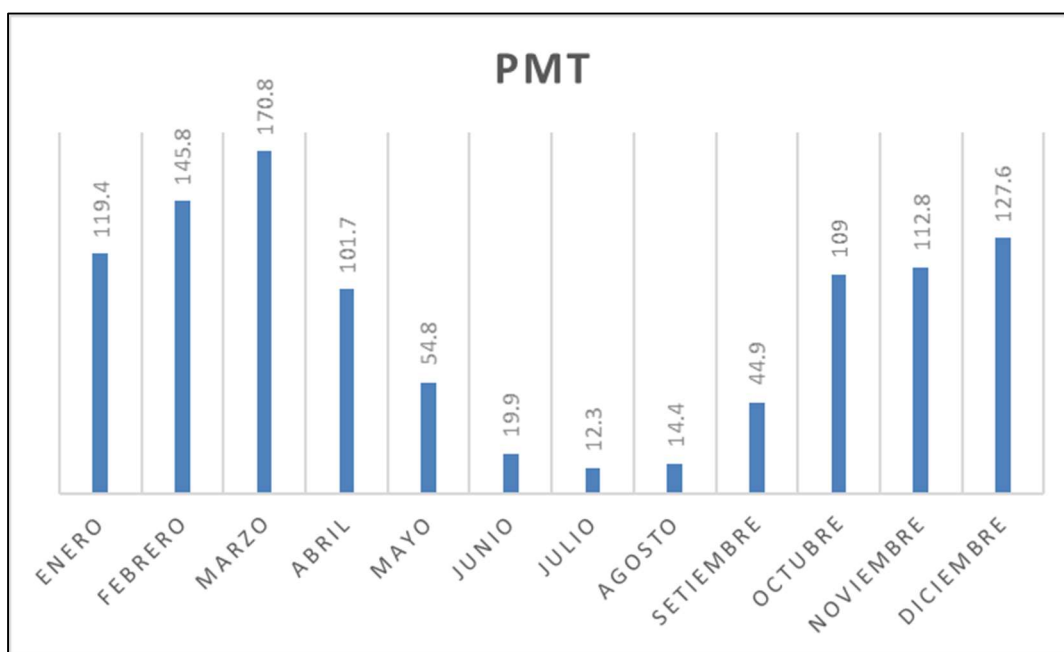
### b. PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA

Tabla 8: Precipitación media multianual mensual (mm) de la cuenca Azufre (1976-2015)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
119.4	145.8	170.8	101.7	54.8	19.9	12.3	14.4	44.9	109	112.8	127.6	1033.4

La precipitación fue obtenida por la metodología de Isoyetas, por considerarse más preciso, como ya se estableció anteriormente se utilizó el Software ARC GIS 10.3, para lo cual se ha usado datos de las estaciones Augusto Weberbauer, La Encañada, Namora, Celendín, Yanacocha, Maqui Maqui, La Quinua y Carachugo.

Figura 28: Precipitación media mensual (mm) para un año hidrológico



### 4.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DETERMINÍSTICO ESTOCÁSTICO LUTZ SCHOLTZ

Tabla 9: Valores para la aplicación del modelo

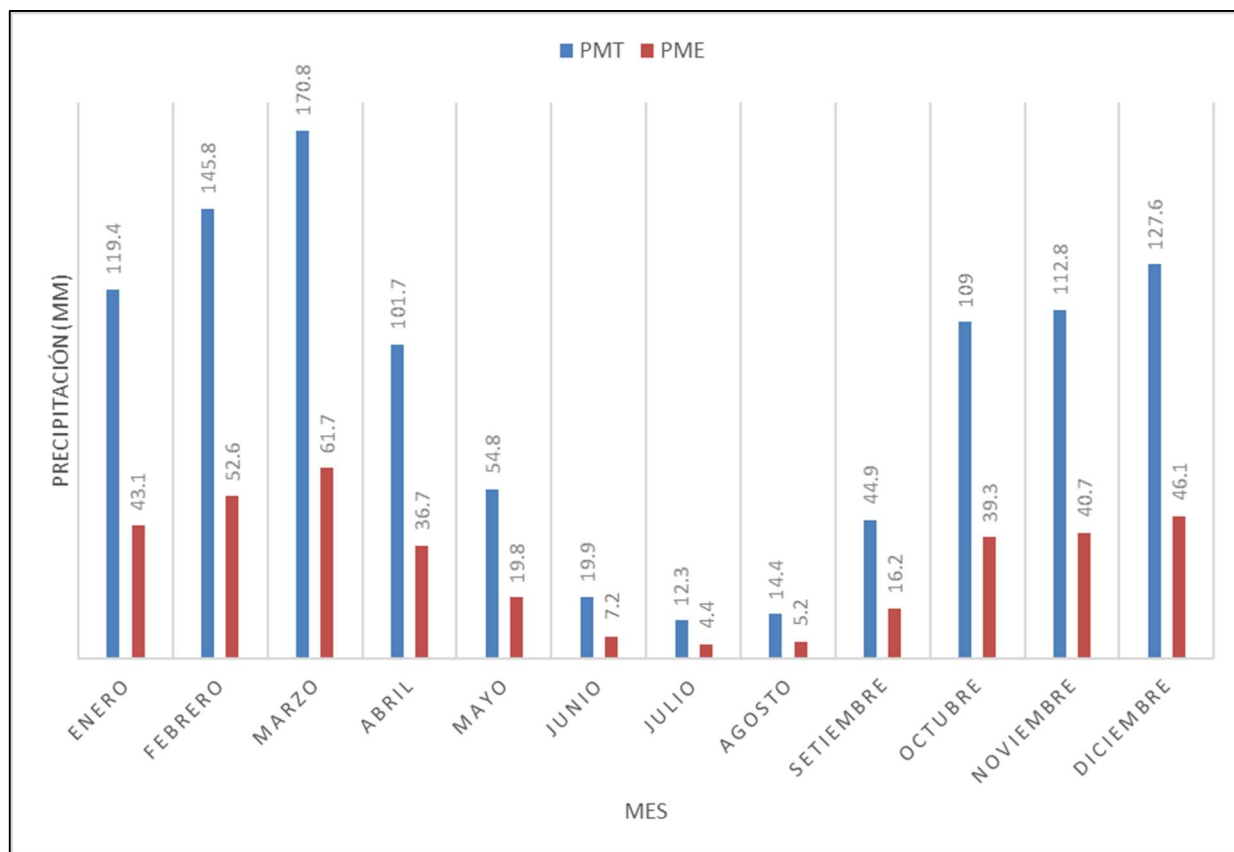
Deficit de escurrimiento	660.1
Coefficiente de escurrimiento	0.361

#### a. PRECIPITACIÓN EFECTIVA:

Tabla 10: Precipitación media efectiva mensual (mm) de la cuenca Azufre (1976-2015):

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PME	43.1	52.6	61.7	36.7	19.8	7.2	4.4	5.2	16.2	39.3	40.7	46.1	373

Figura 29: Precipitación sobre la cuenca Azufre



## b. RETENCIÓN DE LA CUENCA

Tabla 11: parámetros para calcular la retención de la cuenca Azufre.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Coeficiente	Ca =	20	(%)
Área de la cuenca	AR =	76.103	(Km <sup>2</sup> )
Almacenamiento de acuíferos	LA =	317.75	(mm/año)
Pendiente del cauce principal	I =	0.043	m/m
Área de la lagunas	AL =	0.00	(Km <sup>2</sup> )
Almacenamiento de lagunas y pantanos	LL =	500.00	(mm/año)
Área de los nevados	AN =	0.00	(Km <sup>2</sup> )
Almacenamiento de nevados	LN =	500.00	(mm/año)

De acuerdo de la clasificación previa (cuenca con agotamiento mediano) el valor de la retención se estima en 80 mm/año.

El valor de la Retención “R” es 63.55 mm/año, según la bibliografía revisada anteriormente se trata de una cuenca con agotamiento rápido (valores de R comprendidos entre 50 y 80 mm/año) y vegetación poco desarrollada, no obstante, el valor asumido para la retención se ha creído conveniente en 80 mm/año, puesto que luego de la inspección de campo se pudo constatar que presenta una vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados), y además el área que corresponde a una ecoregión puna (3800 – 4000 msnm) solo corresponde a un 10% del total de la cuenca:

## c. COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO

Considerando las características climatológicas y geomorfológicas se ha optado por considerar la cuenca de estudio dentro del tipo Cuencas con agotamiento mediano. Cuya Retención mediana es de (80 mm/año).

$$\alpha = 0.01508$$

## d. RELACIÓN ENTRE DESCARGA Y RETENCIÓN

$$Q_0 = 0.636$$

### e. RELACIÓN DE CAUDALES DEL FLUJO BASE

La relación de caudales de flujo base se obtiene para los meses de estiaje de abril a septiembre.

Tabla 12: Valores de la relación de caudales del flujo base, para meses de estiaje.

Mes	n° días	bo
Abril	30	0.636
Mayo	31	0.405
Junio	30	0.257
Julio	31	0.164
Agosto	31	0.104
Septiembre	30	0.066
suma	bm =	1.632

### f. GASTO DE LA RETENCIÓN

Tabla 13: Gasto de la retención para los meses de estiaje en la cuenca Azufre.

Mes	G <sub>i</sub> (mm/mes)
Abril	31.2
Mayo	19.8
Junio	12.6
Julio	8.0
Agosto	5.1
Septiembre	3.2

El gasto de la retención de la cuenca  $G_i$ , es el aporte de la escorrentía, de las aguas subterráneas en los meses de estiaje (meses de abril a septiembre), está en función a la retención “R”, la relación de caudales del flujo base (bo) y la suma de factores mensuales durante la estación de estiaje ( $\Sigma bo = bm$ ).

### g. ABASTECIMIENTO

Existen coeficientes calculados para algunas regiones del Perú, dentro de ellas Cajamarca, los mismos que se presentan a continuación:

Tabla 14: Valores mensuales de Abastecimiento para la región Cajamarca.

Región/mes	oct	nov	dic	ene	feb	mar	Tot.
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Tabla 15: Abastecimiento de la retención para meses lluviosos.

Mes	Ai (mm/mes)
Octubre	20
Noviembre	-4
Diciembre	0
Enero	16
Febrero	20
Marzo	28

### g. GENERACIÓN DE CAUDALES

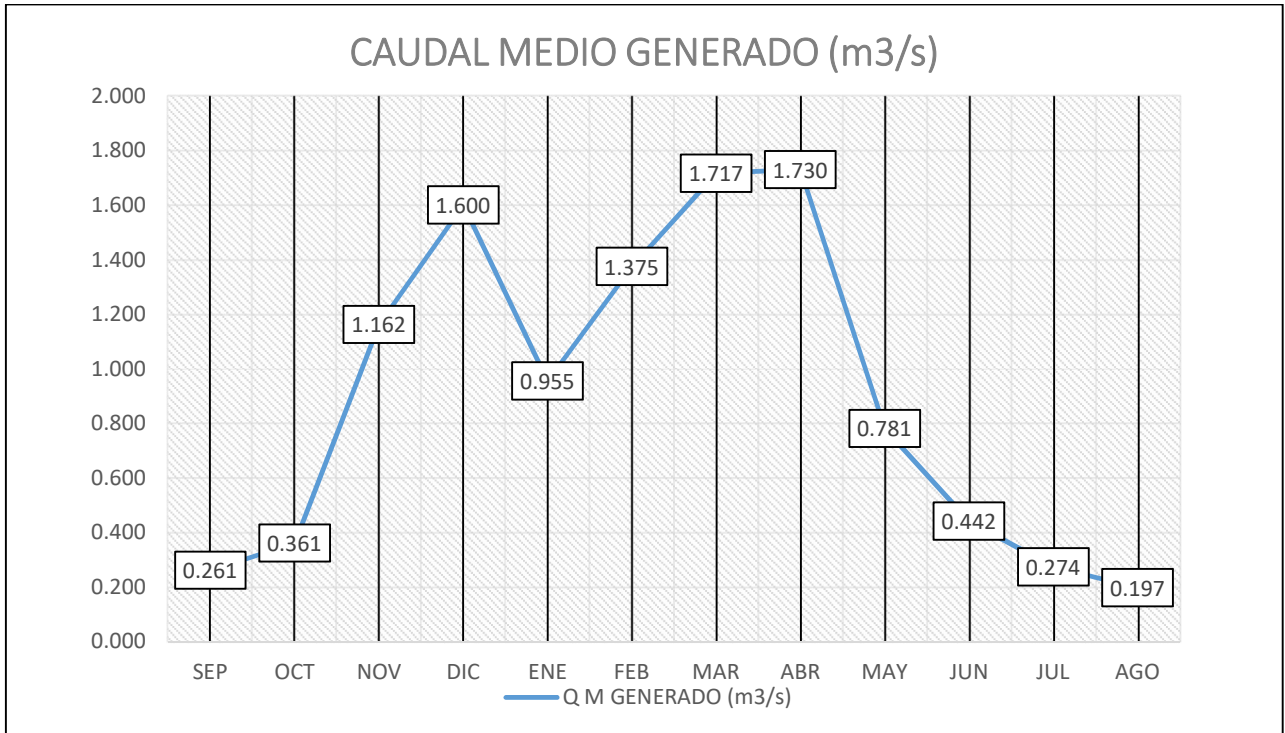
#### Generación de caudales para un año promedio

Los siguientes caudales fueron creados mediante las ecuaciones (Ec. 29 y Ec. 30):

Tabla 16: Caudales mensuales promedio generados

MES	N° días del mes	CONTRIBUCIÓN DE LA RETENCIÓN						CAUDAL ES m3/s
		PE mm/mes	Gasto		Abastecimiento			
			bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes		
1	2	8	9	10	11	12	13	14
ENE	31	43.1			0.2	16	33.62	<b>0.955</b>
FEB	28	52.6			0.25	20	43.7155	<b>1.375</b>
MAR	31	61.7			0.35	28	60.4154	<b>1.717</b>
ABR	30	36.7	0.6	31.2			58.937	<b>1.730</b>
MAY	31	19.8	0.4	19.8			27.4869	<b>0.781</b>
JUN	30	7.2	0.3	12.6			15.0439	<b>0.442</b>
JUL	31	4.4	0.2	8.0			9.62572	<b>0.274</b>
AGO	31	5.2	0.1	5.1			6.94067	<b>0.197</b>
SEP	30	16.2	0.1	3.2			8.90347	<b>0.261</b>
OCT	31	39.3			0.25	20	12.7169	<b>0.361</b>
NOV	30	40.7			-0.05	-4	39.5881	<b>1.162</b>
DIC	31	46.1			0	0	56.3263	<b>1.600</b>
AÑO		373.0	1.632	80	1.00	80.0	373.3	0.9
Coeficiente C:		0.361						

Figura 30: Caudal medio generado



### h. CAUDALES MENSUALES PARA UN PERIODO EXTENDIDO

Teniendo los caudales generados para el año promedio se ha procedido a calcular los parámetros de regresión lineal múltiple mediante un cálculo de regresión con  $Q_t$  como valor dependiente y  $Q_{t-1}$  y PE como valores independientes, tal como se especificó en el marco teórico.

Tabla 17: Series y coeficientes estadísticos para la regresión múltiple

MES	$Q_t$	$Q_{t-1}$	PE
ENE	33.6	56.3	49.6
FEB	43.7	33.6	63.7
MAR	60.4	43.7	88.4
ABR	58.8	60.4	27.8
MAY	27.5	58.8	7.7
JUN	15.1	27.5	2.4
JUL	9.7	15.1	1.6
AGO	7.0	9.7	1.8
SEP	8.9	7.0	5.7
OCT	12.7	8.9	32.7
NOV	39.6	12.7	35.6
DIC	56.33	39.6	56.33

Tabla 18: Parámetros de regresión lineal múltiple.

B1	4.095
B2	0.396
B3	0.472
S	13.377
R2	0.819

Se calculó la precipitación efectiva a partir de la precipitación media para el periodo de 40 años a partir de 1976 hasta el año 2015 (Ver anexo A.5).

Se generó números aleatorios para un mismo periodo que la PE con distribución normal de media 0 y desviación estándar 1.

El proceso de generación de caudales requiere un valor inicial, el cual se obtuvo del promedio de tres aforos realizados durante el mes de enero, con intervalos de una semana donde se obtuvo un valor de  $0.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , y cuyos cálculos se presentan en el anexo A.5.

#### **i. AFORO DEL MES DE OCTUBRE**

En el mes de octubre se realizó un aforo para apreciar y comparar los resultados del modelo con el real (Anexo A.5 Tabla 38), para ello se obtuvo un caudal de  $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que según el modelo debería encontrarse en el intervalo de  $(0.36 \text{ y } 1.16 \text{ m}^3/\text{s})$ , no obstante, es necesario resaltar que el presente año se registra un periodo de lluvias inusual y adelantado, además durante la realización del aforo se apreciaron lluvias constantes.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Luego de determinar las características geomorfométricas de la cuenca Azufre podemos considerarla como una microcuenca, característica de la sierra peruana con altitudes medias altas, pendientes pronunciadas lo que la vuelve susceptible a la erosión y se puede apreciar en su geología, además es poco susceptible a inundaciones. El cauce principal tiene una pendiente de pronunciada, las velocidades de escurrimiento de las corrientes de agua en la cuenca hidrográfica son moderadamente elevadas, naturalmente tratándose de un cauce de alta montaña.
- En cuanto a la climatología, luego de procesar la información de las estaciones más próximas a la cuenca Azufre se determinó que nos encontramos ante climas fríos, la precipitación pluvial muestra un régimen característico de los meses lluviosos y meses con escasa precipitación pluvial, siendo el mes más lluvioso el mes de marzo, el mes con menor pluviosidad es julio.
- Al aplicar el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz, se logró determinar los caudales medios mensuales generados por la cuenca del Río Azufre tomando como punto de descarga al cañón Tres Tingos. Estos caudales varían en relación al régimen de precipitación pluvial de la cuenca; de tal forma que en los meses lluviosos varía de 1.73 m<sup>3</sup>/s a 0.78 m<sup>3</sup>/s y en los meses de estiaje de 0.442 m<sup>3</sup>/s a 0.197 m<sup>3</sup>/s. Se determinó además la siguiente ecuación para el periodo extendido:

$$Q_t = 4.095 + 0.396 * Q_{t-1} + 0.472 * PE_t + Z * 13.377\sqrt{(1 - 0.819^2)}$$

La misma que se aplicará para estimar la disponibilidad hídrica en la formulación de los eventuales proyectos que requieran dicho dato en la etapa de formulación.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos por la presente metodología son relativamente limitados por la falta de información hidrométrica de la zona de estudio, es por ello que se recomienda a las instituciones encargadas de administrar el recurso hídrico, tales como Autoridades Locales del Agua, realizar aforos periódicos mismos que servirán de mucho en la formulación de estudios futuros.
- Se recomienda mejorar la accesibilidad a la información meteorológica. por parte de las instituciones correspondientes, en tanto se requiera con fines educativos o de investigación, puesto que esta representa una gran limitación al momento de realizar la gestión necesaria para su obtención.
- Se recomienda realizar un estudio complementario de las demandas de agua en la zona, de tal forma que se pueda realizar un balance oferta – demanda del recurso disponible, de tal forma que se puedan tomar medidas para la conservación y el uso adecuado del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE NÚÑEZ, M. (2006) *Modelos Matemáticos En Hidrología*. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- ALIAGA ARAUJO, VITO. (1985) *Hidrología–Tratamiento de Datos*. Editorial MacGrawill. Lima–Perú.
- ESTRELA, T. Y QUINTAS, L. (1996) *El sistema integrado de modelización Precipitación Aportación SIMPA*, Ingeniería Civil n°104, CEDEX, Ministerio de Fomento - Madrid.
- ESTUDIO DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO YAUCA. (2003) Ministerio de Agricultura, Informe técnico. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Dirección General de Aguas y Suelos.
- EVALUACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO PISCO. (2003) Ministerio de Agricultura, Informe técnico. Intendencia de Recursos Hídricos, Administración Técnica del distrito de Riego Chinca Pisco.
- GASPARI, F. J. (2012) *Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. Séptimo congreso de medio ambiente AUMG. La Plata Argentina.
- GLIESSMAN, S. (1998) *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica.
- GONZÁLES IGUALDA, R. (2008) *Instrumentación Y Control-Módulo De Abastecimiento Y Saneamiento*. MADRID: Escuela De Organización Industrial. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua.
- HORTON, R. E. (1945) *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geological Society of America Bulletin. U.S.A.
- LUTZ SCHULZ. (1980) *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra del Perú*. Plan Meris II. Cuzco–Perú.

- LUX CARDONA, B. (2016) *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- MADEREY, L. (2005) *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. Instituto de Geografía (en línea). Disponible en: [www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia](http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia).
- MARTINEZ, A. (1999) *Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre sig. departamento de construcción y vías rurales*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid.
- ORTIZ, O. (2015) *Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- P. GOUROU Y L. PAPY. (1971) *Compendio de Geografía General*. Edición N° 5. Editorial RIALP. Madrid, España. Pag 156 -157
- ROJAS, R. (2009) *Hidrología Aplicada al Manejo de Cuencas*. Universidad Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela.
- SÁNCHEZ, CABANILLAS, MIRANDA, POMA, DÍAZ & TERRONES. (2006) *La Jalca. (Ecosistema Frío del Noreste Peruano, Fundamentos Biológicos y Ecológicos)*. Cajamarca, Perú.
- SOVERO, H. (1991) *Modelo matemático de transformación precipitación – descarga con aplicación a la cuenca del río Huancané*. Tesis Ing. Agrícola, UNALM, Lima, Perú.
- TARAZONA SANTOS, EDILBERTO N. (2005) *Generación de descargas mensuales en sub- cuencas de la cuenca del Río Santa utilizando el método de Lutz Scholz*. Tesis. Universidad Nacional Agraria LA MOLINA .Lima - Perú.
- TERÁN GUEVARA, N. (2014) *Volumen aprovechable en la microcuenca del río Tres Ríos, usando el modelo determinístico-estocástico Lutz Scholz, validado para los años hidrológicos 2008-2012*. Tesis. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú.

- VILLÓN BÉJAR, M. (2002) *Hidrología*. LIMA: Edit. Villón.
- WHITEMAN, C. (2000) *Meteorología de Montañas: Fundamentos y Aplicaciones*. Oxford: Oxford University Press.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. PLANILLAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS

Tabla 19: Precipitación Mensual completada Estación Augusto Weberbauer.

ESTACION : A. WEBERBAUER															
NORTE														DEPARTAMENTO	CAJAMARCA
ESTE														PROVINCIA	CAJAMARCA
COTA														DISTRITO	CAJAMARCA
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC			
1976	130.4	62.9	81.3	17.2	43.0	23.0	0.1	4.4	12.3	32.2	71.6	44.4			
1977	129.9	146.4	141.9	42.6	25.5	8.0	7.5	0.1	16.1	53.4	58.4	68.2			
1978	12.7	34.4	48.8	37.0	65.6	3.9	4.4	3.8	25.0	24.4	54.0	44.8			
1979	84.1	81.6	159.7	37.1	16.3	1.8	7.5	15.7	33.6	24.4	26.3	46.6			
1980	34.9	42.4	65.0	29.3	6.9	15.1	3.2	6.7	2.3	130.4	111.0	106.7			
1981	78.2	186.5	105.7	33.7	14.7	6.6	7.2	12.7	22.0	111.9	45.6	111.3			
1982	71.7	102.9	74.6	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4			
1983	116.6	75.0	152.8	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	28.1	118.4			
1984	24.7	233.6	123.8	80.0	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	104.1			
1985	24.6	42.4	37.2	41.9	53.0	0.4	4.8	18.3	37.3	50.0	23.9	40.3			
1986	84.4	47.7	96.8	120.2	16.2	0.6	1.2	14.6	1.3	43.6	66.2	51.8			
1987	98.2	95.2	39.2	52.2	9.1	4.0	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	61.5			
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0.0	0.4	32.9	69.4	65.2	63.4			
1989	87.0	158.8	113.5	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	47.1	27.2			
1990	101.8	68.5	58.3	27.4	39.5	24.6	0.8	7.1	20.1	87.6	99.1	72.3			
1991	43.8	90.0	133.7	55.2	17.9	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	55.1	71.9			
1992	52.6	31.8	66.6	46.5	18.9	21.2	4.6	10.0	40.8	64.0	32.0	34.1			
1993	61.0	112.2	245.0	102.9	30.2	1.9	3.3	2.9	51.4	106.3	71.4	84.1			
1994	116.9	103.1	170.2	144.9	35.3	3.3	0.0	0.2	11.9	27.2	89.8	122.6			
1995	44.7	108.3	75.7	49.7	20.6	1.7	13.2	10.8	11.5	51.8	50.5	76.4			
1996	65.2	124.0	120.1	50.4	13.7	0.8	0.5	15.8	13.9	76.2	68.8	34.1			
1997	63.8	152.9	26.5	40.4	17.0	15.4	0.2	0.0	27.4	50.8	119.9	129.4			
1998	103.0	116.5	257.0	83.9	19.6	4.8	1.3	4.7	17.8	79.6	29.1	47.9			
1999	94.8	242.7	69.5	65.0	53.7	22.8	22.1	1.2	81.4	21.7	77.0	68.8			
2000	46.0	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	13.4	56.6	9.9	44.5	122.3			
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	48.1	2.3	13.9	0.0	34.4	46.2	93.4	90.9			
2002	27.0	60.0	133.1	77.2	23.0	8.8	10.7	3.4	14.6	90.3	99.9	86.1			
2003	51.1	61.4	103.6	42.1	30.7	22.3	1.8	10.6	14.8	46.0	63.8	80.7			
2004	36.1	102.0	56.9	44.5	42.4	2.1	13.8	29.4	19.0	63.4	92.6	123.7			
2005	84.9	53.7	136.6	54.0	7.2	4.5	0.6	3.5	31.2	92.3	30.0	87.8			
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	23.9	1.8	6.1	33.6	12.7	60.4	81.7			
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29	1.4	10.7	6.4	11.6	117.2	97.6	68.8			
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.4	2.3	11.7	34.7	96.5	72.2	24.4			
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.9	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2			
2010	49.5	112.9	154	88.4	31.6	8.6	2.6	1.3	28.9	43.4	52.5	70.8			
2011	76.6	73.3	125.2	102	16.7	0.4	8.3	0	47.1	31.5	24.4	109.7			
2012	154.2	134.7	126.4	72.8	51.5	0.2	0	2.5	19.1	83.2	120.3	58.3			
2013	61.5	98	213.3	73.8	85.6	7.5	5.7	21.5	3.7	205.8	20.4	161			
2014	75.7	68	134.2	78.8	26.9	5	2	3.9	27.7	26.5	45.7	114.9			
2015	184.7	55.4	202.2	63	75.8	3	4.4	0.1	27.8	16.8	99.6	39.5			
<b>MEDIA</b>	<b>82.8</b>	<b>99.4</b>	<b>121.5</b>	<b>68.3</b>	<b>31.7</b>	<b>9.1</b>	<b>5.6</b>	<b>7.3</b>	<b>27.0</b>	<b>65.4</b>	<b>66.4</b>	<b>77.2</b>			

Tabla 20: Precipitación Mensual completada Estación La Encañada.

ESTACION : LA ENCAÑADA												
NORTE	9212281.832						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	795823.8						PROVINCIA : CAJAMARCA					
COTA	2862						DISTRITO : LA ENCAÑADA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	168.1	84.1	107	27.1	59.3	34.4	5.8	11.2	21	45.8	94.9	61
1977	167.5	188	182.4	58.8	37.5	15.7	15.1	5.8	25.8	72.2	78.4	90.7
1978	21.5	48.6	66.5	51.8	87.4	10.6	11.2	10.4	36.8	36.1	73	61.5
1979	110.5	107.3	204.6	51.9	26	8	15.1	25.3	47.6	36.1	38.5	63.8
1980	49.2	58.5	86.7	42.2	14.3	24.5	9.7	14.1	8.6	168.1	144	138.6
1981	103.1	238	137.4	47.7	24	13.9	14.7	21.5	33.1	145.1	62.5	144.3
1982	95	133.9	98.6	116.2	53.3	15.4	8.3	13.9	60.4	161.1	89.5	114.6
1983	150.9	99.1	196	137.4	44.4	18.3	17.7	9.1	29.6	113.9	40.7	153.2
1984	36.5	296.6	159.9	105.3	92.3	37	34.9	29	51.4	91.1	127.3	135.4
1985	36.4	58.5	52	57.9	71.7	6.2	11.7	28.5	52.2	68	35.5	55.9
1986	110.8	65.1	126.3	155.4	25.9	6.5	7.2	23.9	7.3	60	88.2	70.2
1987	128	124.3	54.5	70.7	17	10.7	19.2	21	54.9	52	98.2	82.3
1988	142.3	137.1	61.5	124.8	18.9	12.4	5.7	6.2	46.7	92.1	86.9	84.7
1989	114.1	203.5	147.1	112.1	29.1	26.5	9.7	13.1	72.3	138.5	64.4	9.1
1990	132.5	91	78.3	39.8	54.9	36.4	6.7	14.6	30.7	114.8	129.1	95.8
1991	60.3	117.8	172.2	74.5	28	6.6	6.2	6.1	18.4	40.8	74.3	95.3
1992	71.2	45.3	88.7	63.6	29.3	32.1	11.4	18.2	56.5	85.4	45.6	48.2
1993	81.7	145.4	310.8	133.9	43.3	8.1	9.8	9.3	69.7	138.1	94.6	110.5
1994	151.3	134.1	217.7	186.2	49.7	9.8	5.7	6	20.5	39.6	117.6	158.4
1995	61.4	140.6	100	67.6	31.4	7.8	22.2	19.2	20	70.2	68.6	100.9
1996	86.9	160.1	155.3	68.5	22.8	6.7	6.3	25.4	23	100.6	91.4	48.2
1997	85.2	196.1	38.7	56	26.9	24.9	6	5.7	39.8	69	155	166.9
1998	102.1	196.0	223.3	181.7	71.5	6.2	0.5	8.4	36.3	132.7	40.4	86.6
1999	115.3	294.8	108.7	99.7	102.8	62.9	11.0	9.3	132.8	30.3	125.3	143.4
2000	46.9	155.9	184.7	106.7	89.7	18.2	0.9	20.0	88.1	4.7	50.4	117.4
2001	238.0	72.4	203.8	105.1	60.7	0.5	2.7	0.8	30.9	129.3	101.8	86.4
2002	42.9	89.4	241.1	117.7	12.6	14.1	4.4	1.1	28.8	159.2	171.7	146.5
2003	33.1	80.6	145.5	93.0	37.8	38.3	0.0	9.9	41.9	93.8	124.4	85.0
2004	95.4	72.5	54.6	91.1	39.8	5.8	21.7	0.5	44.2	173.2	108.5	171.2
2005	119.6	107.1	260.8	51.2	42.0	12.4	1.2	7.0	13.4	205.5	38.2	145.4
2006	74.6	134.7	292.1	124.5	14.8	41.8	11.4	4.9	65.4	61.2	106.9	91.7
2007	93.1	44.8	259.4	140.5	70.9	0.0	9.4	5.3	26.4	133.1	127.5	92.9
2008	104.1	149.0	175.9	151.5	44.0	15.2	9.2	22.6	53.7	140.9	119.7	37.7
2009	222.7	70.9	215.2	122.8	75.2	9.3	12.5	10.5	6.8	90.0	115.3	66.6
2010	70.0	94.8	184.3	123.0	39.8	11.8	7.7	0.0	35.7	100.0	98.9	94.0
2011	66.4	96.8	153.6	139.6	32.9	0.4	13.1	0.0	51.2	52.1	93.8	149.5
2012	166.1	101.5	108.0	108.3	59.7	10.6	0.0	7.7	1.5	169.6	152.8	56.0
2013	72.7	96.9	181.5	39.4	74.4	11.2	3.6	19.1	0.0	177.3	18.6	138.9
2014	90.3	138.9	175.4	95.3	79.8	0.0	0.3	0.6	44.1	91.9	100.1	135.9
2015	188.3	71.4	260.7	70.4	104.1	3.3	5.3	0.0	3.0	27.8	170.5	23.2
<b>MEDIA</b>	<b>102.7</b>	<b>123.5</b>	<b>156.8</b>	<b>95.3</b>	<b>48.5</b>	<b>15.9</b>	<b>9.4</b>	<b>11.6</b>	<b>38.3</b>	<b>97.8</b>	<b>94.1</b>	<b>98.9</b>



Tabla 21: Precipitación Mensual completada Estación Namora.

ESTACION : NAMORA												
NORTE	9202916.98						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	793896.43						PROVINCIA : CAJAMARCA					
COTA	2445						DISTRITO : NAMORA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	160.5	78.3	100.7	22.6	54.1	29.7	1.7	7	16.6	40.8	88.9	55.7
1977	159.9	180	174.5	53.6	32.7	11.4	10.8	1.7	21.3	66.7	72.7	84.8
1978	23.6	73.9	40.3	79.5	134.2	4.1	24.3	4.0	24.7	46.3	47.0	101.9
1979	69.3	167.3	115.8	45.0	20.4	1.3	18.0	23.1	35.4	10.7	37.1	54.1
1980	38.8	17.2	124.7	30.7	30.0	3.1	0.0	8.1	4.5	238.4	149.6	22.8
1981	107.4	156.0	29.0	19.9	41.0	19.4	0.0	23.6	14.1	122.6	19.8	94.7
1982	78.2	23.7	77.0	60.1	45.6	0.0	9.9	0.0	70.8	143.0	154.9	157.3
1983	176.9	41.1	138.0	196.9	65.0	32.7	7.5	15.0	0.0	101.1	28.6	37.1
1984	9.8	225.5	75.6	93.9	38.6	9.7	14.9	16.6	0.0	155.1	82.9	43.9
1985	24.9	46.9	48.5	192.3	38.1	8.2	51.1	19.6	30.0	23.2	40.7	86.0
1986	124.3	63.4	85.8	141.4	36.8	0.0	2.5	7.1	3.9	51.9	78.5	88.9
1987	267.0	124.9	86.6	91.5	16.3	4.6	10.7	12.7	52.4	43.5	101.1	91.2
1988	150.5	106.2	52.5	160.3	11.4	6.3	0.0	0.0	26.9	63.9	86.6	41.3
1989	62.3	144.2	115.1	135.3	31.3	21.4	4.1	10.2	36.5	97.6	1.3	5.4
1990	84.9	99.7	49.1	47.7	25.9	24.1	1.5	6.3	16.7	194.6	195.2	60.0
1991	38.5	99.9	160.5	48.2	43.6	2.3	0.0	0.0	38.7	65.2	61.9	96.6
1992	28.1	35.0	54.8	48.9	22.4	21.1	2.9	11.3	30.8	137.6	33.6	44.0
1993	94.9	176.5	225.2	148.6	55.0	5.8	0.0	11.2	72.9	92.0	74.0	136.0
1994	137.9	162.8	262.6	137.4	23.7	14.7	0.0	1.7	20.6	50.8	62.0	110.5
1995	50.0	131.9	112.7	47.6	22.7	12.1	7.7	1.8	19.1	68.6	72.3	121.9
1996	99.2	181.3	251.7	81.4	20.0	0.3	0.5	6.5	26.1	91.0	54.6	18.8
1997	68.5	141.5	51.7	78.4	16.5	13.1	0.0	0.9	22.6	105.5	106.4	256.4
1998	160.6	202.0	204.0	153.0	34.4	1.1	0.0	2.6	21.6	110.2	66.1	72.9
1999	115.9	308.7	114.5	56.8	77.8	44.7	6.6	1.0	88.2	32.0	71.2	95.9
2000	50.4	173.9	194.8	97.2	139.3	12.4	1.8	23.7	73.5	24.7	65.8	157.9
2001	258.3	109.3	238.5	52.9	61.7	0.4	2.9	0.0	24.6	91.8	106.5	125.0
2002	59.0	118.1	235.4	102.9	23.3	5.8	13.9	7.0	55.1	116.2	87.9	153.7
2003	46.2	110.5	119.8	87.3	23.5	19.1	3.1	10.1	16.3	67.9	111.4	93.6
2004	68.3	102.0	75.7	37.8	40.4	5.1	14.1	6.2	18.8	91.5	83.9	134.2
2005	126.9	73.1	205.8	81.3	22.1	1.0	1.4	5.6	9.2	126.3	13.9	153.5
2006	91.6	92.1	253.6	93.1	8.0	40.7	2.9	11.5	47.9	53.4	80.4	124.2
2007	188.1	34.2	246.5	127.0	50.4	0.0	6.4	6.9	22.2	142.4	153.3	101.8
2008	124.5	176.0	151.9	104.2	32.3	31.1	1.9	9.5	52.3	141.3	83.0	38.4
2009	249.5	117.0	192.8	127.9	59.5	17.9	6.9	7.8	10.8	116.2	121.5	133.8
2010	68.6	116.7	175.5	68.9	24.2	20.2	9.9	0.0	30.2	49.1	86.8	122.4
2011	122.3	108.9	150.5	171.4	4.6	0.3	10.4	1.3	33.8	27.8	59.0	146.2
2012	222.7	127.7	118.7	90.9	34.3	7.7	0.0	5.0	4.6	149.3	109.0	50.8
2013	61.3	106.9	280.5	89.0	88.2	0.4	0.7	19.9	1.9	91.4	23.2	147.8
2014	98.3	114.2	176.6	63.3	89.2	1.3	4.3	0.0	22.9	49.7	76.8	153.8
2015	223.3	92.3	239.7	70.7	141.7	0.2	3.5	0.2	2.5	23.3	124.0	60.5
<b>MEDIA</b>	<b>109.8</b>	<b>119.0</b>	<b>145.2</b>	<b>90.9</b>	<b>44.5</b>	<b>11.4</b>	<b>6.5</b>	<b>7.7</b>	<b>28.0</b>	<b>87.9</b>	<b>79.3</b>	<b>96.9</b>

Tabla 22: Precipitación Mensual completada Estación Celendín.

ESTACION : CELENDIN												
NORTE	9240309.117						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	818505.54						PROVINCIA : CELENDIN					
COTA	2470						DISTRITO : CELENDIN					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	183.6	88.5	114.4	24.1	60.5	32.3	0.0	6.1	17.2	45.3	100.8	62.5
1977	182.9	206.1	199.8	59.9	35.8	11.2	10.5	0.0	22.6	75.1	82.2	96.0
1978	17.8	48.4	68.6	52.0	92.3	5.4	6.1	5.3	35.1	34.3	76.0	63.0
1979	118.4	114.9	224.9	52.2	22.9	2.4	10.5	22.0	47.2	34.3	37.0	65.5
1980	49.1	59.6	91.5	41.2	9.6	21.2	4.4	9.3	3.1	183.6	156.3	150.2
1981	110.1	262.6	148.8	47.4	20.6	9.2	10.1	17.8	30.9	157.5	64.1	156.7
1982	100.9	144.9	105.0	124.9	53.7	10.9	2.9	9.2	61.7	175.7	94.7	123.0
1983	164.2	105.6	215.1	148.8	43.7	14.1	13.4	3.7	27.0	122.3	39.5	166.7
1984	34.7	329.0	174.3	112.6	97.8	35.3	32.9	26.2	51.6	96.5	137.4	146.5
1985	34.6	59.6	52.3	58.9	74.6	0.5	6.7	25.7	52.4	70.3	33.6	56.7
1986	118.8	67.1	136.3	169.2	22.7	0.8	1.6	20.5	1.7	61.3	93.2	72.9
1987	138.2	134.0	55.1	73.4	12.7	5.5	15.1	17.2	55.5	52.3	104.6	86.5
1988	154.4	148.5	63.0	134.6	14.8	7.5	-0.1	0.5	46.3	97.7	91.7	89.2
1989	122.5	223.6	159.8	120.2	26.4	23.4	4.4	8.2	75.3	150.1	66.3	3.7
1990	143.3	96.4	82.0	38.5	55.5	34.6	1.0	9.9	28.2	123.3	139.5	101.8
1991	61.6	126.7	188.2	77.7	25.1	0.9	0.5	0.3	14.3	39.6	77.5	101.2
1992	74.0	44.7	93.7	65.4	26.5	29.8	6.4	14.0	57.4	90.1	45.0	47.9
1993	85.8	158.0	345.0	144.9	42.4	2.6	4.6	4.0	72.3	149.6	100.5	118.4
1994	164.6	145.1	239.7	204.0	49.6	4.6	-0.1	0.2	16.7	38.2	126.4	172.6
1995	62.9	152.5	106.5	69.9	28.9	2.3	18.5	15.1	16.1	72.9	71.0	107.5
1996	101.8	202.0	195.5	74.5	28.0	0.0	0.5	0.0	24.4	176.3	62.6	17.2
1997	51.9	109.2	74.2	168.1	15.9	11.2	0.0	0.0	33.5	89.2	119.4	154.1
1998	74.4	156.1	242.4	169.5	49.3	0.0	0.7	0.0	18.3	174.3	91.8	44.8
1999	177.5	319.1	100.4	13.0	54.1	49.2	5.8	6.6	107.8	53.6	130.2	241.9
2000	107.7	224.0	220.6	112.4	45.0	54.8	1.9	9.8	60.7	5.7	53.4	160.4
2001	249.5	134.9	445.0	50.6	39.6	1.3	5.4	0.0	32.2	104.3	162.2	97.0
2002	57.9	90.5	289.1	172.6	27.9	1.9	29.3	0.0	2.0	208.6	122.0	151.8
2003	48.7	71.1	158.6	92.7	27.3	21.2	1.7	0.9	39.5	80.9	95.8	116.4
2004	51.3	63.5	101.7	106.6	32.9	0.0	20.5	2.5	50.3	94.4	225.4	143.2
2005	79.3	103.4	236.5	69.3	16.5	0.0	0.0	0.0	39.0	250.3	26.6	166.7
2006	98.5	136.1	349.8	62.4	3.4	11.8	9.1	3.9	66.3	118.3	123.1	144.6
2007	91.6	17.6	275.8	122.2	27.6	3.0	6.0	9.9	20.0	215.3	152.9	123.2
2008	98.5	180.2	98.8	98.7	48.5	28.0	11.0	21.0	21.0	132.0	142.5	38.8
2009	212.1	75.9	223.5	150.9	71.4	5.8	6.1	0.0	38.2	98.7	139.5	116.0
2010	84.7	200.4	176.3	61.8	69.9	2.8	18.7	3.9	39.0	60.4	123.0	135.1
2011	81.0	116.1	181.5	165.4	42.5	1.3	17.7	4.8	40.5	95.3	113.5	173.6
2012	217.7	115.6	127.2	100.0	42.7	3.4	0.0	1.7	0.3	142.0	208.1	79.7
2013	76.6	58.9	167.1	66.7	63.0	21.1	16.5	33.2	4.7	162.9	24.3	129.4
2014	78.1	136.7	166.6	84.0	126.8	1.3	0.3	4.4	33.2	70.0	62.2	79.2
2015	179.2	25.2	235.6	114.8	77.3	5.5	3.1	0.9	0.6	35.7	96.9	44.3
<b>MEDIA</b>	<b>108.5</b>	<b>131.3</b>	<b>173.3</b>	<b>96.9</b>	<b>43.1</b>	<b>12.0</b>	<b>7.6</b>	<b>8.0</b>	<b>35.1</b>	<b>106.0</b>	<b>100.3</b>	<b>108.6</b>

Tabla 23: Precipitación Mensual completada Estación Yanacocha.

ESTACION : YANACOCHA												
NORTE	9 229 180						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	772 167						PROVINCIA : CAJAMARCA					
COTA	3818						DISTRITO : CAJAMARCA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	220.0	114.4	143.2	42.8	83.2	51.9	16.1	22.8	35.2	66.3	128.0	85.4
1977	219.2	245.1	238.0	82.6	55.8	28.4	27.7	16.1	41.1	99.5	107.3	122.7
1978	35.8	69.8	92.3	73.8	118.6	22.0	22.8	21.9	55.1	54.1	100.4	86.0
1979	147.6	143.6	265.9	74.0	41.4	18.7	27.7	40.5	68.5	54.1	57.1	88.9
1980	70.6	82.3	117.7	61.8	26.7	39.6	20.9	26.4	19.5	220.0	189.7	182.9
1981	138.3	307.8	181.4	68.7	38.9	26.3	27.2	35.8	50.4	191.1	87.3	190.1
1982	128.2	177.0	132.7	154.8	75.7	28.1	19.2	26.3	84.6	211.3	121.3	152.7
1983	198.4	133.3	255.1	181.4	64.6	31.7	31.0	20.2	46.0	151.9	59.9	201.2
1984	54.6	381.6	209.7	141.1	124.7	55.2	52.6	45.2	73.4	123.3	168.7	178.9
1985	54.4	82.3	74.2	81.5	98.9	16.6	23.4	44.6	74.3	94.2	53.3	79.0
1986	148.0	90.6	167.4	204.1	41.3	16.9	17.8	38.8	18.0	84.2	119.5	97.0
1987	169.6	164.9	77.3	97.6	30.2	22.2	32.8	35.2	77.8	74.2	132.2	112.2
1988	187.6	181.1	86.0	165.6	32.5	24.4	15.9	16.6	67.4	124.6	118.0	115.2
1989	152.1	264.5	193.6	149.6	45.4	42.1	20.9	25.2	99.7	182.8	89.6	20.2
1990	175.3	123.1	107.2	58.8	77.8	54.4	17.2	27.0	47.4	153.0	171.0	129.1
1991	84.5	156.8	225.2	102.3	43.9	17.0	16.6	16.4	31.9	60.1	102.2	128.5
1992	98.3	65.7	120.2	88.7	45.5	49.1	23.1	31.6	79.8	116.1	66.0	69.3
1993	111.4	191.5	399.4	177.0	63.2	18.9	21.1	20.5	96.4	182.3	127.7	147.6
1994	198.9	177.3	282.3	242.7	71.2	21.1	15.9	16.2	34.6	58.5	156.5	207.8
1995	85.9	185.4	134.4	93.7	48.2	18.6	36.6	32.8	33.9	97.0	95.0	135.5
1996	118.0	210.0	203.9	94.8	37.4	17.2	16.7	40.7	37.7	135.2	123.6	69.3
1997	115.8	255.2	57.4	79.2	42.5	40.0	16.2	15.9	58.8	95.4	203.6	218.5
1998	114.4	216.4	120.2	77.2	84.6	13.2	0.3	1.3	35.8	187.2	143.5	45.2
1999	150.5	373.4	167.1	65.5	74.4	109.0	17.0	17.3	218.2	58.4	178.6	175.3
2000	61.6	269.2	239.5	122.9	53.8	31.2	8.6	21.3	189.0	38.1	41.9	169.1
2001	259.3	93.0	218.0	64.0	13.7	3.6	5.2	0.0	39.1	125.4	147.8	177.8
2002	120.4	130.6	305.0	167.7	29.2	4.6	14.7	0.8	50.5	181.9	144.3	98.8
2003	104.4	103.6	149.3	109.7	41.9	21.3	0.0	0.0	61.3	57.8	103.2	133.8
2004	108.8	96.0	179.3	120.9	59.4	10.7	21.8	9.1	65.0	134.1	206.3	222.3
2005	151.4	134.9	354.3	83.3	59.7	8.9	10.2	27.7	35.8	260.8	112.0	195.6
2006	91.4	205.0	287.8	137.2	18.0	60.4	13.0	13.2	44.5	130.6	178.6	247.4
2007	174.0	63.2	237.5	205.5	58.9	3.3	25.9	23.9	49.5	234.7	384.3	178.6
2008	141.5	224.6	201.2	171.0	51.5	40.0	19.5	34.2	70.2	167.0	128.9	54.1
2009	298.8	132.7	188.9	139.3	82.0	43.9	35.2	22.0	34.4	138.8	187.2	132.1
2010	93.4	192.6	257.0	154.3	65.4	29.4	20.0	18.0	61.2	83.9	98.1	126.7
2011	135.8	130.7	211.9	175.6	42.1	16.6	28.9	15.9	89.6	65.2	54.1	187.6
2012	257.3	226.8	213.8	129.9	96.5	16.2	15.9	19.8	45.8	146.2	204.2	107.2
2013	112.2	169.3	349.8	131.4	149.9	27.7	24.8	49.6	21.7	338.0	47.9	267.9
2014	134.4	122.4	226.0	139.3	58.0	23.8	19.1	22.0	59.3	57.4	87.5	195.8
2015	305.0	102.6	332.4	114.5	134.6	20.6	22.8	16.1	59.4	42.2	171.8	77.8
<b>MEDIA</b>	<b>143.2</b>	<b>169.8</b>	<b>200.1</b>	<b>120.6</b>	<b>62.0</b>	<b>28.6</b>	<b>20.6</b>	<b>23.2</b>	<b>61.5</b>	<b>126.9</b>	<b>130.0</b>	<b>140.3</b>

Tabla 24: Precipitación Mensual completada Estación Maqui Maqui.

ESTACION : MAQUI MAQUI												
NORTE	9 228 957						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	780 019						PROVINCIA : CAJAMARCA					
COTA	4024						DISTRITO : LA ENCAÑADA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	127.9	60.9	78.8	16.7	41.7	22.3	0.1	4.3	11.9	31.2	69.4	43.0
1977	125.8	141.8	137.5	41.3	24.7	7.8	7.3	0.1	15.6	51.7	56.6	66.1
1978	12.3	33.3	47.3	35.8	63.6	3.8	4.3	3.7	24.2	23.6	52.3	43.4
1979	81.5	79.1	154.7	35.9	15.8	1.7	7.3	15.2	32.6	23.6	25.5	45.1
1980	33.8	41.1	63.0	28.4	6.7	14.6	3.1	6.5	2.2	126.3	107.5	103.4
1981	75.8	180.7	102.4	32.6	14.2	6.4	7.0	12.3	21.3	108.4	44.2	107.8
1982	69.5	99.7	72.3	85.9	37.0	7.6	2.0	6.4	42.5	120.9	65.2	84.7
1983	113.0	72.7	148.0	102.4	30.1	9.8	9.3	2.6	18.6	84.2	27.2	114.7
1984	23.9	226.3	119.9	77.5	67.3	24.3	22.7	18.1	35.6	66.5	94.6	100.9
1985	23.8	41.1	36.0	40.6	51.3	0.4	4.7	17.7	36.1	48.4	23.2	39.0
1986	81.8	46.2	93.8	116.4	15.7	0.6	1.2	14.1	1.3	42.2	64.1	50.2
1987	95.1	92.2	38.0	50.6	8.8	3.9	10.5	11.9	38.3	36.0	72.0	59.6
1988	106.3	102.2	43.4	92.6	10.3	5.2	0.0	0.4	31.9	67.2	63.2	61.4
1989	84.3	153.8	110.0	82.7	18.2	16.2	3.1	5.7	51.8	103.3	45.6	2.6
1990	98.6	66.4	56.5	26.5	38.3	23.8	0.8	6.9	19.5	84.9	96.0	70.0
1991	42.4	87.2	129.5	53.5	17.3	0.7	0.4	0.3	9.9	27.3	53.4	69.7
1992	51.0	30.8	64.5	45.0	18.3	20.5	4.5	9.7	39.5	62.0	31.0	33.0
1993	59.1	108.7	237.4	99.7	29.3	1.8	3.2	2.8	49.8	103.0	69.2	81.5
1994	113.3	99.9	164.9	140.4	34.2	3.2	0.0	0.2	11.5	26.4	87.0	118.8
1995	20.6	145.0	154.6	84.5	72.5	14.2	3.9	3.6	22.2	70.4	156.2	168.9
1996	79.0	155.2	184.9	97.8	55.1	22.9	2.8	10.4	29.1	146.3	55.4	83.3
1997	94.2	125.2	74.9	63.5	25.1	9.4	6.1	2.3	25.9	89.7	136.4	118.6
1998	57.4	192.5	161.0	119.4	93.4	5.8	0.4	1.6	18.0	155.4	160.8	47.4
1999	162.4	315.2	137.4	69.6	101.4	93.2	17.0	7.2	123.6	58.0	110.2	238.0
2000	86.4	226.2	196.2	97.6	68.4	26.4	5.0	35.8	136.4	9.6	55.2	147.8
2001	243.2	148.8	257.4	99.6	65.4	6.8	12.8	3.4	72.0	124.6	170.4	193.6
2002	53.0	106.6	193.0	168.6	35.2	15.8	18.4	3.3	40.8	195.6	134.0	207.2
2003	92.4	101.6	113.8	25.6	9.4	13.2	4.4	4.4	13.4	18.0	22.4	118.7
2004	95.7	67.1	110.0	71.5	21.6	7.4	22.1	8.7	55.6	115.6	187.0	203.0
2005	116.3	140.2	325.7	122.9	30.5	17.5	11.4	17.8	36.8	292.4	73.9	229.4
2006	91.4	257.3	270.8	122.4	21.6	58.7	9.7	22.6	33.0	140.0	168.9	276.6
2007	120.1	72.4	236.2	137.4	67.3	6.3	51.0	37.1	33.2	234.0	194.8	108.2
2008	138.2	250.9	167.9	102.9	73.1	29.0	14.0	41.1	90.2	154.2	134.6	124.9
2009	263.7	173.7	256.3	198.4	134.6	74.4	24.9	38.3	44.9	181.6	200.4	170.1
2010	74.7	147.6	241.3	113.3	109.7	22.1	16.8	4.8	27.7	119.6	267.7	221.7
2011	118.6	161.0	251.0	218.9	28.9	13.2	8.9	6.6	74.6	73.1	149.3	191.8
2012	367.5	295.9	134.4	116.8	50.8	7.9	0.0	10.7	3.8	217.9	311.4	71.6
2013	96.8	144.0	172.7	76.5	162.6	9.9	26.7	43.9	12.2	149.1	80.0	161.0
2014	90.4	177.0	219.7	63.8	80.8	13.0	3.3	9.7	42.6	73.2	137.8	202.2
2015	308.5	131.1	239.0	110.0	124.5	9.9	11.1	12.9	47.0	52.3	140.7	157.4
<b>MEDIA</b>	<b>104.7</b>	<b>132.5</b>	<b>149.9</b>	<b>87.1</b>	<b>49.4</b>	<b>16.3</b>	<b>9.1</b>	<b>11.6</b>	<b>36.9</b>	<b>97.7</b>	<b>104.9</b>	<b>118.4</b>

Tabla 25: Precipitación Mensual completada Estación La Quinua.

ESTACION : LA QUINUA												
NORTE	9 227 473						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	769 157						PROVINCIA : CAJAMARCA					
COTA	3618						DISTRITO : CAJAMARCA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	248.3	113.3	146.4	31.0	77.4	41.4	0.2	7.9	22.1	58.0	128.9	79.9
1977	233.9	263.6	255.5	76.7	45.9	14.4	13.5	0.2	29.0	96.2	105.2	122.8
1978	22.9	61.9	87.9	66.6	118.1	7.0	7.9	6.8	45.0	43.9	97.2	80.7
1979	151.4	146.9	287.6	66.8	29.3	3.2	13.5	28.3	60.5	43.9	47.4	83.9
1980	62.8	76.3	117.0	52.8	12.4	27.2	5.8	12.1	4.1	234.8	199.9	192.1
1981	140.8	335.8	190.3	60.7	26.5	11.9	13.0	22.9	39.6	201.5	82.1	200.4
1982	129.1	185.3	134.3	159.7	68.8	14.0	3.8	11.9	79.0	224.7	121.2	157.4
1983	209.9	135.0	275.1	190.3	56.0	18.2	17.3	4.9	34.6	156.5	50.6	213.2
1984	44.5	420.6	222.9	144.0	125.1	45.2	42.1	33.7	66.1	123.5	175.7	187.4
1985	44.3	76.3	67.0	75.4	95.4	0.7	8.6	33.0	67.2	90.0	43.0	72.6
1986	152.0	85.9	174.3	216.4	29.2	1.1	2.2	26.3	2.3	78.5	119.2	93.3
1987	176.8	171.4	70.6	94.0	16.4	7.2	19.4	22.1	71.1	67.0	133.8	110.7
1988	197.5	190.0	80.7	172.1	19.1	9.7	0.0	0.7	59.2	125.0	117.4	114.2
1989	156.7	285.9	204.4	153.8	33.9	30.1	5.8	10.6	96.3	191.9	84.8	4.9
1990	183.3	123.3	105.0	49.3	71.1	44.3	1.4	12.8	36.2	157.7	178.4	130.2
1991	78.9	162.1	240.7	99.4	32.2	1.3	0.7	0.5	18.4	50.8	99.2	129.5
1992	94.7	57.3	119.9	83.7	34.0	38.2	8.3	18.0	73.5	115.2	57.6	61.4
1993	109.8	202.0	441.1	185.3	54.4	3.4	5.9	5.2	92.6	191.4	128.6	151.4
1994	210.5	185.6	306.5	260.9	63.6	5.9	0.0	0.4	21.4	49.0	161.7	220.8
1995	80.5	195.0	136.3	89.5	37.1	3.1	23.8	19.4	20.7	93.3	90.9	137.6
1996	117.4	223.3	216.3	90.8	24.7	1.4	0.9	28.4	25.0	137.2	123.9	61.4
1997	114.9	275.3	47.7	72.7	30.6	27.7	0.4	0.0	49.3	91.5	215.9	233.0
1998	185.5	209.8	462.8	151.1	35.3	8.6	2.3	8.5	32.1	143.3	52.4	86.2
1999	21.6	300.0	128.6	74.0	102.0	73.4	21.8	32.4	147.4	84.0	192.9	194.8
2000	57.2	199.7	254.0	105.8	95.1	30.2	1.6	14.8	155.6	23.4	60.4	194.1
2001	348.2	149.6	476.7	149.1	113.0	20.3	41.9	1.1	100.6	129.0	265.2	222.3
2002	120.4	130.6	305.0	235.5	63.5	16.3	20.8	0.0	75.7	199.7	104.7	189.5
2003	105.4	93.7	89.4	100.6	41.9	3.6	0.0	0.0	46.0	81.9	79.8	113.8
2004	79.8	166.9	199.9	180.6	112.3	19.3	25.7	14.0	122.2	224.3	248.7	360.9
2005	87.9	217.1	296.2	76.4	66.8	37.1	0.8	13.7	26.4	321.8	66.8	169.4
2006	73.4	194.6	363.0	136.7	47.8	32.5	9.9	29.2	66.8	116.3	168.9	141.0
2007	156.7	66.5	269.7	170.7	63.5	3.6	49.3	12.7	35.8	229.1	259.8	103.6
2008	144.4	240.0	213.2	178.4	40.9	27.7	4.1	21.1	62.5	173.8	130.0	43.9
2009	325.4	134.3	199.0	141.9	76.0	32.2	22.1	7.0	21.2	141.3	197.0	133.6
2010	89.1	203.3	277.3	159.2	56.9	15.5	4.7	2.3	52.0	78.1	94.5	127.5
2011	137.9	132.0	225.4	183.7	30.1	0.7	14.9	0.0	84.8	56.7	43.9	197.5
2012	277.7	242.5	227.6	131.1	92.7	0.4	0.0	4.5	34.4	149.8	216.6	105.0
2013	110.7	176.5	384.1	132.9	154.1	13.5	10.3	38.7	6.7	370.6	36.7	289.9
2014	136.3	122.4	241.6	141.9	48.4	9.0	3.6	7.0	49.9	47.7	82.3	206.9
2015	332.6	99.8	364.1	113.4	136.5	5.4	7.9	0.2	50.1	30.3	179.3	71.1
<b>MEDIA</b>	<b>143.8</b>	<b>176.3</b>	<b>222.6</b>	<b>126.4</b>	<b>62.0</b>	<b>17.6</b>	<b>10.9</b>	<b>12.8</b>	<b>54.6</b>	<b>130.6</b>	<b>126.1</b>	<b>144.7</b>

Tabla 26: Precipitación Mensual completada Estación Carachugo.

ESTACION : CARACHUGO												
NORTE	9 228 200						DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE	775 800						PROVINCIA : CAJAMARCA					
COTA	3988						DISTRITO : LA ENCAÑADA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1976	243.9	126.3	158.4	46.8	91.7	56.9	17.0	24.5	38.3	72.9	141.5	94.1
1977	243.0	271.7	263.9	91.0	61.2	30.8	29.9	17.0	44.9	109.8	118.5	135.6
1978	39.0	76.7	101.8	81.3	131.1	23.6	24.5	23.5	60.4	59.3	110.9	94.8
1979	163.3	158.9	294.9	81.4	45.2	20.0	29.9	44.2	75.3	59.3	62.6	98.0
1980	77.6	90.7	130.0	67.9	28.9	43.1	22.4	28.5	20.8	243.9	210.1	202.6
1981	153.0	341.5	200.9	75.5	42.4	28.3	29.4	39.0	55.1	211.7	96.2	210.6
1982	141.7	196.0	146.7	171.3	83.3	30.4	20.5	28.3	93.3	234.1	134.0	169.0
1983	219.8	147.4	282.9	200.9	71.0	34.4	33.6	21.5	50.3	168.1	65.8	223.0
1984	59.8	423.5	232.4	156.1	137.8	60.5	57.6	49.4	80.7	136.3	186.8	198.1
1985	59.7	90.7	81.6	89.8	109.1	17.5	25.2	48.7	81.8	103.9	58.5	87.0
1986	163.8	99.9	185.4	226.1	45.0	17.9	18.9	42.3	19.1	92.7	132.1	107.0
1987	187.8	182.6	85.1	107.7	32.7	23.8	35.6	38.3	85.6	81.6	146.2	123.9
1988	207.8	200.5	94.8	183.3	35.3	26.2	16.8	17.5	74.1	137.7	130.4	127.2
1989	168.3	293.3	214.4	165.5	49.6	45.9	22.4	27.1	110.0	202.4	98.8	21.5
1990	194.1	136.1	118.3	64.5	85.6	59.7	18.2	29.2	51.8	169.4	189.4	142.7
1991	93.1	173.5	249.6	112.9	48.0	18.1	17.5	17.4	34.6	65.9	112.8	142.0
1992	108.4	72.2	132.8	97.8	49.7	53.8	24.8	34.3	87.9	128.3	72.6	76.2
1993	87.8	117.9	258.4	173.7	37.0	49.0	1.3	3.4	60.3	133.0	155.0	274.4
1994	240.7	252.3	230.7	226.4	62.9	15.0	22.1	4.6	50.0	108.0	126.0	169.4
1995	60.5	193.0	199.1	165.4	89.2	2.8	45.5	6.1	32.0	72.6	193.5	261.1
1996	158.5	198.6	214.6	96.3	49.0	58.2	1.8	26.2	38.4	176.9	35.6	49.0
1997	116.3	136.9	62.5	83.0	43.4	18.8	6.9	0.8	64.0	148.2	179.7	134.3
1998	101.0	216.6	201.4	158.8	97.4	11.0	1.0	1.2	23.0	186.8	138.8	44.2
1999	177.0	352.4	169.6	79.6	94.6	134.6	23.9	11.7	200.9	110.7	188.5	281.4
2000	87.3	257.6	206.2	92.2	83.0	27.6	4.2	26.4	189.6	14.8	39.4	172.0
2001	326.8	179.0	309.6	104.4	61.8	8.1	18.4	2.8	73.8	121.2	245.8	213.9
2002	63.2	150.0	306.4	214.2	38.4	13.8	16.4	0.8	43.2	195.2	150.0	246.2
2003	135.2	102.4	209.6	87.8	135.2	0.2	0.0	0.0	59.6	109.2	240.4	186.3
2004	99.3	94.2	232.9	119.6	60.9	5.8	0.3	8.6	93.2	156.1	333.2	336.3
2005	186.7	201.7	394.7	199.1	66.8	19.3	13.7	10.9	48.0	279.4	77.5	233.4
2006	105.2	258.3	327.1	157.2	13.0	58.4	11.7	3.5	34.3	130.8	190.3	339.9
2007	147.1	78.0	244.3	195.6	71.1	3.3	23.6	32.8	27.4	274.3	252.7	147.3
2008	156.5	248.9	223.0	189.4	56.4	43.7	20.8	37.2	77.3	184.8	142.5	59.3
2009	331.4	146.7	209.2	154.0	90.3	48.0	38.3	23.6	37.4	153.5	207.3	146.0
2010	103.0	213.4	285.0	170.7	71.9	31.8	21.4	19.1	67.2	92.4	108.2	140.1
2011	150.2	144.5	234.8	194.4	45.9	17.5	31.3	16.8	98.8	71.7	59.3	207.8
2012	285.3	251.4	236.9	143.6	106.5	17.2	16.8	21.2	50.1	161.7	226.3	118.3
2013	123.9	187.5	388.2	145.3	165.9	29.9	26.8	54.3	23.3	375.1	52.4	297.1
2014	148.6	135.2	250.5	154.0	63.7	25.5	20.3	23.6	65.1	63.0	96.4	216.9
2015	338.4	113.3	368.9	126.5	148.8	22.1	24.5	17.0	65.2	46.1	190.2	85.6
<b>MEDIA</b>	<b>156.4</b>	<b>182.8</b>	<b>218.4</b>	<b>136.3</b>	<b>72.5</b>	<b>31.3</b>	<b>20.9</b>	<b>22.1</b>	<b>64.7</b>	<b>141.1</b>	<b>142.4</b>	<b>165.3</b>

## Anexo 2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

Figura 31: Serie histórica PP total mensual E. A. Weberbauer.

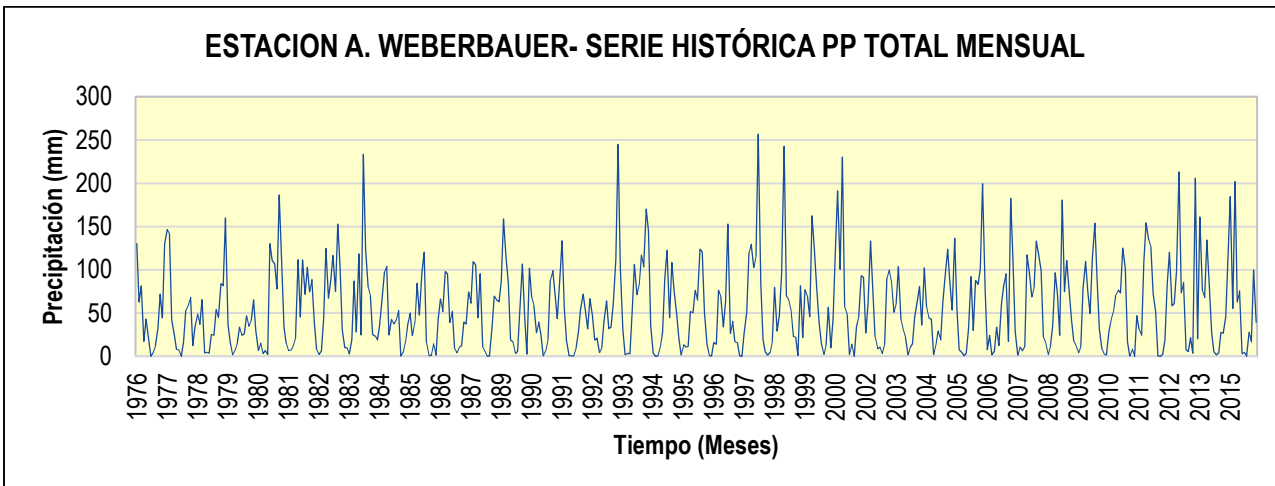


Figura 32: Serie histórica PP total mensual E. Namora.

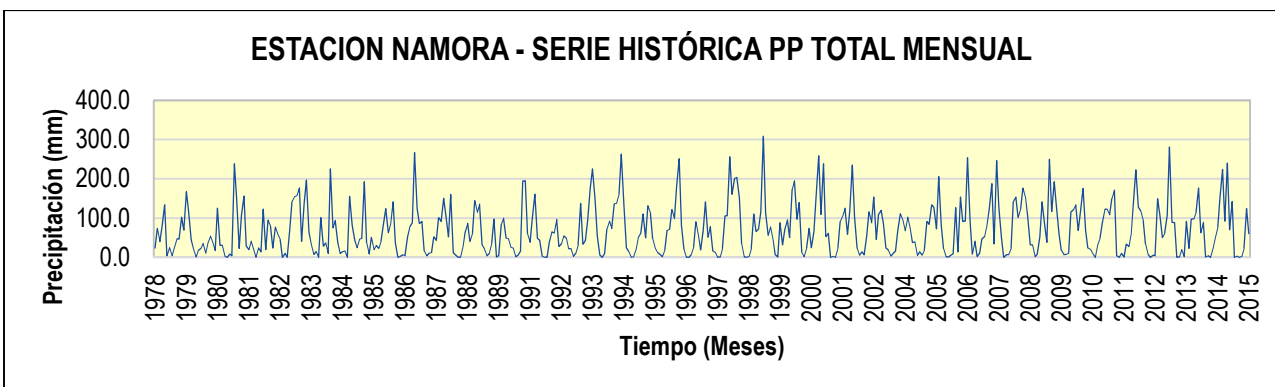


Figura 33: Serie histórica PP total mensual E. La Encañada.

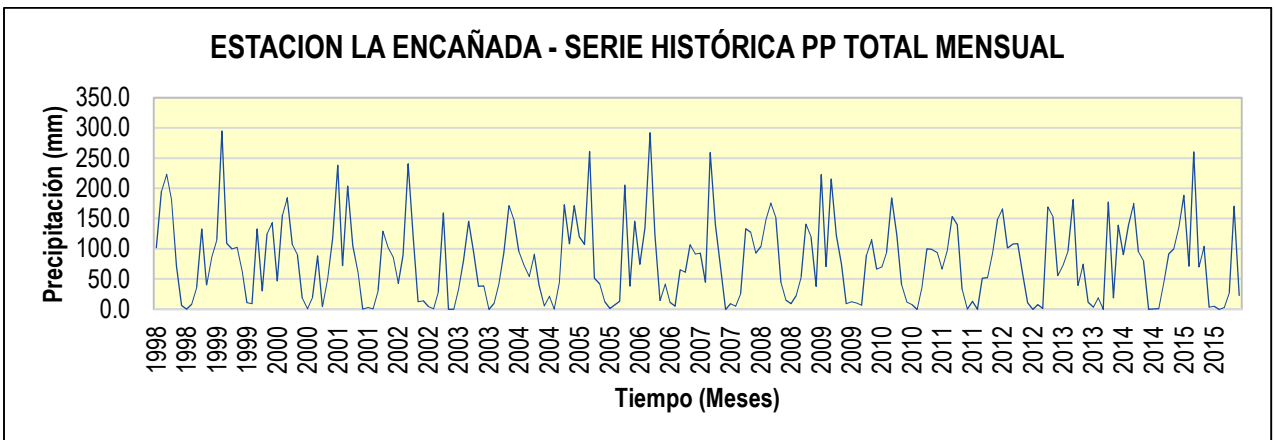


Figura 34: Serie histórica PP total mensual E. Celendín.

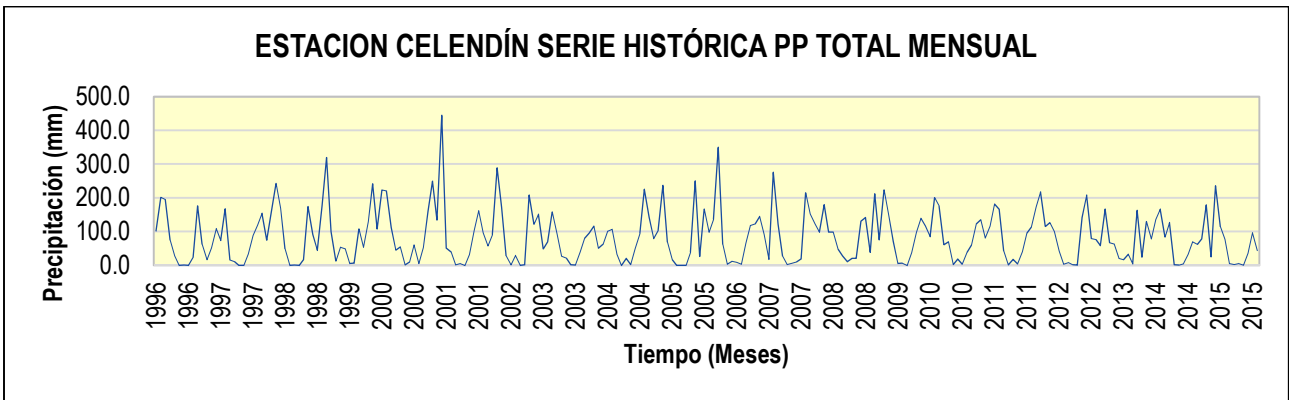


Figura 35: Serie histórica PP total mensual E. Yanacocha.

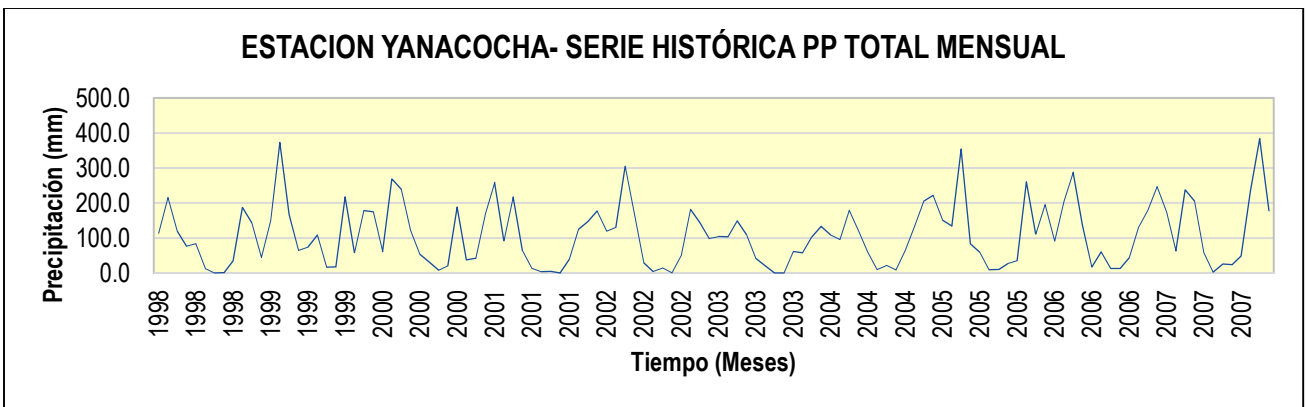


Figura 36: Serie histórica PP total mensual E. Maqui Maqui.

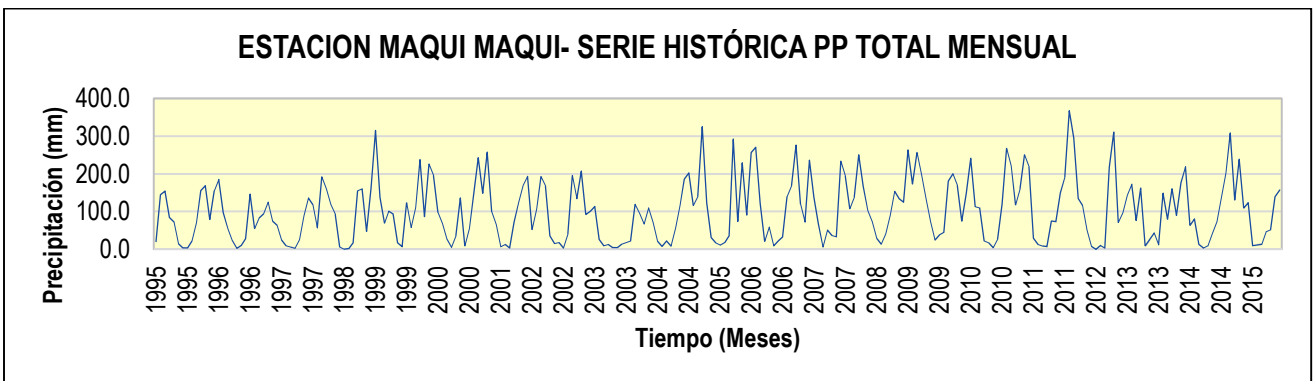




Figura 37: Serie histórica PP total mensual E. La Quinoa.

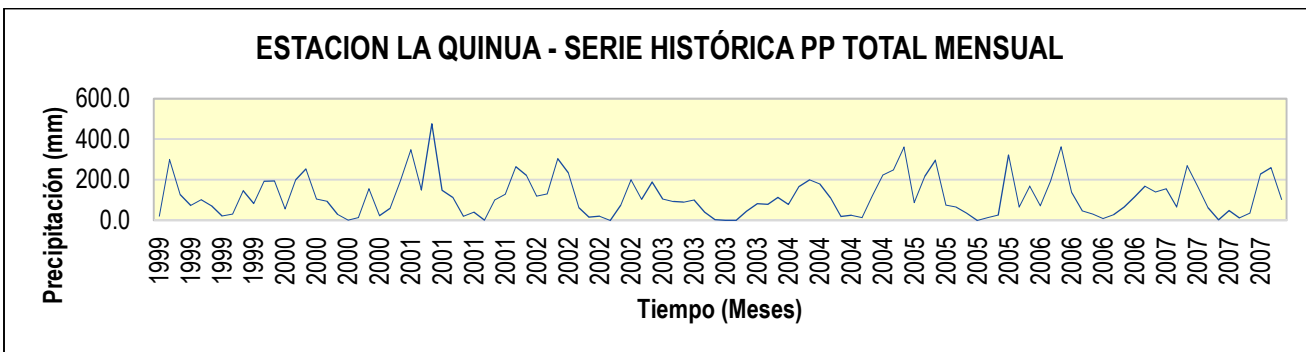


Figura 38: Serie histórica PP total mensual E. Carachugo.

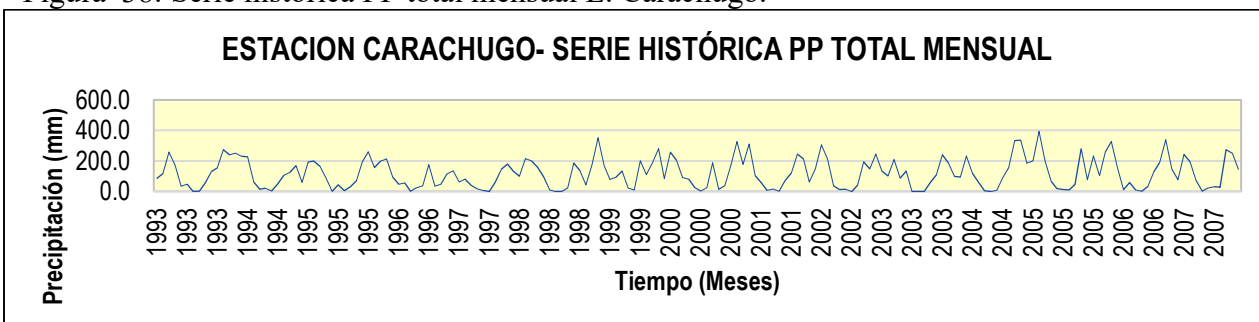


Tabla 27: Precipitación Mensual Anual Estaciones Índices

PRECIPITACION MENSUAL			
AÑO	E. A. Weberbauer	NAMORA	PROMEDIO
1976	522.8		522.8
1977	698		698.0
1978	358.8	603.8	481.3
1979	534.7	597.5	566.1
1980	553.9	667.9	610.9
1981	736.1	647.5	691.8
1982	716	820.5	768.3
1983	756.2	839.9	798.1
1984	905.8	766.5	836.2
1985	374.1	609.5	491.8
1986	544.6	684.5	614.6
1987	533.5	902.5	718.0
1988	602.9	705.9	654.4
1989	699.2	664.7	682.0
1990	607.1	805.7	706.4
1991	507.4	655.4	581.4
1992	423.1	470.5	446.8
1993	872.6	1092.1	982.4
1994	825.4	984.7	905.1
1995	514.9	668.4	591.7
1996	583.5	831.4	707.5
1997	643.7	861.5	752.6
1998	765.2	1028.5	896.9
1999	820.7	1013.3	917.0
2000	716.8	1015.4	866.1
2001	908.6	1071.9	990.3
2002	634.1	978.3	806.2
2003	528.9	708.8	618.9
2004	625.9	678.0	652.0
2005	586.3	820.1	703.2
2006	689.6	899.4	794.5
2007	749.5	1079.2	914.4
2008	710.9	946.4	828.7
2009	794.8	1161.6	978.2
2010	644.5	772.5	708.5
2011	615.2	836.5	725.9
2012	823.2	829.8	826.5
2013	957.8	911.2	934.5
2014	609.3	850.4	729.9
2015	772.3	981.9	877.1

Tabla 28: Precipitación Mensual Anual de las Estaciones en estudio vs Estaciones Índices

AÑO	PROMEDIO E. INDICE	E. La Encañada	E. Celendín	E. Yanacocha	E. Maqui Maqui	E. La Quinua	E. Carachugo
1976	522.8						
1977	698.0						
1978	481.3						
1979	566.1						
1980	610.9						
1981	691.8						
1982	768.3						
1983	798.1						
1984	836.2						
1985	491.8						
1986	614.6						
1987	718.0						
1988	654.4						
1989	682.0						
1990	706.4						
1991	581.4						
1992	446.8						
1993	982.4						1351.2
1994	905.1						1508.1
1995	591.7				916.6		1320.8
1996	707.5		882.8		922.2		1103.1
1997	752.6		826.7		771.3		994.8
1998	896.9	1085.7	1021.6	1604.7	1013.1		1181.2
1999	917.0	1236.3	1259.2	1246.2	1433.2	1372.9	1824.9
2000	866.1	883.6	1056.4	1146.9	1091.0	1191.9	1200.3
2001	990.3	1032.4	1322.0	1248.5	1398.0	2017.0	1665.6
2002	806.2	1029.5	1153.6	886.3	1171.5	1461.7	1437.8
2003	618.9	783.3	754.8	1233.7	537.3	756.1	1265.9
2004	652.0	878.5	892.3	1434.6	965.3	1754.6	1540.4
2005	703.2	1003.8	987.6	1428.1	1414.8	1380.4	1731.2
2006	794.5	1024.0	1127.3	1639.3	1473.0	1380.1	1629.7
2007	914.4	1003.3	1065.1	1303.7	1298.0	1421.0	1497.5
2008	828.7	1023.5	919.0		1321.0		
2009	978.2	1017.8	1138.1		1761.3		
2010	708.5	860.0	976.0		1367.0		
2011	725.9	849.4	1033.2		1295.9		
2012	826.5	941.8	1042.9		1588.7		
2013	934.5	833.6	824.4		1135.4		
2014	729.9	952.6	842.8		1113.5		
2015	877.1	928.0	822.9		1344.4		
<b>PROM.</b>	<b>739.4</b>	<b>964.8</b>	<b>997.4</b>	<b>1317.2</b>	<b>1206.3</b>	<b>1415.1</b>	<b>1416.8</b>

Figura 39: Análisis de Doble Masa.

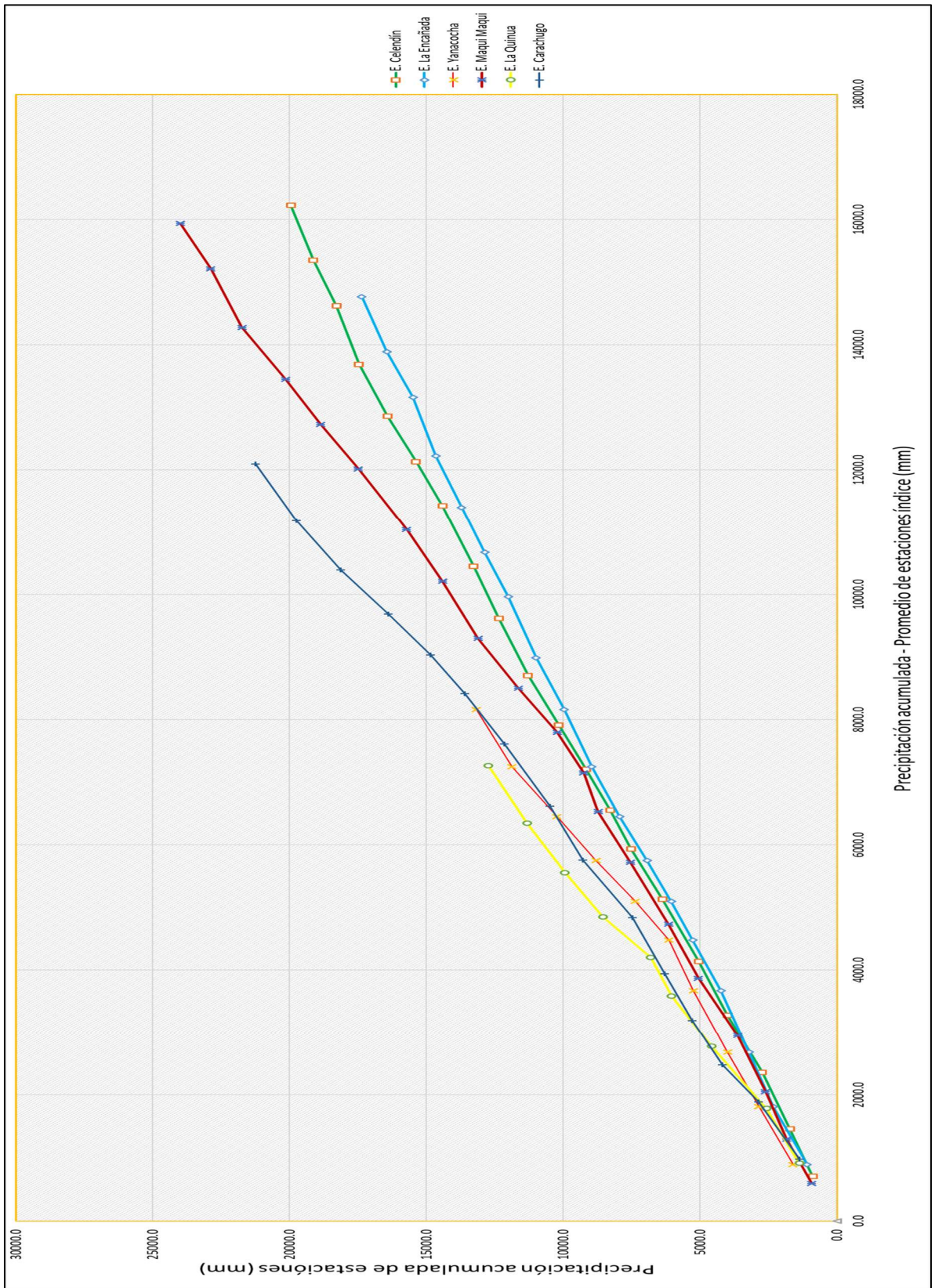


Figura 40: Análisis de Doble Masa Estación La Encañada.

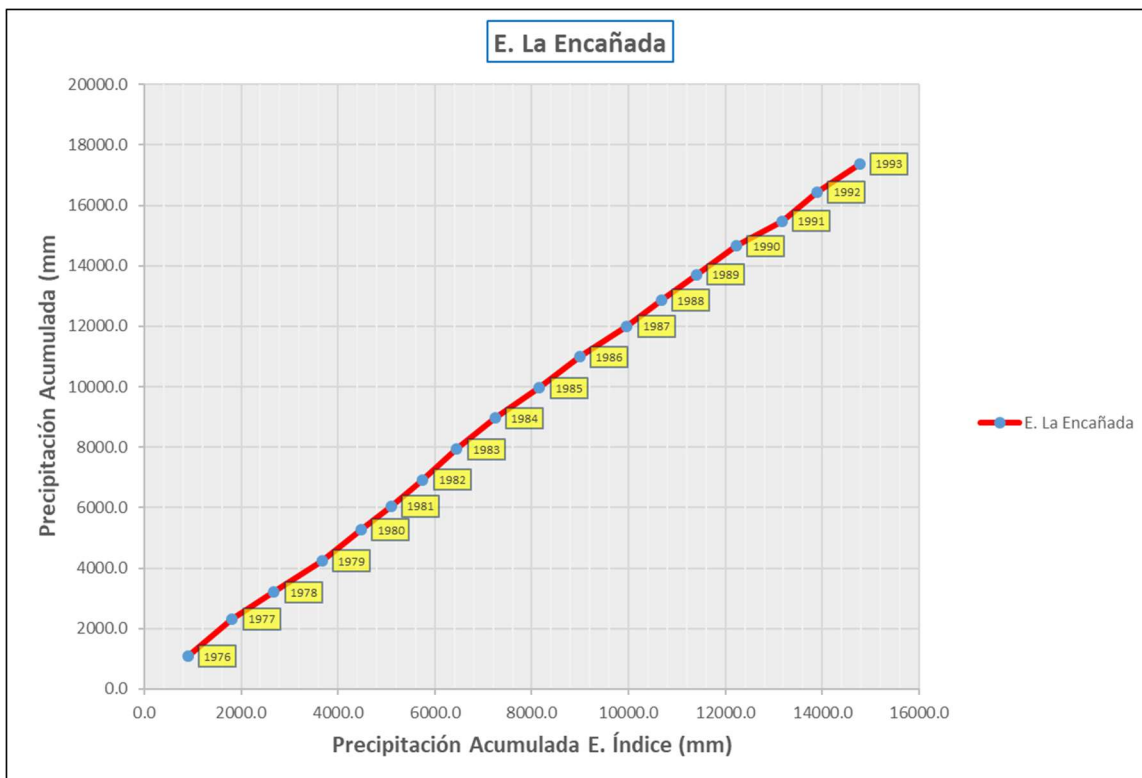


Figura 41: Análisis de Doble Masa Estación Celendín.

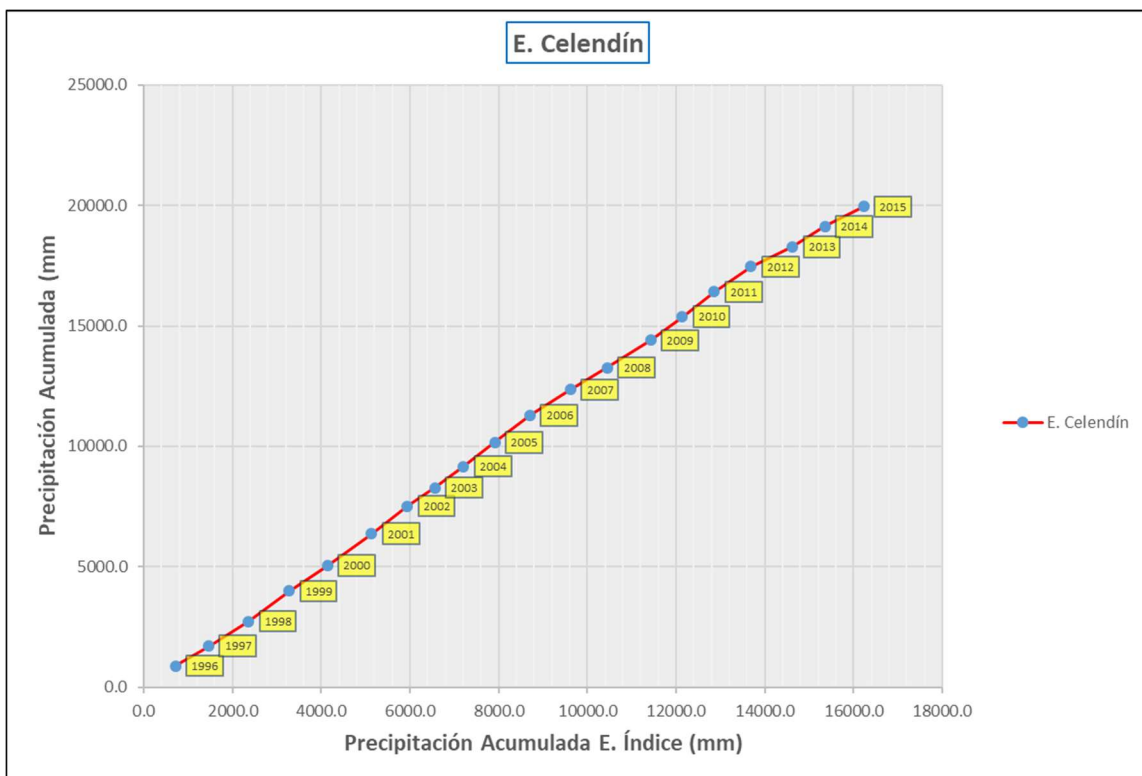


Figura 42: Análisis de Doble Masa Estación Yanacochoa.

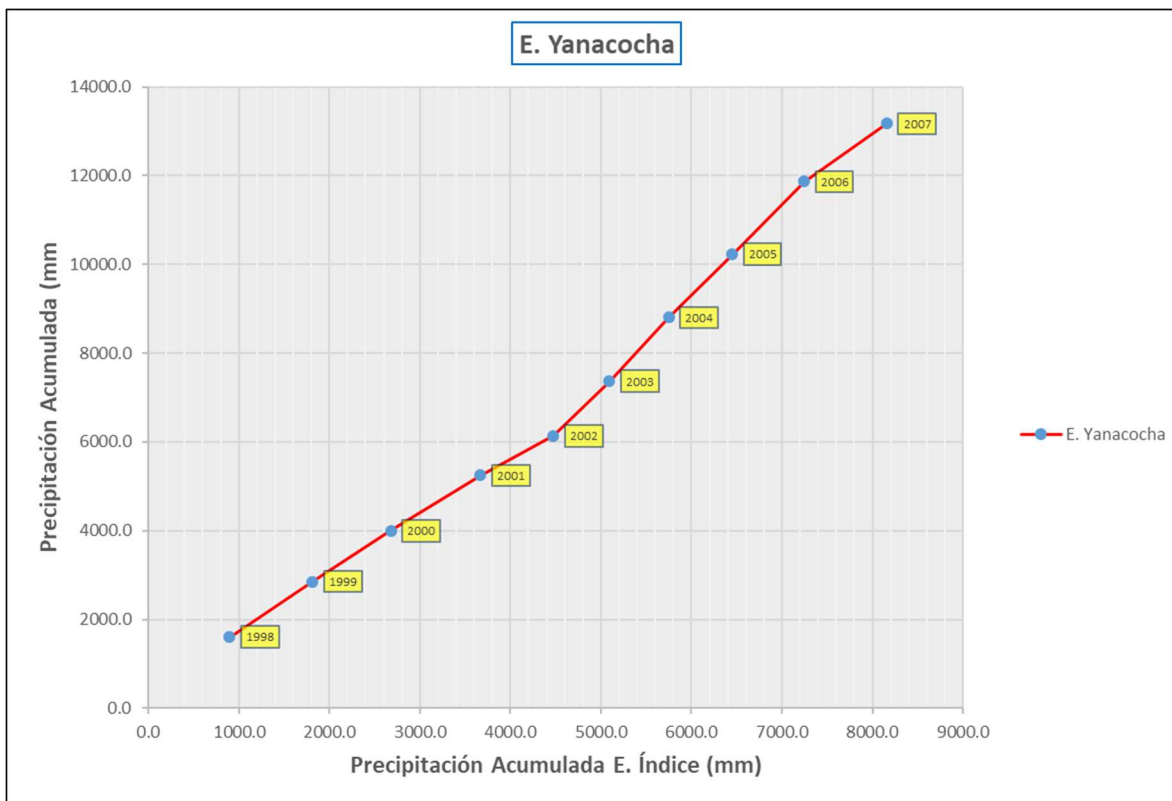


Figura 43: Análisis de Doble Masa Estación Maqui Maqui.

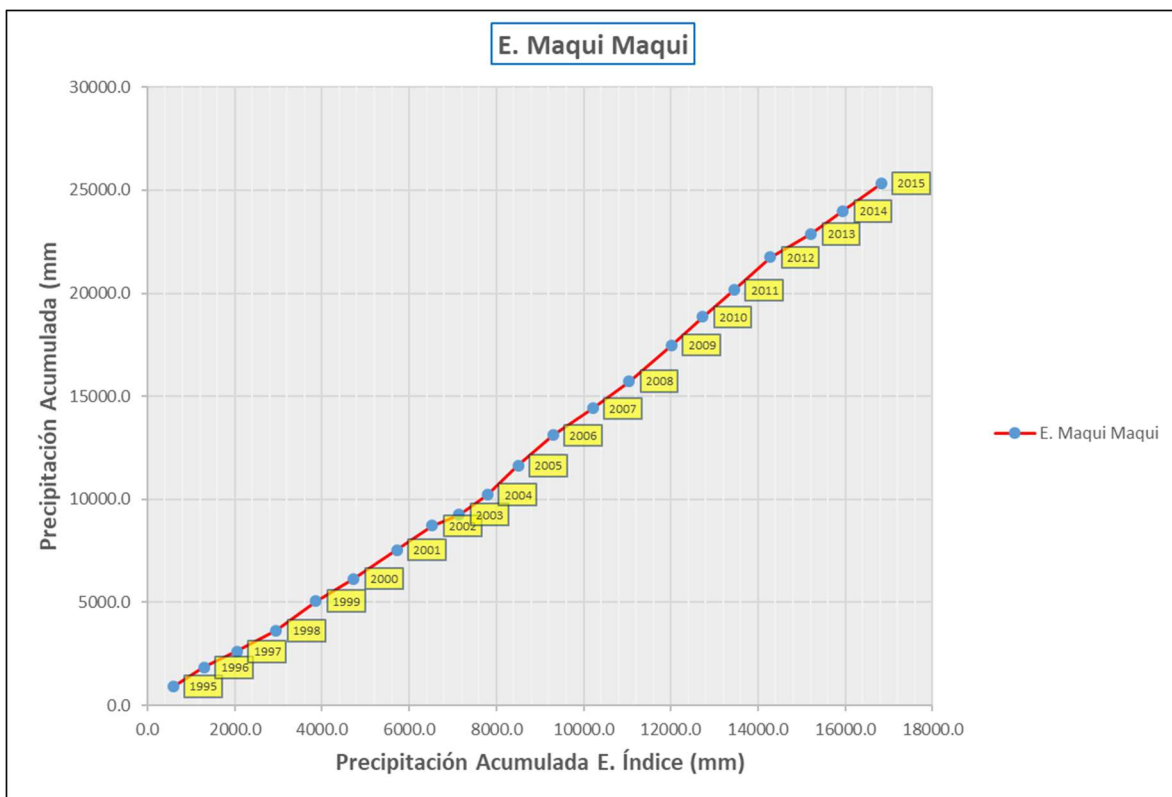


Figura 44: Análisis de Doble Masa Estación La Quinua.

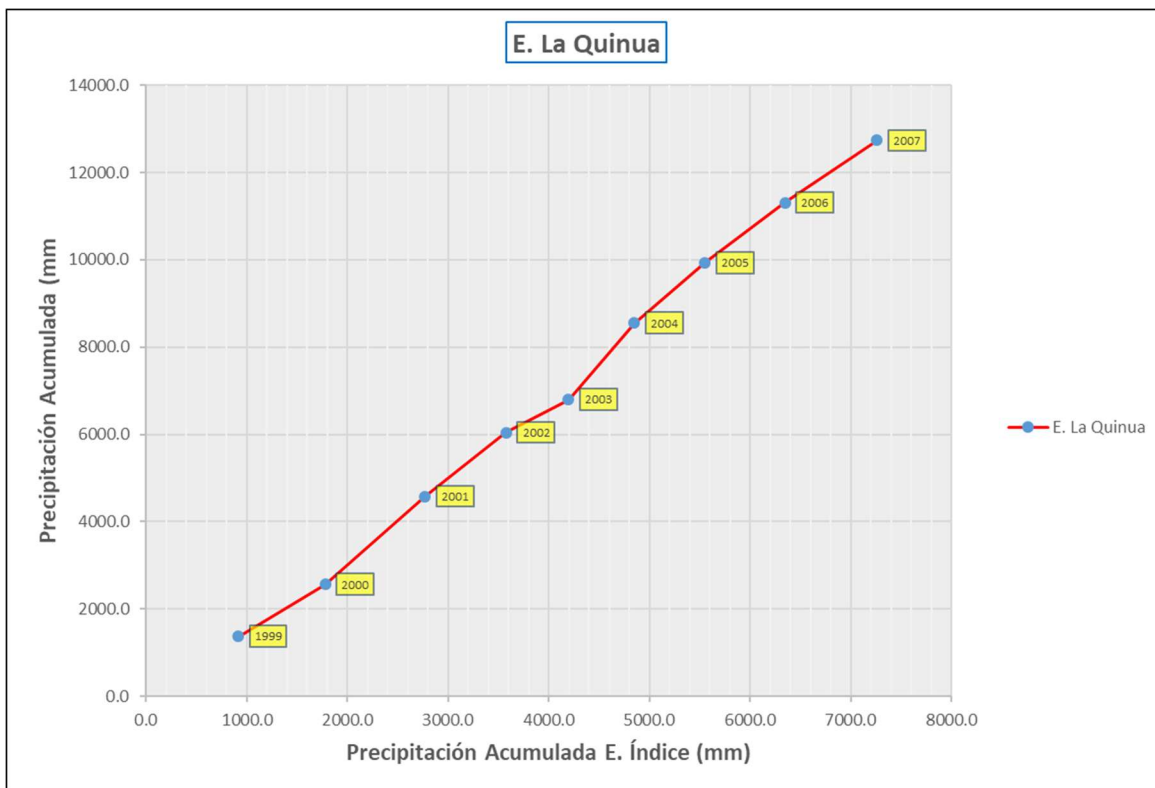


Figura 45: Análisis de Doble Masa Estación Carachugo.

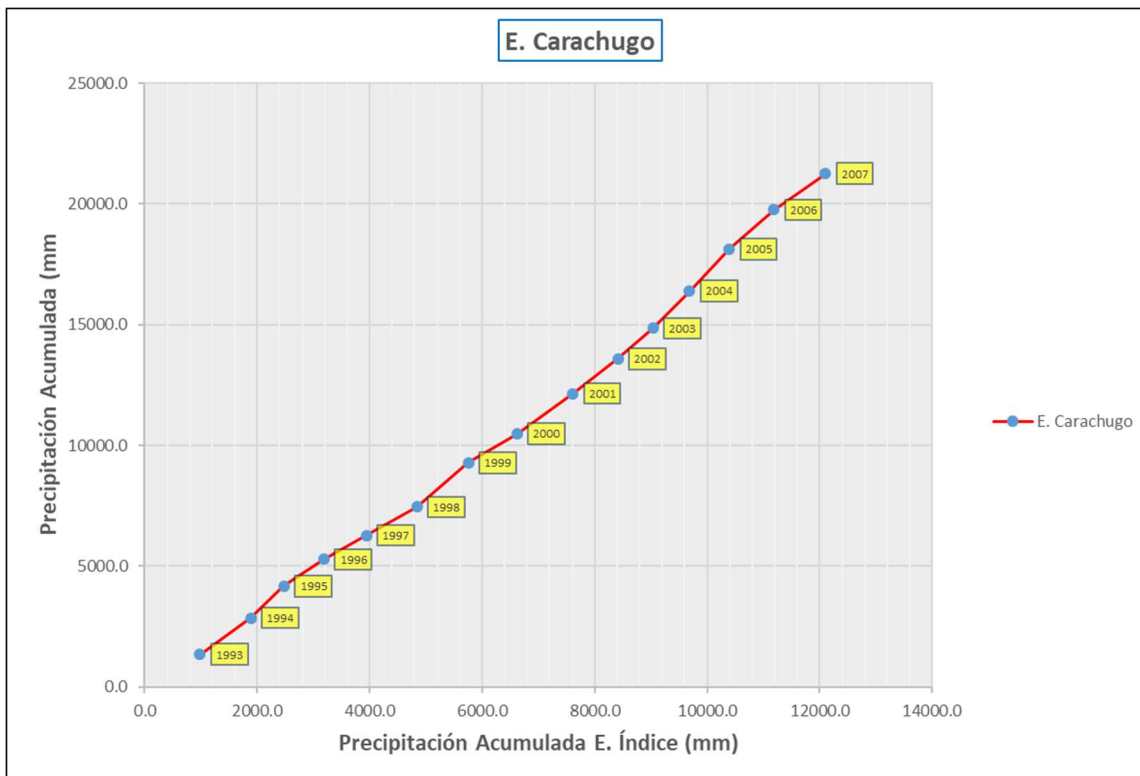


Tabla 29: Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales

ANÁLISIS DE SALTOS DE LA PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)											
ESTACIÓN	Años de registro	Periodo Confiable	Periodo Dudoso	CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA VARIANZA			
				T calculado	T tabular	Criterio de Aceptacion	Prueba	F calculado	F tabular	Criterio de Aceptacion	Prueba
A. WEBERBAUER	40	ESTACIÓN ÍNDICE									
ENCAÑADA	19	ESTACIÓN ÍNDICE									
NAMORA	38	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
CELENDÍN	21	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
YANACocha	11	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
MAQUI MAQUI	22	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
LA QUINUA	10	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
CARACHUGO	16	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									

Tabla 30: Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA MEDIA					TENDENCIA EN LA VARIANZA				
	R	T calculado	T tabular	Criterio de Aceptacion	Prueba	R	T calculado	T tabular	Criterio de Aceptacion	Prueba
A. WEBERBAUER	ESTACIÓN ÍNDICE									
NAMORA	ESTACIÓN ÍNDICE									
ENCAÑADA	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
CELENDÍN	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
YANACocha	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
MAQUI MAQUI	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
LA QUINUA	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									
CARACHUGO	"NO SE IDENTIFICARON SALTOS"									



### Anexo 3. PLANILLAS DE REGISTRO DE PRECIPITACIONES AGRUPADAS POR PERIODOS

Figura 46: Mapa de Isoyetas típica Enero Periodo 1976 - 1980

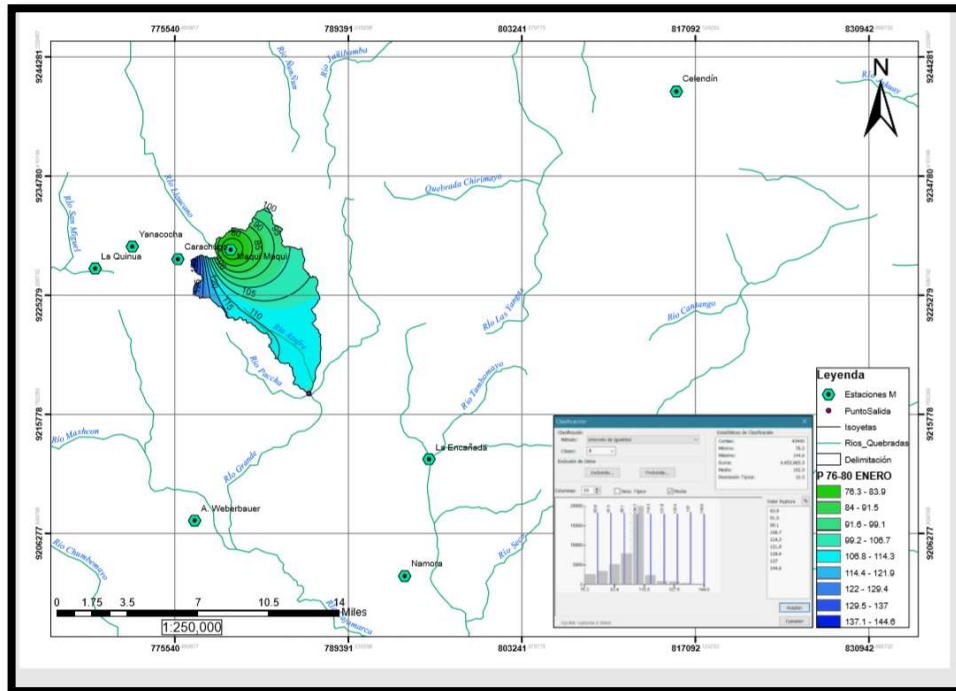


Figura 47: Mapa de Isoyetas típica Diciembre 2015

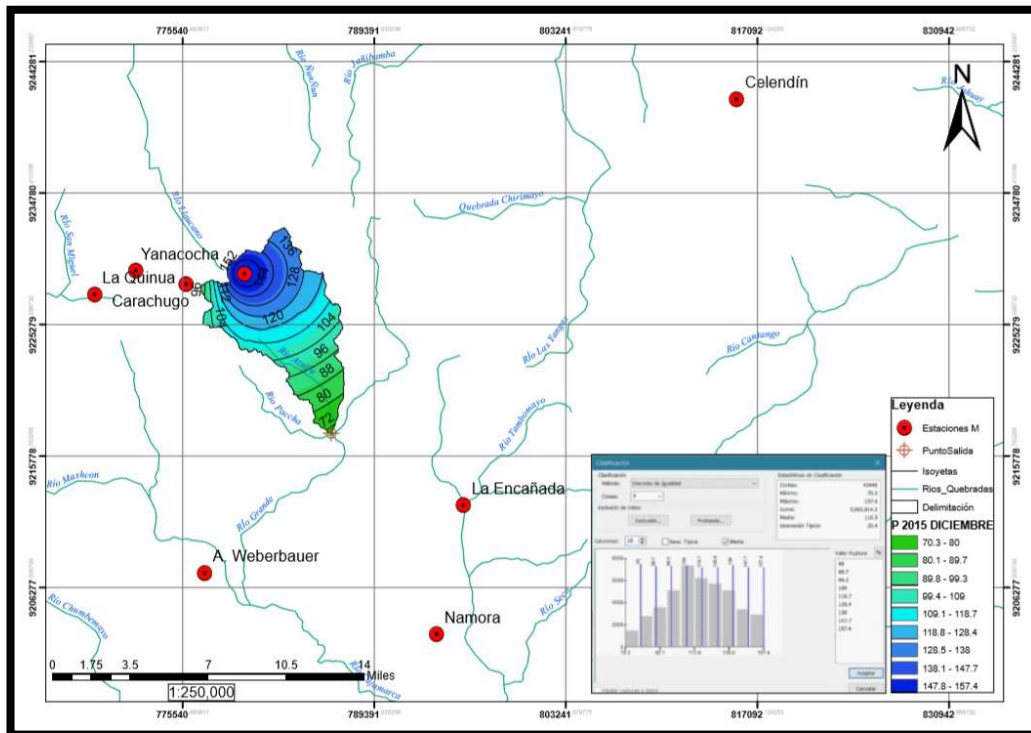


Tabla 31: Precipitaciones Medias mensuales anuales agrupadas en periodo

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitaciones 1976 - 1980	102.5	96.5	128.1	45.6	44.4	17.7	10.7	12.6	27.1	71.0	84.8	81.8
Precipitaciones 1981 - 1985	91.6	134.1	126.9	72.9	51.0	17.6	14.4	16.7	36.8	96.2	76.3	103.1
Precipitaciones 1986 - 1990	124.8	122.9	92.3	100.0	28.4	17.7	14.9	14.9	41.4	90.6	92.5	67.4
Precipitaciones 1991 - 1995	79.6	118.1	176.7	107.6	40.8	13.7	8.9	7.8	36.0	74.0	92.7	118.3
Precipitaciones 1996 - 2000	102.4	214.1	158.0	92.1	65.8	34.2	6.7	12.6	76.4	96.3	107.6	128.1
Precipitaciones 2001 - 2005	129.6	118.0	220.9	108.1	44.0	11.6	12.1	6.7	47.9	151.9	136.6	190.8
Precipitaciones 2006	91.8	232.0	286.3	128.8	19.8	54.4	10.0	16.4	38.3	124.1	163.8	256.3
Precipitaciones 2007	131.0	67.6	239.0	155.3	65.3	4.6	38.3	29.9	32.0	228.8	217.0	118.8
Precipitaciones 2008	137.7	235.1	182.1	132.6	61.3	31.4	14.2	35.5	79.0	158.9	130.7	90.0
Precipitaciones 2009	277.3	151.2	227.8	170.3	108.9	56.7	26.6	28.4	36.8	158.9	189.9	149.2
Precipitaciones 2010	81.2	162.4	244.8	129.1	86.1	23.0	16.0	8.0	40.2	102.8	188.7	176.0
Precipitaciones 2011	122.7	144.9	229.8	197.7	32.6	12.0	15.6	8.2	77.8	67.2	106.7	187.9
Precipitaciones 2012	312.8	256.4	164.4	121.0	68.2	9.8	4.6	12.5	18.7	186.6	258.1	83.8
Precipitaciones 2013	100.5	151.1	246.8	95.6	151.7	15.3	22.8	43.2	13.6	224.9	62.0	202.7
Precipitaciones 2014	107.7	152.6	220.4	94.8	71.4	14.8	7.8	12.3	47.8	66.8	114.6	196.2
Precipitaciones 2015	301.4	115.8	279.2	108.7	127.9	12.0	13.7	11.7	47.5	45.4	154.8	116.5

Tabla 32: Precipitaciones Medias Areales

PRECIPITACION MEDIA AREAL DE LA MICROCUENCA(mm)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1976	102.5	96.5	128.1	45.6	44.4	17.7	10.7	12.6	27.1	71.0	84.8	81.8	722.8
1977	102.5	96.5	128.1	45.6	44.4	17.7	10.7	12.6	27.1	71.0	84.8	81.8	722.8
1978	102.5	96.5	128.1	45.6	44.4	17.7	10.7	12.6	27.1	71.0	84.8	81.8	722.8
1979	102.5	96.5	128.1	45.6	44.4	17.7	10.7	12.6	27.1	71.0	84.8	81.8	722.8
1980	102.5	96.5	128.1	45.6	44.4	17.7	10.7	12.6	27.1	71.0	84.8	81.8	722.8
1981	91.6	134.1	126.9	72.9	51.0	17.6	14.4	16.7	36.8	96.2	76.3	103.1	837.6
1982	91.6	134.1	126.9	72.9	51.0	17.6	14.4	16.7	36.8	96.2	76.3	103.1	837.6
1983	91.6	134.1	126.9	72.9	51.0	17.6	14.4	16.7	36.8	96.2	76.3	103.1	837.6
1984	91.6	134.1	126.9	72.9	51.0	17.6	14.4	16.7	36.8	96.2	76.3	103.1	837.6
1985	91.6	134.1	126.9	72.9	51.0	17.6	14.4	16.7	36.8	96.2	76.3	103.1	837.6
1986	124.8	122.9	92.3	100.0	28.4	17.7	14.9	14.9	41.4	90.6	92.5	67.4	807.8
1987	124.8	122.9	92.3	100.0	28.4	17.7	14.9	14.9	41.4	90.6	92.5	67.4	807.8
1988	124.8	122.9	92.3	100.0	28.4	17.7	14.9	14.9	41.4	90.6	92.5	67.4	807.8
1989	124.8	122.9	92.3	100.0	28.4	17.7	14.9	14.9	41.4	90.6	92.5	67.4	807.8
1990	124.8	122.9	92.3	100.0	28.4	17.7	14.9	14.9	41.4	90.6	92.5	67.4	807.8
1991	79.6	118.1	176.7	107.6	40.8	13.7	8.9	7.8	36.0	74.0	92.7	118.3	874.2
1992	79.6	118.1	176.7	107.6	40.8	13.7	8.9	7.8	36.0	74.0	92.7	118.3	874.2
1993	79.6	118.1	176.7	107.6	40.8	13.7	8.9	7.8	36.0	74.0	92.7	118.3	874.2
1994	79.6	118.1	176.7	107.6	40.8	13.7	8.9	7.8	36.0	74.0	92.7	118.3	874.2
1995	79.6	118.1	176.7	107.6	40.8	13.7	8.9	7.8	36.0	74.0	92.7	118.3	874.2
1996	102.4	214.1	158.0	92.1	65.8	34.2	6.7	12.6	76.4	96.3	107.6	128.1	1094.3
1997	102.4	214.1	158.0	92.1	65.8	34.2	6.7	12.6	76.4	96.3	107.6	128.1	1094.3
1998	102.4	214.1	158.0	92.1	65.8	34.2	6.7	12.6	76.4	96.3	107.6	128.1	1094.3
1999	102.4	214.1	158.0	92.1	65.8	34.2	6.7	12.6	76.4	96.3	107.6	128.1	1094.3
2000	102.4	214.1	158.0	92.1	65.8	34.2	6.7	12.6	76.4	96.3	107.6	128.1	1094.3
2001	129.6	118.0	220.9	108.1	44.0	11.6	12.1	6.7	47.9	151.9	136.6	190.8	1178.2
2002	129.6	118.0	220.9	108.1	44.0	11.6	12.1	6.7	47.9	151.9	136.6	190.8	1178.2
2003	129.6	118.0	220.9	108.1	44.0	11.6	12.1	6.7	47.9	151.9	136.6	190.8	1178.2
2004	129.6	118.0	220.9	108.1	44.0	11.6	12.1	6.7	47.9	151.9	136.6	190.8	1178.2
2005	129.6	118.0	220.9	108.1	44.0	11.6	12.1	6.7	47.9	151.9	136.6	190.8	1178.2
2006	91.8	232.0	286.3	128.8	19.8	54.4	10.0	16.4	38.3	124.1	163.8	256.3	1422.0
2007	131.0	67.6	239.0	155.3	65.3	4.6	38.3	29.9	32.0	228.8	217.0	118.8	1327.6
2008	137.7	235.1	182.1	132.6	61.3	31.4	14.2	35.5	79.0	158.9	130.7	90.0	1288.5
2009	277.3	151.2	227.8	170.3	108.9	56.7	26.6	28.4	36.8	158.9	189.9	149.2	1582.0
2010	81.2	162.4	244.8	129.1	86.1	23.0	16.0	8.0	40.2	102.8	188.7	176.0	1258.3
2011	122.7	144.9	229.8	197.7	32.6	12.0	15.6	8.2	77.8	67.2	106.7	187.9	1203.1
2012	312.8	256.4	164.4	121.0	68.2	9.8	4.6	12.5	18.7	186.6	258.1	83.8	1496.9
2013	100.5	151.1	246.8	95.6	151.7	15.3	22.8	43.2	13.6	224.9	62.0	202.7	1330.2
2014	107.7	152.6	220.4	94.8	71.4	14.8	7.8	12.3	47.8	66.8	114.6	196.2	1107.2
2015	301.4	115.8	279.2	108.7	127.9	12.0	13.7	11.7	47.5	45.4	154.8	116.5	1334.6
MEDIA	121.3579	144.5947	173.1289	101.9526	54.64211	20.02895	12.80789	14.14211	44.881579	108.4842	114.9789	127.9289	1039
DESV EST.	55.32752	45.5003	54.42754	30.39457	27.02047	11.41132	6.09441	8.011736	17.215877	43.36941	42.50983	47.84628	236
MIN	79.6	67.6	92.3	45.6	19.8	4.6	4.6	6.7	13.6	45.4	62.0	67.4	722.8
MAX	312.8	256.4	286.3	197.7	151.7	56.7	38.3	43.2	79.0	228.8	258.1	256.3	1582.0

## Anexo 4. REGISTRO DE AFOROS:

Tabla 33: Aforo N°01 06/01/2018

AFORO DEL RÍO AZUFRE - CAJAMARCA (06/01/2018)									
Coordenadas:	E	786286.78 m			Clima:	Parcialmente nublado			
	N	9217437.41 m			Hora de aforo:	10.30 am			
	Z	2916							
Dist. Total (m)	5.8								
Distancia de tramos(cm)	Altura Total hi (m)	Porcentaje	Distancia a cada porcentaje(m)	Tubo Pitot Altura a cada porcentaje(m)	Velocidades			Área Ai (m2)	Caudal qi (m3/s)
					0.2 Vi	0.8 Vi	Vi		
0.2	0.17	20%	0.034	0.04	0.343		0.515	0.017	0.009
		80%	0.136	0.16		0.686			
0.4	0.21	20%	0.042	0.06	0.594		0.540	0.042	0.023
		80%	0.168	0.18		0.485			
0.6	0.27	20%	0.054	0.065	0.465		0.652	0.054	0.035
		80%	0.216	0.252		0.840			
0.8	0.21	20%	0.042	0.06	0.594		0.693	0.042	0.029
		80%	0.168	0.2		0.792			
1	0.22	20%	0.044	0.06	0.560		0.542	0.044	0.024
		80%	0.176	0.19		0.524			
1.2	0.22	20%	0.044	0.07	0.714		0.619	0.044	0.027
		80%	0.176	0.19		0.524			
1.4	0.22	20%	0.044	0.06	0.560		0.689	0.044	0.030
		80%	0.176	0.21		0.817			
1.6	0.22	20%	0.044	0.07	0.714		0.765	0.044	0.034
		80%	0.176	0.21		0.817			
1.8	0.21	20%	0.042	0.06	0.594		0.626	0.042	0.026
		80%	0.168	0.19		0.657			
2	0.23	20%	0.046	0.07	0.686		0.700	0.046	0.032
		80%	0.184	0.21		0.714			
2.2	0.3	20%	0.06	0.08	0.626		0.697	0.06	0.042
		80%	0.24	0.27		0.767			
2.4	0.32	20%	0.064	0.08	0.560		0.623	0.064	0.040
		80%	0.256	0.28		0.686			
2.6	0.32	20%	0.064	0.08	0.560		0.623	0.064	0.040
		80%	0.256	0.28		0.686			
2.8	0.32	20%	0.064	0.09	0.714		0.700	0.064	0.045
		80%	0.256	0.28		0.686			
3	0.28	20%	0.056	0.08	0.686		0.700	0.056	0.039
		80%	0.224	0.25		0.714			
3.2	0.25	20%	0.05	0.07	0.626		0.626	0.05	0.031
		80%	0.2	0.22		0.626			
3.4	0.21	20%	0.042	0.07	0.741		0.699	0.042	0.029
		80%	0.168	0.19		0.657			
3.6	0.22	20%	0.044	0.07	0.714		0.700	0.044	0.031
		80%	0.176	0.2		0.686			
3.8	0.2	20%	0.04	0.06	0.626		0.697	0.04	0.028
		80%	0.16	0.19		0.767			
4	0.25	20%	0.05	0.07	0.626		0.626	0.05	0.031
		80%	0.2	0.22		0.626			
4.2	0.26	20%	0.052	0.07	0.594		0.626	0.052	0.033
		80%	0.208	0.23		0.657			
4.4	0.22	20%	0.044	0.06	0.560		0.689	0.044	0.030
		80%	0.176	0.21		0.817			
4.6	0.24	20%	0.048	0.06	0.485		0.540	0.048	0.026
		80%	0.192	0.21		0.594			
4.8	0.27	20%	0.054	0.08	0.714		0.700	0.054	0.038
		80%	0.216	0.24		0.686			
5	0.31	20%	0.062	0.09	0.741		0.699	0.062	0.043
		80%	0.248	0.27		0.657			
5.2	0.3	20%	0.06	0.08	0.626		0.626	0.06	0.038
		80%	0.24	0.26		0.626			
5.4	0.28	20%	0.056	0.07	0.524		0.542	0.056	0.030
		80%	0.224	0.24		0.560			
5.6	0.28	20%	0.056	0.07	0.524		0.619	0.056	0.035
		80%	0.224	0.25		0.714			
5.8	0.27	20%	0.054	0.07	0.560		0.623	0.054	0.034
		80%	0.216	0.24		0.686			
SUMA								1.439	0.932
								Q (m³/s)=	0.932

Tabla 34: Aforo N°02 13/01/2018

AFORO DEL RÍO AZUFRE - CAJAMARCA (13/01/2018)									
Coordenadas:	E	786286.78 m			Clima:	Parcialmente nublado			
	N	9217437.41 m			Hora de aforo:	11.00 am			
	Z	2916							
Dist. Total (m)	5.8								
Distancia de tramos(cm)	Altura Total hi (m)	Porcentaje	Distancia a cada porcentaje(m)	Tubo Pitot Altura a cada porcentaje(m)	Velocidades			Área Ai (m2)	Caudal qi (m3/s)
					0.2 Vi	0.8 Vi	Vi		
0.2	0.14	20%	0.028	0.03	0.198		0.396	0.014	0.006
		80%	0.112	0.13		0.594			
0.4	0.18	20%	0.036	0.04	0.280		0.420	0.036	0.015
		80%	0.144	0.16		0.560			
0.6	0.24	20%	0.048	0.06	0.485		0.613	0.048	0.029
		80%	0.192	0.22		0.741			
0.8	0.18	20%	0.036	0.05	0.524		0.786	0.036	0.028
		80%	0.144	0.2		1.048			
1	0.19	20%	0.038	0.05	0.485		0.540	0.038	0.021
		80%	0.152	0.17		0.594			
1.2	0.19	20%	0.038	0.05	0.485		0.540	0.038	0.021
		80%	0.152	0.17		0.594			
1.4	0.19	20%	0.038	0.05	0.485		0.540	0.038	0.021
		80%	0.152	0.17		0.594			
1.6	0.19	20%	0.038	0.05	0.485		0.540	0.038	0.021
		80%	0.152	0.17		0.594			
1.8	0.18	20%	0.036	0.05	0.524		0.434	0.036	0.016
		80%	0.144	0.15		0.343			
2	0.2	20%	0.04	0.05	0.443		0.443	0.04	0.018
		80%	0.16	0.17		0.443			
2.2	0.27	20%	0.054	0.07	0.560		0.542	0.054	0.029
		80%	0.216	0.23		0.524			
2.4	0.29	20%	0.058	0.06	0.198		0.396	0.058	0.023
		80%	0.232	0.25		0.594			
2.6	0.29	20%	0.058	0.6	3.261		1.928	0.058	0.112
		80%	0.232	0.25		0.594			
2.8	0.29	20%	0.058	0.7	3.549		1.973	0.058	0.114
		80%	0.232	0.24		0.396			
3	0.25	20%	0.05	0.06	0.443		0.535	0.05	0.027
		80%	0.2	0.22		0.626			
3.2	0.22	20%	0.044	0.05	0.343		0.312	0.044	0.014
		80%	0.176	0.18		0.280			
3.4	0.18	20%	0.036	0.05	0.524		0.542	0.036	0.020
		80%	0.144	0.16		0.560			
3.6	0.19	20%	0.038	0.05	0.485		0.441	0.038	0.017
		80%	0.152	0.16		0.396			
3.8	0.17	20%	0.034	0.04	0.343		0.434	0.034	0.015
		80%	0.136	0.15		0.524			
4	0.22	20%	0.044	0.06	0.560		0.542	0.044	0.024
		80%	0.176	0.19		0.524			
4.2	0.23	20%	0.046	0.06	0.524		0.542	0.046	0.025
		80%	0.184	0.2		0.560			
4.4	0.19	20%	0.038	0.05	0.485		0.441	0.038	0.017
		80%	0.152	0.16		0.396			
4.6	0.21	20%	0.042	0.05	0.396		0.441	0.042	0.019
		80%	0.168	0.18		0.485			
4.8	0.24	20%	0.048	0.05	0.198		0.396	0.048	0.019
		80%	0.192	0.21		0.594			
5	0.28	20%	0.056	0.07	0.524		0.619	0.056	0.035
		80%	0.224	0.25		0.714			
5.2	0.27	20%	0.054	0.07	0.560		0.542	0.054	0.029
		80%	0.216	0.23		0.524			
5.4	0.25	20%	0.05	0.06	0.443		0.443	0.05	0.022
		80%	0.2	0.21		0.443			
5.6	0.25	20%	0.05	0.06	0.443		0.535	0.05	0.027
		80%	0.2	0.22		0.626			
5.8	0.24	20%	0.048	0.06	0.485		0.441	0.048	0.021
		80%	0.192	0.2		0.396			
SUMA								1.268	0.801
								Q (m³/s)=	0.801

Tabla 35: Aforo N°03 20/01/2018

AFORO DEL RÍO AZUFRE - CAJAMARCA (20/01/2018)										
Coordenadas:	E	786286.78 m			Clima:	Parcialmente nublado				
	N	9217437.41 m				Hora de aforo:	11.00 am			
	Z	2916								
Dist. Total (m)	5.8									
Distancia de tramos(cm)	Altura Total hi (m)	Porcentaje	Distancia a cada porcentaje(m)	Tubo Pitot Altura a cada porcentaje(m)	Velocidades			Área Ai (m2)	Caudal qi (m3/s)	
					0.2 Vi	0.8 Vi	Vi			
0.2	0.13	20%	0.026	0.03	0.280	0.343	0.312	0.013	0.004	
		80%	0.104	0.11						
0.4	0.18	20%	0.036	0.04	0.280	0.343	0.312	0.036	0.011	
		80%	0.144	0.15						
0.6	0.26	20%	0.052	0.06	0.396	0.485	0.441	0.052	0.023	
		80%	0.208	0.22						
0.8	0.16	20%	0.032	0.05	0.594	0.485	0.540	0.032	0.017	
		80%	0.128	0.14						
1	0.21	20%	0.042	0.05	0.396	0.198	0.297	0.042	0.012	
		80%	0.168	0.17						
1.2	0.2	20%	0.04	0.05	0.443	0.443	0.443	0.04	0.018	
		80%	0.16	0.17						
1.4	0.17	20%	0.034	0.04	0.343	0.524	0.434	0.034	0.015	
		80%	0.136	0.15						
1.6	0.16	20%	0.032	0.4	2.687	0.198	1.443	0.032	0.046	
		80%	0.128	0.13						
1.8	0.19	20%	0.038	0.4	2.665	0.396	1.531	0.038	0.058	
		80%	0.152	0.16						
2	0.22	20%	0.044	0.05	0.343	0.524	0.434	0.044	0.019	
		80%	0.176	0.19						
2.2	0.26	20%	0.052	0.06	0.396	0.485	0.441	0.052	0.023	
		80%	0.208	0.22						
2.4	0.31	20%	0.062	0.07	0.396	0.198	0.297	0.062	0.018	
		80%	0.248	0.25						
2.6	0.27	20%	0.054	0.6	3.273	0.524	1.899	0.054	0.103	
		80%	0.216	0.23						
2.8	0.29	20%	0.058	0.7	3.549	0.396	1.973	0.058	0.114	
		80%	0.232	0.24						
3	0.26	20%	0.052	0.06	0.396	0.485	0.441	0.052	0.023	
		80%	0.208	0.22						
3.2	0.21	20%	0.042	0.05	0.396	0.485	0.441	0.042	0.019	
		80%	0.168	0.18						
3.4	0.25	20%	0.05	0.06	0.443	0.443	0.443	0.05	0.022	
		80%	0.2	0.21						
3.6	0.22	20%	0.044	0.05	0.343	0.524	0.434	0.044	0.019	
		80%	0.176	0.19						
3.8	0.15	20%	0.03	0.04	0.443	0.443	0.443	0.03	0.013	
		80%	0.12	0.13						
4	0.26	20%	0.052	0.06	0.396	0.198	0.297	0.052	0.015	
		80%	0.208	0.21						
4.2	0.25	20%	0.05	0.06	0.443	0.443	0.443	0.05	0.022	
		80%	0.2	0.21						
4.4	0.19	20%	0.038	0.05	0.485	0.396	0.441	0.038	0.017	
		80%	0.152	0.16						
4.6	0.19	20%	0.038	0.05	0.485	0.396	0.441	0.038	0.017	
		80%	0.152	0.16						
4.8	0.22	20%	0.044	0.05	0.343	0.524	0.434	0.044	0.019	
		80%	0.176	0.19						
5	0.26	20%	0.052	0.06	0.396	0.485	0.441	0.052	0.023	
		80%	0.208	0.22						
5.2	0.25	20%	0.05	0.06	0.443	0.443	0.443	0.05	0.022	
		80%	0.2	0.21						
5.4	0.24	20%	0.048	0.06	0.485	0.594	0.540	0.048	0.026	
		80%	0.192	0.21						
5.6	0.22	20%	0.044	0.06	0.560	0.524	0.542	0.044	0.024	
		80%	0.176	0.19						
5.8	0.22	20%	0.044	0.06	0.560	0.524	0.542	0.044	0.024	
		80%	0.176	0.19						
							SUMA	1.267	0.787	
								Q (m³/s)=	0.787	

Tabla 36: Aforo N°03 10/10/2018

AFORO DEL RÍO AZUFRE - CAJAMARCA (10/10/2018)									
Coordenadas:	E	786286.78 m			Clima:	lluvioso			
	N	9217437.41 m			Hora de aforo:	11.00 am			
	Z	2916							
Dist. Total (m)	5.8								
Distancia de tramos(cm)	Altura Total hi (m)	Porcentaje	Distancia a cada porcentaje(m)	Tubo Pitot Altura a cada porcentaje(m)	Velocidades			Área Ai (m2)	Caudal qi (m3/s)
					0.2 Vi	0.8 Vi	Vi		
0.2	0.23	20%	0.046	0.05	0.280		0.497	0.023	0.011
		80%	0.184	0.21		0.714			
0.4	0.31	20%	0.062	0.08	0.594		0.540	0.062	0.033
		80%	0.248	0.26		0.485			
0.6	0.67	20%	0.134	0.15	0.560		0.542	0.134	0.073
		80%	0.536	0.55		0.524			
0.8	0.75	20%	0.15	0.165	0.542		1.129	0.15	0.169
		80%	0.6	0.75		1.716			
1	0.81	20%	0.162	0.17	0.396		0.441	0.162	0.071
		80%	0.648	0.66		0.485			
1.2	0.91	20%	0.182	0.19	0.396		0.441	0.182	0.080
		80%	0.728	0.74		0.485			
1.4	0.96	20%	0.192	0.2	0.396		0.441	0.192	0.085
		80%	0.768	0.78		0.485			
1.6	0.89	20%	0.178	0.19	0.485		0.441	0.178	0.078
		80%	0.712	0.72		0.396			
1.8	0.92	20%	0.184	0.19	0.343		0.434	0.184	0.080
		80%	0.736	0.75		0.524			
2	0.96	20%	0.192	0.2	0.396		0.441	0.192	0.085
		80%	0.768	0.78		0.485			
2.2	0.88	20%	0.176	0.18	0.280		0.312	0.176	0.055
		80%	0.704	0.71		0.343			
2.4	0.92	20%	0.184	0.19	0.343		0.732	0.184	0.135
		80%	0.736	0.8		1.121			
2.6	0.98	20%	0.196	0.25	1.029		0.747	0.196	0.146
		80%	0.784	0.795		0.465			
2.8	1.02	20%	0.204	0.21	0.343		0.434	0.204	0.088
		80%	0.816	0.83		0.524			
3	0.94	20%	0.188	0.2	0.485		0.540	0.188	0.101
		80%	0.752	0.77		0.594			
3.2	0.86	20%	0.172	0.18	0.396		0.441	0.172	0.076
		80%	0.688	0.7		0.485			
3.4	0.9	20%	0.18	0.19	0.443		0.443	0.18	0.080
		80%	0.72	0.73		0.443			
3.6	0.78	20%	0.156	0.16	0.280		0.372	0.156	0.058
		80%	0.624	0.635		0.465			
3.8	0.69	20%	0.138	0.145	0.371		0.383	0.138	0.053
		80%	0.552	0.56		0.396			
4	0.91	20%	0.182	0.19	0.396		0.441	0.182	0.080
		80%	0.728	0.74		0.485			
4.2	0.98	20%	0.196	0.2	0.280		0.312	0.196	0.061
		80%	0.784	0.79		0.343			
4.4	0.76	20%	0.152	0.16	0.396		0.441	0.152	0.067
		80%	0.608	0.62		0.485			
4.6	0.75	20%	0.15	0.155	0.313		0.428	0.15	0.064
		80%	0.6	0.615		0.542			
4.8	0.75	20%	0.15	0.155	0.313		0.652	0.15	0.098
		80%	0.6	0.65		0.990			
5	0.95	20%	0.19	0.195	0.313		0.378	0.19	0.072
		80%	0.76	0.77		0.443			
5.2	0.91	20%	0.182	0.19	0.396		0.383	0.182	0.070
		80%	0.728	0.735		0.371			
5.4	0.96	20%	0.192	0.2	0.396		0.383	0.192	0.074
		80%	0.768	0.775		0.371			
5.6	0.84	20%	0.168	0.175	0.371		0.383	0.168	0.064
		80%	0.672	0.68		0.396			
5.8	0.55	20%	0.11	0.12	0.443		0.378	0.11	0.042
		80%	0.44	0.445		0.313			
SUMA								4.725	2.250
								Q (m³/s)=	2.250

## Anexo 5. CAUDALES MEDIOS MENSUALES GENERADOS PARA LA CUENCA AZUFRE

Tabla 37: Precipitaciones Efectivas Generadas

PRECIPITACION EFECTIVA GENERADA													
N	69.69												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1976	33.9	29.9	51.9	4.1	3.7	0.2	1.3	0.9	0.2	15	22.7	20.9	184.7
1977	33.9	29.9	51.9	4.1	3.7	0.2	1.3	0.9	0.2	15	22.7	20.9	184.7
1978	33.9	29.9	51.9	4.1	3.7	0.2	1.3	0.9	0.2	15	22.7	20.9	184.7
1979	33.9	29.9	51.9	4.1	3.7	0.2	1.3	0.9	0.2	15	22.7	20.9	184.7
1980	33.9	29.9	51.9	4.1	3.7	0.2	1.3	0.9	0.2	15	22.7	20.9	184.7
1981	26.8	56.4	51	16	6	0.2	0.6	0.3	1.7	29.8	17.8	34.3	240.9
1982	26.8	56.4	51	16	6	0.2	0.6	0.3	1.7	29.8	17.8	34.3	240.9
1983	26.8	56.4	51	16	6	0.2	0.6	0.3	1.7	29.8	17.8	34.3	240.9
1984	26.8	56.4	51	16	6	0.2	0.6	0.3	1.7	29.8	17.8	34.3	240.9
1985	26.8	56.4	51	16	6	0.2	0.6	0.3	1.7	29.8	17.8	34.3	240.9
1986	49.5	48.1	27.3	32.2	0.3	0.2	0.5	0.5	2.9	26.2	27.4	13.2	228.3
1987	49.5	48.1	27.3	32.2	0.3	0.2	0.5	0.5	2.9	26.2	27.4	13.2	228.3
1988	49.5	48.1	27.3	32.2	0.3	0.2	0.5	0.5	2.9	26.2	27.4	13.2	228.3
1989	49.5	48.1	27.3	32.2	0.3	0.2	0.5	0.5	2.9	26.2	27.4	13.2	228.3
1990	49.5	48.1	27.3	32.2	0.3	0.2	0.5	0.5	2.9	26.2	27.4	13.2	228.3
1991	19.7	44.6	90.2	37.3	2.7	0.7	1.8	2.1	1.6	16.6	27.5	44.8	289.6
1992	19.7	44.6	90.2	37.3	2.7	0.7	1.8	2.1	1.6	16.6	27.5	44.8	289.6
1993	19.7	44.6	90.2	37.3	2.7	0.7	1.8	2.1	1.6	16.6	27.5	44.8	289.6
1994	19.7	44.6	90.2	37.3	2.7	0.7	1.8	2.1	1.6	16.6	27.5	44.8	289.6
1995	19.7	44.6	90.2	37.3	2.7	0.7	1.8	2.1	1.6	16.6	27.5	44.8	289.6
1996	33.8	121.9	75	27.2	12.4	1.2	2.5	0.9	17.9	29.8	37.3	51.9	411.8
1997	33.8	121.9	75	27.2	12.4	1.2	2.5	0.9	17.9	29.8	37.3	51.9	411.8
1998	33.8	121.9	75	27.2	12.4	1.2	2.5	0.9	17.9	29.8	37.3	51.9	411.8
1999	33.8	121.9	75	27.2	12.4	1.2	2.5	0.9	17.9	29.8	37.3	51.9	411.8
2000	33.8	121.9	75	27.2	12.4	1.2	2.5	0.9	17.9	29.8	37.3	51.9	411.8
2001	53	44.6	127.8	37.6	3.6	1.1	1	2.5	4.9	70.1	58.3	101.9	506.4
2002	53	44.6	127.8	37.6	3.6	1.1	1	2.5	4.9	70.1	58.3	101.9	506.4
2003	53	44.6	127.8	37.6	3.6	1.1	1	2.5	4.9	70.1	58.3	101.9	506.4
2004	53	44.6	127.8	37.6	3.6	1.1	1	2.5	4.9	70.1	58.3	101.9	506.4
2005	53	44.6	127.8	37.6	3.6	1.1	1	2.5	4.9	70.1	58.3	101.9	506.4
2006	27	137.5	186.3	52.4	0	7.3	1.5	0.3	2.1	49	79.6	159.1	702.1
2007	54.1	13.3	143.7	72.8	12.1	3.3	2.1	0.5	0.8	134.7	124.4	45.1	606.9
2008	59.1	140.3	94.7	55.3	10.3	0.7	0.6	1.5	19.3	75.7	53.8	25.9	537.2
2009	178.1	69.6	133.8	84.9	38.2	8.3	0.2	0.3	1.7	75.7	101.2	68	760
2010	20.6	78.5	148.9	52.7	23.5	0	0.4	2.1	2.5	34.1	100.2	89.6	553.1
2011	48	64.6	135.6	107.8	0.9	1	0.4	2	18.7	13.1	36.7	99.5	528.3
2012	210.7	159.2	80.1	46.7	13.6	1.5	3.3	0.9	0.1	98.4	160.8	22.1	797.4
2013	32.5	69.5	150.6	29.4	70	0.4	0	3.4	0.7	131.3	10.6	112.1	610.5
2014	37.4	70.7	127.4	28.9	15.2	0.5	2.1	1	4.9	12.9	42.2	106.5	449.7
2015	200.1	43	179.8	38.1	51.8	1	0.7	1.1	4.8	4.1	72.4	43.5	640.4
MEDIA	49.56053	66.15526	89.29211	35.07368	9.781579	1.094737	1.242105	1.244737	5.2947368	40.43421	44.51316	54.33158	398.0184
DESV EST	45.36235	36.39349	44.34091	20.49046	14.44449	1.71558	0.823845	0.874163	6.3886279	31.73124	32.31933	36.0824	173.674
MIN	19.7	13.3	27.3	4.1	0	0	0	0.3	0.1	4.1	10.6	13.2	184.7
MAX	210.7	159.2	186.3	107.8	70	8.3	3.3	3.4	19.3	134.7	160.8	159.1	797.4

Tabla 38: Números aleatorios con Distribución Normal Estándar (0,1)

NUMEROS ALEATORIOS CON DISTRIBUCION NORMAL ESTANDAR (0,1)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1976	0.451	1.534	1.333	-1.223	-0.107	-0.999	0.081	-0.329	-0.521	0.520	1.072	-1.380
1977	0.042	0.585	0.252	2.415	0.591	-0.471	-1.142	0.085	-0.089	0.784	-0.555	-0.012
1978	1.148	0.661	0.281	0.146	0.396	-0.372	-0.309	-1.047	-0.994	-1.053	0.444	-0.044
1979	1.158	0.679	1.017	-0.715	-1.648	-1.202	0.038	0.597	0.750	-0.344	0.155	2.756
1980	-0.519	-2.632	-0.859	0.782	1.128	0.156	0.274	0.401	0.882	-0.295	-0.696	-0.390
1981	-0.716	0.517	-0.782	0.290	-1.393	0.307	1.413	0.112	0.751	-0.632	-0.417	0.663
1982	-0.454	0.218	-1.271	-0.555	-1.177	-1.001	0.956	0.934	-0.917	-0.025	0.742	0.790
1983	-0.880	-1.415	-0.592	-1.468	-1.528	0.974	-1.004	-1.128	-0.431	-1.736	-0.182	0.962
1984	-1.069	0.000	-0.030	-1.590	-1.168	-1.921	-0.622	-0.305	1.485	1.628	-0.352	0.825
1985	0.688	0.678	0.529	0.995	0.032	0.142	0.714	-1.509	-1.292	0.138	1.179	-0.711
1986	-0.281	-1.443	0.460	-0.899	-0.398	-0.179	-1.104	0.470	1.663	-0.819	-0.364	-0.505
1987	-0.527	-1.016	0.110	0.389	0.202	-0.476	-0.850	0.807	-0.573	0.193	-1.143	-0.155
1988	-0.346	-0.627	-0.724	0.468	0.464	2.537	0.412	0.487	-0.118	-0.359	-0.582	-0.450
1989	-1.391	0.477	-1.189	-1.456	-1.952	-0.147	0.453	-1.179	-1.328	0.100	0.634	-1.259
1990	1.222	-1.335	0.425	-0.377	0.579	1.033	0.562	-1.677	0.534	1.752	-0.233	-0.786
1991	-0.203	-0.910	0.028	1.971	0.937	-0.741	0.258	1.286	0.702	-0.227	0.881	1.643
1992	0.792	-0.881	0.633	1.017	0.502	1.070	-1.463	-0.485	-0.300	1.630	1.981	-1.310
1993	-0.053	0.161	0.596	-1.158	-0.242	-0.629	0.412	0.810	-0.787	0.472	2.234	0.513
1994	2.135	0.006	-0.169	0.784	2.650	2.545	-0.502	-0.565	0.153	0.566	3.297	-0.333
1995	0.515	0.162	-0.178	1.215	-0.029	1.036	0.004	-1.003	-0.284	-0.007	-1.396	-1.002
1996	-0.675	-1.375	0.060	-1.594	-0.338	1.001	-0.531	-0.075	-0.496	-0.583	0.588	-0.300
1997	0.923	0.264	-0.368	-1.361	0.216	0.159	-1.441	-1.243	-1.223	1.267	-0.395	-0.092
1998	0.111	-1.794	0.729	-0.791	0.460	-0.815	-0.358	0.444	1.452	0.271	0.496	-0.878
1999	0.211	0.806	-0.502	1.662	-1.317	1.588	0.180	0.345	0.442	-0.888	-0.356	-0.284
2000	-3.170	0.159	0.613	-2.632	-0.402	1.154	-2.108	0.552	0.816	-1.864	-0.116	-0.077
2001	2.114	-1.829	0.818	-0.788	-1.890	-0.528	-2.705	1.323	1.975	-0.161	0.099	0.937
2002	0.079	-1.004	-0.699	-2.230	-0.301	-0.066	-0.298	-0.650	1.051	0.925	1.226	0.098
2003	-0.795	-0.526	-0.548	-0.447	-0.300	0.353	-0.253	0.407	-0.390	-1.305	-0.612	-0.324
2004	-1.572	1.344	-0.083	-0.127	-1.513	-0.075	-0.951	0.870	0.594	1.108	-1.034	0.041
2005	-0.836	1.954	-1.088	0.823	-1.299	0.618	0.343	0.585	1.567	0.675	0.456	-1.661
2006	-0.339	1.571	0.256	-1.674	-0.761	-0.536	-0.425	0.704	-0.204	-0.070	-0.711	0.234
2007	0.763	-0.345	-1.806	0.374	0.466	-0.540	1.120	0.463	0.783	2.099	-3.054	-1.130
2008	0.231	1.765	-0.843	-1.347	-1.004	0.227	-0.436	0.346	0.552	-0.497	-0.820	-0.164
2009	-0.092	-0.477	-0.875	-2.064	-0.189	-0.538	0.341	0.363	-0.140	-0.324	0.317	-1.187
2010	-0.488	1.652	-1.148	0.157	-0.897	0.175	-3.158	-0.196	-1.272	-0.090	2.034	0.570
2011	1.268	1.778	-1.420	1.187	-0.594	-0.284	0.058	-1.032	-0.438	0.311	0.506	0.958
2012	-0.537	1.936	-1.164	-0.165	0.859	0.073	-1.378	-1.828	-0.141	0.312	0.862	0.716
2013	1.137	0.232	0.927	1.110	-0.522	-0.067	0.054	-0.828	0.260	0.817	-0.281	0.293
2014	0.998	-1.239	-2.177	-1.592	-0.017	-0.106	-0.363	1.292	-1.014	-0.304	-0.434	-0.416
2015	-2.682	0.381	-0.780	-0.723	0.841	-0.307	1.655	-0.235	0.571	0.481	0.878	0.485
MEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DESV EST	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MIN	-3.17	-1.83	-2.18	-2.63	-1.95	-0.81	-3.16	-1.83	-1.33	-1.86	-3.05	-1.66
MAX	2.13	1.95	0.93	1.97	2.65	2.55	1.66	1.32	1.98	2.10	3.30	1.64



Tabla 39: Coeficientes de Regresión Múltiple

COEFICIENTES DE REGRESION MULTIPLE												
	b1	4.095257	b2	0.395977	b3	0.472	Qt = b1 + b2*Qt-1 + b3*PEt + Z*S*(1 - R^2)^0.5					
	S	13.3766	R^2	0.819								

Tabla 40: Descargas medias mensuales

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES(mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>PROM</b>	<b>33.6</b>	<b>43.7</b>	<b>60.4</b>	<b>58.8</b>	<b>27.5</b>	<b>15.1</b>	<b>9.7</b>	<b>7.0</b>	<b>8.9</b>	<b>12.7</b>	<b>39.6</b>	<b>56.3</b>	<b>373</b>
1976	29.6	38.7	51.5	19.5	12.9	3.6	6.6	5.3	3.3	15.5	27.0	16.8	230
1977	27.0	32.2	42.8	36.7	23.8	10.9	2.5	6.0	6.1	18.0	18.8	21.3	246
1978	35.1	35.9	44.4	24.5	17.8	9.1	6.6	1.2	-1.0	4.8	19.2	21.3	219
1979	35.2	36.0	48.7	21.2	4.9	-0.7	4.6	9.8	12.3	14.1	21.3	38.1	245
1980	32.2	16.0	30.1	22.4	21.1	13.4	11.6	11.4	13.7	14.9	16.8	18.4	222
1981	20.0	41.6	40.2	29.2	10.6	10.1	16.4	11.4	13.7	20.0	18.0	31.2	262
1982	26.5	42.5	37.8	23.5	9.5	2.3	10.7	13.8	5.1	20.1	24.7	34.6	251
1983	25.4	32.8	37.8	18.3	5.5	11.9	3.4	-0.8	2.1	9.1	15.1	31.7	192
1984	23.2	39.9	43.8	20.0	8.2	-3.5	-0.5	2.3	14.3	33.1	23.6	34.3	239
1985	34.3	48.2	50.3	37.2	21.9	13.7	13.9	1.1	-2.0	18.2	26.4	26.7	290
1986	36.5	33.0	32.7	27.1	12.7	8.2	1.3	7.5	17.9	18.9	22.5	16.3	235
1987	31.0	33.3	30.8	33.7	18.7	8.9	3.0	10.1	6.2	20.0	18.5	16.8	231
1988	32.1	36.0	27.1	32.7	19.8	26.5	17.2	13.9	10.3	18.5	21.1	16.1	271
1989	25.9	39.8	26.0	21.3	1.6	4.0	8.5	1.0	-1.7	16.4	27.1	13.9	184
1990	39.9	35.0	33.3	30.3	19.5	17.8	14.6	0.6	8.7	29.9	27.6	16.8	274
1991	18.9	27.5	57.7	55.8	32.8	13.2	11.6	17.0	15.6	16.8	28.8	46.0	342
1992	36.1	34.5	64.0	52.8	29.1	22.1	5.4	4.4	4.9	23.2	37.5	32.7	347
1993	26.0	36.4	64.5	40.7	20.1	8.8	10.8	14.0	5.9	17.0	36.5	42.6	323
1994	42.4	42.0	62.4	50.9	40.6	35.0	15.9	8.2	9.0	18.7	43.3	40.5	409
1995	32.4	38.9	61.1	52.8	26.1	20.7	13.2	4.6	5.0	13.9	14.6	25.4	309
1996	26.3	64.2	65.3	33.7	21.4	18.8	9.7	7.9	12.9	19.9	33.0	40.0	353
1997	41.1	79.5	68.9	36.5	25.6	15.7	3.3	-1.2	5.1	27.4	30.3	40.1	372
1998	36.6	66.0	69.8	40.1	28.4	11.3	7.7	10.1	24.8	29.5	36.2	38.0	398
1999	36.3	80.6	68.6	53.6	23.7	23.1	15.4	12.6	20.1	21.1	28.0	38.1	421
2000	17.1	69.4	70.5	29.9	19.5	19.0	0.8	8.0	20.4	15.6	27.2	39.0	336
2001	56.6	37.2	83.8	50.6	15.1	7.6	-7.8	9.7	21.5	44.8	49.9	77.3	446
2002	60.2	43.3	77.6	39.9	19.9	12.1	7.7	4.6	14.2	48.1	57.7	75.6	461
2003	54.5	43.8	78.7	50.5	24.1	16.2	9.5	11.4	8.7	33.2	41.3	66.7	439
2004	46.6	51.3	84.3	54.5	18.8	11.6	3.8	11.7	14.4	49.2	45.2	70.4	462
2005	52.2	57.0	80.8	58.6	21.6	16.7	13.1	13.8	20.8	49.3	53.7	64.1	502
2006	40.3	93.9	130.8	71.1	27.9	15.5	8.5	11.6	8.5	30.2	49.6	100.2	588
2007	73.7	37.6	76.6	70.9	40.6	18.6	18.8	14.4	14.6	85.5	79.3	50.4	581
2008	53.3	101.5	84.2	55.9	25.4	15.8	8.1	10.0	20.3	45.1	42.7	32.3	495
2009	100.5	74.1	91.6	68.7	48.3	24.1	15.7	12.5	9.1	41.6	70.2	57.3	614
2010	33.7	63.9	93.2	66.8	36.5	19.6	-5.9	1.6	-1.3	19.2	70.6	77.6	475
2011	64.7	70.4	87.9	96.6	39.4	18.5	12.0	3.9	12.0	16.8	31.0	68.8	522
2012	127.8	140.9	91.1	61.3	39.7	20.9	6.1	-3.5	2.0	53.1	106.0	60.6	706
2013	49.9	58.0	103.5	65.3	60.0	27.7	15.4	7.1	8.7	74.2	36.9	73.3	580
2014	56.5	52.8	72.8	37.5	26.0	14.0	8.6	15.3	6.7	11.1	26.0	62.3	390
2015	108.0	69.4	112.1	62.4	58.0	25.8	24.1	12.8	14.7	14.6	49.1	46.8	598
<b>MEDIA</b>	<b>43.40</b>	<b>51.67</b>	<b>64.38</b>	<b>44.24</b>	<b>24.50</b>	<b>14.72</b>	<b>8.81</b>	<b>7.90</b>	<b>10.16</b>	<b>26.91</b>	<b>36.39</b>	<b>43.34</b>	<b>376.4</b>
<b>DESV EST</b>	<b>23.61</b>	<b>23.6</b>	<b>24.7</b>	<b>18.2</b>	<b>13.0</b>	<b>7.9</b>	<b>6.5</b>	<b>5.2</b>	<b>6.9</b>	<b>17.3</b>	<b>19.2</b>	<b>21.5</b>	<b>135.5</b>
<b>MIN</b>	<b>17.1</b>	<b>16.0</b>	<b>26.0</b>	<b>18.3</b>	<b>1.6</b>	<b>-3.5</b>	<b>-7.8</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>4.8</b>	<b>14.6</b>	<b>13.9</b>	<b>183.7</b>
<b>MAX</b>	<b>127.8</b>	<b>140.9</b>	<b>130.8</b>	<b>96.6</b>	<b>60.0</b>	<b>35.0</b>	<b>24.1</b>	<b>17.0</b>	<b>24.8</b>	<b>85.5</b>	<b>106.0</b>	<b>100.2</b>	<b>706.1</b>

Tabla 41: Descargas medias mensuales generadas para periodo extendido.

AREA MICROCUENCA(km2):	76.10													
DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS PARA PERIODO EXTENDIDO (m3/s)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	
Nro DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	365
1976	0.84	1.22	1.46	0.57	0.37	0.11	0.19	0.15	0.10	0.44	0.79	0.48	0.56	
1977	0.77	1.01	1.22	1.08	0.67	0.32	0.07	0.17	0.18	0.51	0.55	0.61	0.60	
1978	1.00	1.13	1.26	0.72	0.51	0.27	0.19	0.03	0.01	0.14	0.57	0.61	0.53	
1979	1.00	1.13	1.38	0.62	0.14	0.02	0.13	0.28	0.36	0.40	0.62	1.08	0.60	
1980	0.92	0.50	0.85	0.66	0.60	0.39	0.33	0.32	0.40	0.42	0.49	0.52	0.54	
1981	0.57	1.31	1.14	0.86	0.30	0.30	0.47	0.32	0.40	0.57	0.53	0.89	0.64	
1982	0.75	1.34	1.07	0.69	0.27	0.07	0.30	0.39	0.15	0.57	0.72	0.98	0.61	
1983	0.72	1.03	1.07	0.54	0.16	0.35	0.10	0.02	0.06	0.26	0.44	0.90	0.47	
1984	0.66	1.26	1.25	0.59	0.23	0.01	0.02	0.06	0.42	0.94	0.69	0.98	0.59	
1985	0.97	1.52	1.43	1.09	0.62	0.40	0.39	0.03	0.02	0.52	0.78	0.76	0.71	
1986	1.04	1.04	0.93	0.80	0.36	0.24	0.04	0.21	0.53	0.54	0.66	0.46	0.57	
1987	0.88	1.05	0.88	0.99	0.53	0.26	0.09	0.29	0.18	0.57	0.54	0.48	0.56	
1988	0.91	1.13	0.77	0.96	0.56	0.78	0.49	0.39	0.30	0.53	0.62	0.46	0.66	
1989	0.74	1.25	0.74	0.63	0.04	0.12	0.24	0.03	0.05	0.46	0.80	0.40	0.46	
1990	1.13	1.10	0.95	0.89	0.56	0.52	0.41	0.02	0.26	0.85	0.81	0.48	0.66	
1991	0.54	0.86	1.64	1.64	0.93	0.39	0.33	0.48	0.46	0.48	0.84	1.31	0.82	
1992	1.03	1.08	1.82	1.55	0.83	0.65	0.15	0.13	0.14	0.66	1.10	0.93	0.84	
1993	0.74	1.14	1.83	1.19	0.57	0.26	0.31	0.40	0.17	0.48	1.07	1.21	0.78	
1994	1.21	1.32	1.77	1.49	1.15	1.03	0.45	0.23	0.26	0.53	1.27	1.15	0.99	
1995	0.92	1.22	1.74	1.55	0.74	0.61	0.37	0.13	0.15	0.39	0.43	0.72	0.75	
1996	0.75	2.02	1.86	0.99	0.61	0.55	0.28	0.23	0.38	0.57	0.97	1.14	0.86	
1997	1.17	2.50	1.96	1.07	0.73	0.46	0.09	0.01	0.15	0.78	0.89	1.14	0.91	
1998	1.04	2.07	1.98	1.18	0.81	0.33	0.22	0.29	0.73	0.84	1.06	1.08	0.97	
1999	1.03	2.54	1.95	1.57	0.67	0.68	0.44	0.36	0.59	0.60	0.82	1.08	1.03	
2000	0.49	2.18	2.00	0.88	0.55	0.56	0.02	0.23	0.60	0.44	0.80	1.11	0.82	
2001	1.61	1.17	2.38	1.48	0.43	0.22	0.01	0.28	0.63	1.27	1.47	2.20	1.10	
2002	1.71	1.36	2.21	1.17	0.56	0.36	0.22	0.13	0.42	1.37	1.69	2.15	1.11	
2003	1.55	1.38	2.24	1.48	0.68	0.47	0.27	0.32	0.26	0.94	1.21	1.90	1.06	
2004	1.32	1.61	2.40	1.60	0.53	0.34	0.11	0.33	0.42	1.40	1.33	2.00	1.12	
2005	1.48	1.79	2.30	1.72	0.61	0.49	0.37	0.39	0.61	1.40	1.58	1.82	1.21	
2006	1.14	2.96	3.72	2.09	0.79	0.46	0.24	0.33	0.25	0.86	1.46	2.85	1.43	
2007	2.09	1.18	2.18	2.08	1.15	0.55	0.54	0.41	0.43	2.43	2.33	1.43	1.40	
2008	1.51	3.19	2.39	1.64	0.72	0.46	0.23	0.28	0.60	1.28	1.25	0.92	1.21	
2009	2.86	2.33	2.60	2.02	1.37	0.71	0.45	0.36	0.27	1.18	2.06	1.63	1.49	
2010	0.96	2.01	2.65	1.96	1.04	0.57	0.01	0.05	0.04	0.54	2.07	2.21	1.18	
2011	1.84	2.21	2.50	2.84	1.12	0.54	0.34	0.11	0.35	0.48	0.91	1.96	1.27	
2012	3.63	4.43	2.59	1.80	1.13	0.61	0.17	0.01	0.06	1.51	3.11	1.72	1.73	
2013	1.42	1.82	2.94	1.92	1.71	0.81	0.44	0.20	0.26	2.11	1.08	2.08	1.40	
2014	1.60	1.66	2.07	1.10	0.74	0.41	0.24	0.44	0.20	0.32	0.76	1.77	0.94	
2015	3.07	2.18	3.18	1.83	1.65	0.76	0.68	0.36	0.43	0.41	1.44	1.33	1.44	
MEDIA	1.26	1.66	1.86	1.31	0.70	0.45	0.27	0.23	0.32	0.79	1.09	1.26	0.93	
DESV EST	0.69	0.76	0.72	0.54	0.38	0.22	0.17	0.14	0.19	0.50	0.58	0.61	0.29	
MIN	0.49	0.50	0.74	0.54	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.43	0.40	0.46	
MAX	3.63	4.43	3.72	2.84	1.71	1.03	0.68	0.48	0.73	2.43	3.11	2.85	1.73	

Figura 48: Caudales medios anuales generados para periodo extendido

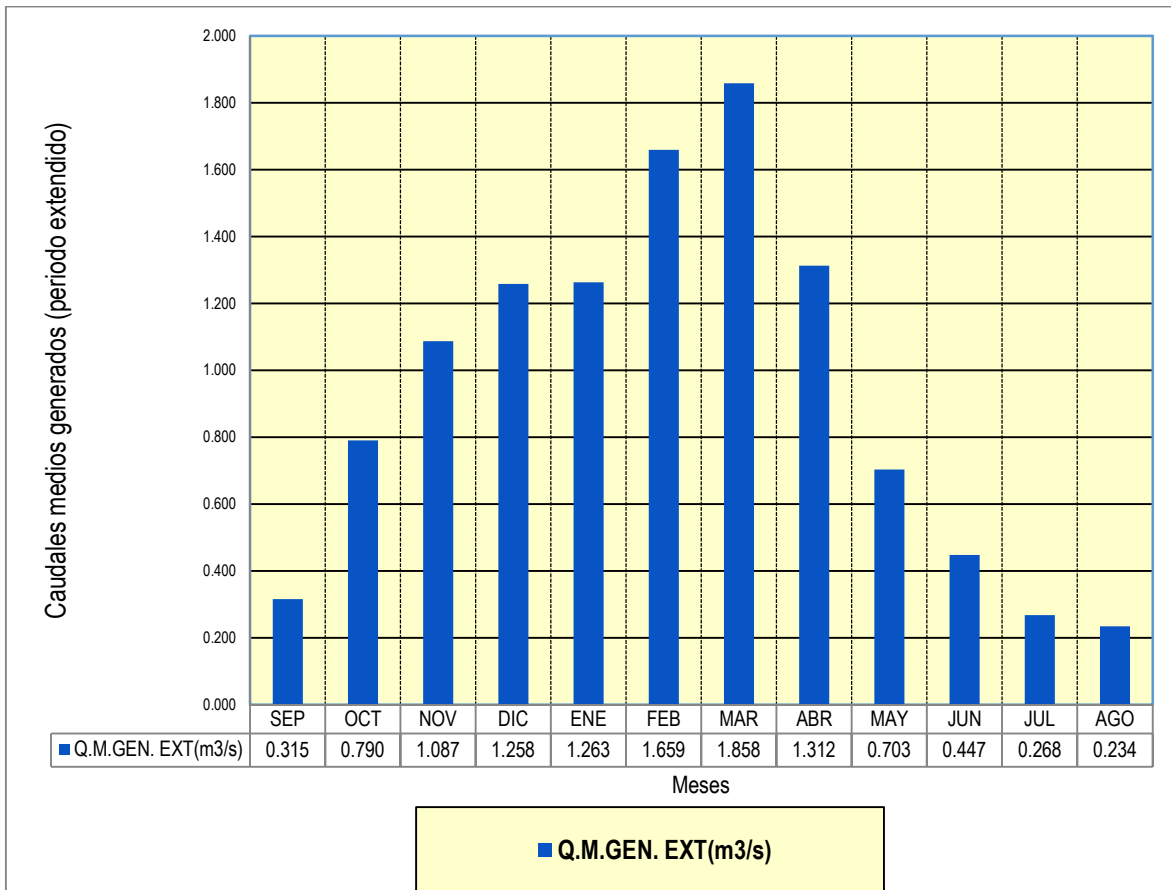


Tabla 42: Prueba de bondad

**Contraste de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

$H_0$ : La distribución de X es normal

$H_1$ : La distribución de X no es normal  $\alpha = 0.05$

N°	$x_i$	$n_i$	$F^*(x_i)$	$F(x_i)$	$ F^*(x_i) - F(x_i) $	$ F^*(x_{i-1}) - F(x_i) $
1	0.1556915	1	0.083	0.113	0.029	0.113
2	0.2246641	1	0.167	0.135	0.031	0.052
3	0.2293592	1	0.250	0.137	0.113	0.030
4	0.4074971	1	0.333	0.210	0.123	0.040
5	0.5761816	1	0.417	0.297	0.119	0.036
6	0.7919268	1	0.500	0.427	0.073	0.011
7	0.9102984	1	0.583	0.503	0.080	0.003
8	1.1506745	1	0.667	0.654	0.012	0.071
9	1.3592271	1	0.750	0.769	0.019	0.102
10	1.4116063	1	0.833	0.794	0.040	0.044
11	1.5545029	1	0.917	0.853	0.064	0.020
12	2.0922739	1	1.000	0.973	0.027	0.056
		12			#	#

# Para cada  $x_i$ , la mayor diferencia absoluta entre  $F^*$  y  $F$  se puede dar en el propio punto o a la izquierda del mismo.

Bajo  $H_0$ , X sigue una distribución normal:

Media = 0.91

Desviación = 0.62

Estadístico de la prueba:  $D_n = \sup_x |F^*(x) - F(x)|$

Las distribuciones de  $D_n$  (Test Smirnov Kolmogorov), bajo  $H_0$ , están tabuladas.

Se rechaza  $H_0$  si hay mucha discrepancia entre  $F^*$  y  $F$ , si  $D_n$  es significativamente distinto de cero.

R.A. =  $\{ D_n < k \}$

$k = 0.375$

$(\alpha=0.05)$

$D_n = 0.123$

**Se acepta  $H_0$**

Figura 49: Prueba de bondad

