

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



**“DISPONIBILIDAD DE AGUA DE LA MICROCUENCA
CHUGURMAYO, UTILIZANDO EL MODELO
DETERMINÍSTICO ESTOCÁSTICO LUTZ SCHOLZ Y EL
VOLUMEN TRANSPUESTO DE LA CUENCA TRES RÍOS”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

HERMÁN ROBER MARCHENA ESTRADA

ASESORADO POR:

Dr.Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

Cajamarca –Perú

2018

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Cajamarca por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Al Dr. Ing. Francisco Huamán Vidaurre, quien hizo posible el desarrollo de este trabajo, por formar parte de mi formación académica y su apoyo incondicional orientándome siempre hacia el camino de la investigación.

Al Dr. Ing. Oswaldo Ortiz Vera, quien con entusiasmo impulso e hizo posible el programa de asesoramiento de tesis, con el anhelo de que la escuela académico profesional de ingeniería hidráulica de sus primeros frutos y cumplamos con el objetivo de graduarnos como Ingenieros Hidráulicos.

Al Ing. Wilson Vargas Vargas, por sus consejos, por inculcarme buenos principios, valores, y por su orientación académica.

A cada uno de los docentes de la universidad nacional de Cajamarca, los cuales impartieron su conocimiento en las aulas de clase haciendo posible así mi formación académica.

A mis amigos por confiar, creer en mí y haber hecho de mi vida universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza y esperanza en los momentos de angustia, por darme la vida, la salud y la sabiduría para culminar este trabajo satisfactoriamente.

A mis padres Walter y Elsa por el apoyo incondicional, porque a pesar de las dificultades económicas se preocuparon siempre por mi formación profesional, por ser los pilares fundamentales de mi formación como ser humano, por inculcarme siempre el trabajo, honradez y la ambición de superación, por enseñarme que con esfuerzo y sacrificio se logran las metas.

A mis hermanos Olga, Wilmer y Filadelfio, quienes estuvieron en todo momento apoyándome en los momentos difíciles, por apoyarme y darme ánimo en todos mis proyectos personales.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	2
Objetivo General	2
Objetivos específicos	2
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. HIDROLOGÍA	3
2.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	13
2.3. MODELO DETERMINÍSTICO - ESTOCÁSTICO: LUTZ SCHOLZ	30
2.4. TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	45
III. MATERIALES Y MÉTODOS	60
UBICACIÓN	60
EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	61
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	62
PROCEDIMIENTO	63
A. Recopilación de información cartográfica	63
B. Recopilación de la información meteorológica	63
C. Punto Emisor	65
D. Procesamiento de la información pluviométrica.	65
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
4.1. RESULTADOS	66
4.2. DISCUSIÓN	66
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
VII. ANEXOS	87
A.1. Planillas de precipitación mensual completadas	87
A.2. Precipitación media efectiva.	94
A.3. REGISTRO DE AFOROS REALIZADOS	95

A.4.	Resumen de aforos de la cuenca Chonta	96
A.5.	Caudales medios mensuales generados para el río Chugurmayo.	98
A.6.	Prueba de bondad de ajuste del registro de caudales.	102
A.7.	PANEL FOTOGRÁFICO.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ciclo hidrológico del agua	3
Figura 2: Partes de la cuenca.	6
Figura 3: Criterio de J.W. Alvorod.	8
Figura 4: Criterio de Horton.	9
Figura 5: Criterio de Horton.	12
Figura 6: Hietogramas.	13
Figura 7: Proceso de la evapotranspiración.	27
Figura 8: Infiltración y Percolación.	28
Figura 9: Hidrograma de tormenta aislada (a)	30
Figura 10: Hidrograma anual (b)	30
Figura 11: Isoyetas de precipitación	32
Figura 12: Ubicación Departamental de la microcuenca Chugurmayo.	60
Figura 13: Ubicación referencial.	61
Figura 14: Vía de acceso a la Microcuenca Chugurmayo	62
Figura 15: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas	64
Figura 16: Punto Emisor	65
Figura 17: Microcuenca Chugurmayo	68
Figura 18: Descargas medias (m ³ /s) generadas de la cuenca del río Chugurmayo.	77
Figura 19: Mapa de Isoyetas de precipitación para el mes de marzo de 1999.	92
Figura 20: Aforos del rio Chugurmayo.	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Coeficientes de abastecimiento durante época de lluvias.	38
Tabla 2: Ejemplo de series para la regresión múltiple.	40
Tabla 3: Valores críticos de Δ_0 del estadístico Smirnov-Kolmogorov Δ , para varios valores de N y niveles de significación.	44
Tabla 4: Variables y dimensiones del fenómeno precipitación - escorrentia.	40
Tabla 5: Formas estandar de cuencas con base en el índice de Gravelius.	51
Tabla 6: Niveles de persistencia de acuerdo al uso del agua y al período estacional	56
Tabla 7: Coordenadas UTM de las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio de la cuenca Chugurmayo.	64
Tabla 8: Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Chugurmayo.	67
Tabla 9: Precipitación media total mensual (mm) de la cuenca chonta (1968-2017)	69
Tabla 10: Precipitación media efectiva mensual (mm) de la microcuenca Chugurmayo (período 1968-2016)	69
Tabla 11: Parámetros para calcular la retención en la microcuenca Chugurmayo	70
Tabla 12: Relación de caudales del flujo base, para meses de estiaje	71
Tabla 13: Gasto de retención, para meses de estiaje.	71
Tabla 14: Abastecimiento de la retención para los meses lluviosos	72
Tabla 15: Caudales medios mensuales generados para el año promedio.	72
Tabla 16: Series y coeficientes estadísticos para la regresión múltiple	73
Tabla 17: Cálculos Q_t de mensual.	74
Tabla 18: Cálculo del error (e) mensual.	74
Tabla 19: Caudales generados Q_m (mm/mes) para un periodo extendido.	75
Tabla 20: Caudales medios aforados del Rio Chugurmayo.	76
Tabla 21: Agua aprovechable (mm/mes), producida por la microcuenca del río Chugurmayo.	77
Tabla 22: Volumen de agua aprovechable (MMC), producida por la microcuenca del río Chugurmayo.	77
Tabla 23: Volumen de agua aprovechable (m ³ /s), producida por la microcuenca.	77
Tabla 24: Caudales medidos de la microcuenca Tres Rios (2008-2015)	78
Tabla 25: Caudales medidos completados hasta 2017 para la microcuenca Tres Rios	79
Tabla 24: Precipitación de la microcuenca Tres Rios en (mm/mes).	79
Tabla 25: Caudales de la microcuenca Chugurmayo en (m ³ /s).	80

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estimar los caudales medios mensuales de la microcuenca Chugurmayo mediante modelos hidrológicos. Para ello se realizó la delimitación de la microcuenca y calculamos sus parámetros geomorfológicos tomando como punto emisor una sección ubicada a 100 aguas arriba de la confluencia del río Chugurmayo con el río Sendamal, se recopiló la información meteorológica, fue analizada, procesada y sintetizada mediante sus parámetros estadísticos convirtiéndolo en un producto apto para aplicar el modelo de Lutz Scholz y el de transferencia de información hidrometeorológica. Se calculó la precipitación media mensual de la microcuenca mediante el método de Isoyetas, se determinó la precipitación efectiva, retención de la cuenca, abastecimiento de la retención y se hizo la transposición de caudales de la cuenca Tres Ríos hacia la microcuenca Chugurmayo. Además, se realizó 4 aforos por mes durante el año 2017. Se determinó que los caudales medios mensuales generados por el modelo determinístico-estocástico Lutz Scholz muestran una relación directa con la precipitación, los caudales obtenidos con el modelo determinístico Lutz Scholz en los meses de estiaje: Mayo, Junio, Julio, Agosto y Setiembre son 0.98 m³/s, 0.68 m³/s, 0.26 m³/s, 0.50 m³/s 0.90 m³/s respectivamente, por otra parte los caudales obtenidos mediante el método estocástico transposición de caudales en los meses de estiaje: Mayo, Junio, Julio, Agosto y Setiembre son 1.23 m³/s, 0.92 m³/s, 0.69 m³/s, 0.65 m³/s 0.77 m³/s respectivamente.

Palabras clave: Microcuenca del Río Chugurmayo, Modelo Lutz Scholz, Caudales Medios Mensuales, Disponibilidad De Agua Aprovechable, Volumen Transpuesto.

ABSTRAC

The objective of this research was to estimate the monthly average flows of the Chugurmayo micro-basin using hydrological models. To do this we delineate the micro-basin and calculate its geomorphological parameters taking as a point emitter a section located 100 upstream of the confluence of the river Chugurmayo with the river Sendamal, the meteorological information was collected, analyzed, processed and synthesized by its parameters statistics, making it a suitable product to apply the Lutz Scholz model and the hydrometeorological information transfer. The average monthly precipitation of the micro-basin was calculated using the Isoyetas method, effective precipitation was determined, retention of the basin, retention supply, and the transposition of flows from the Tres Ríos basin to the Chugurmayo micro-basin. In addition, 4 surveys were conducted per month during the year 2017. It was determined that the monthly average flows generated by the deterministic-stochastic model Lutz Scholz show a direct relationship with precipitation, the flows obtained with the deterministic model Lutz Scholz in the months of dryness: May, June, July, August and September are 0.98 m³ / s, 0.68 m³ / s, 0.26 m³ / s, 0.50 m³ / s 0.90 m³ / s respectively, on the other hand the flows obtained by the stochastic method transposition of flows in the months of low water: May, June, July, August and September are 1.23 m³ / s, 0.92 m³ / s, 0.69 m³ / s, 0.65 m³ / s 0.77 m³ / s respectively.

Key words: “Chonta” River Basin, Model Lutz Scholz, Monthly Average Flows, Disposable Water Availability, Transposed Volume.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XIX en diferentes ríos del mundo se registran caudales en estaciones hidrométricas con la finalidad de conocer la cantidad de agua disponible en las cuencas y microcuencas. La información de los diferentes tipos de caudales en un río y la predicción de caudales futuros son muy importantes en la planificación y desarrollo de proyectos, más aún en el presente siglo XXI donde se observan mayores necesidades de agua debido al cambio climático, a la mala distribución y a las actividades antrópicas que contaminan el agua dulce.

Esta situación ha generado muchas interrogantes y preocupación en la población, que requieren ser tratadas mediante un estudio de investigación; puesto que se requiere estimar los efectos producidos en el caudal debido a la actividad minera en la parte alta de la microcuenca Chugurmayo, durante los próximos años.

El diseño de ingeniería de los proyectos de aprovechamiento requiere de información para su adecuado diseño. Desafortunadamente en la mayoría de las cuencas de nuestra región se dispone únicamente de datos climáticos; lo cual dificulta determinar la escorrentía y evaluar la producción hídrica de las cuencas. La estimación de escorrentía en los ríos es uno de los principales problemas a tener en cuenta para desarrollar una gestión óptima del recurso hídrico.

La falta de información hidrométrica y pluviométrica en dichas cuencas, no permite hacer un balance hidrológico preciso; sin embargo, existen modelos matemáticos que toman en cuenta la precipitación pluvial y parámetros físicos de la cuenca que permiten generar caudales medios mensuales; dentro de estos está el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz, y el modelo determinístico de parámetros adimensionales para transponer caudales de una cuenca con información hacia otra que no tiene.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la microcuenca Chugurmayo la falta de información hidrológica, dificulta el planeamiento, administración y gestión de los recursos hídricos, afectando en gran medida el diseño, operación y mantenimiento de los proyectos hidráulicos (abastecimiento de agua potable, canales de riego, embalses de agua, entre otros). Este problema atraviesa la microcuenca Chugurmayo, y es común en distintas regiones de

nuestro país. Sabiendo que la zona de estudio, existe mucha demanda de agua, generando con ello la necesidad de compensar con la oferta hídrica se tiene la siguiente pregunta:

Pregunta principal: ¿Cuál es la disponibilidad de agua de la microcuenca Cugurmayo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Gran parte del problema de la mala gestión y aprovechamiento del agua radica en que no se tienen datos de hidrometría lo suficientemente confiables lo cual dificulta el diseño de toda obra de aprovechamiento hídrico. Considerando que la cuenca en estudio es una de las más importantes en nuestro valle y no cuenta con estudios de escorrentía que faciliten su buena gestión y aprovechamiento se cree por conveniente estudiar y analizar la cuenca.

Esta investigación permitirá estimar la disponibilidad de agua de la cuenca del río Chugurmayo para planificar el aprovechamiento óptimo del recurso, además de proporcionar datos hidrológicos que faciliten el diseño y operación de proyectos hidráulicos.

1.3. OBJETIVOS

Objetivo General

Estimar la disponibilidad de agua de la microcuenca Chugurmayo, utilizando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca Tres Ríos.

Objetivos específicos

- ✓ Recopilar y procesar la información cartográfica.
- ✓ Recopilar y procesar la información hidrológica.
- ✓ Estimar los caudales medios mensuales del río Chugurmayo utilizando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz, tomando como punto de descarga la altitud de 2058 msnm, para el período 1968-2017.
- ✓ Estimar los caudales medios mensuales del río Chugurmayo utilizando el modelo determinístico de transposición de caudales desde la cuenca Tres Ríos, para el período 2008-2017.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. HIDROLOGÍA

Ciclo Hidrológico

El agua es uno de los elementos más importantes para la vida y para el desarrollo de los organismos. También todos los procesos geomorfológicos y edafológicos, que son las relaciones físicas que ocurren en la corteza terrestre y que dan lugar a la formación del suelo a partir de la roca, dependen de este elemento, los ciclos atmosféricos y la dinámica del “tiempo atmosférico” se manifiestan por medio del agua. El agua se presenta en tres estados físicos: sólido (en forma de hielo), líquido y gaseoso (en forma de vapor). Las moléculas de agua pueden pasar de un estado a otro absorbiendo o liberando calor. Pueden pasar del estado gaseoso al líquido por condensación; si las temperaturas son inferiores a 0°C pasan directamente al estado sólido por sublimación, produciéndose cristales de hielo. En el proceso de evaporación, las moléculas abandonan la superficie del agua líquida y se transforman en moléculas gaseosas. El cambio directo del estado sólido al gaseoso se denomina también sublimación. El agua puede pasar del estado sólido al líquido por fusión y del líquido al sólido por congelación. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

Se denomina ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la Naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc). (CHEREQUE, W. 1991)

Figura 1: Ciclo hidrológico del agua



Fuente: (SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS-USGS)

Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales, definidas por la divisoria de las aguas en un territorio dado donde el agua, los sedimentos y los materiales disueltos drenan hacia un punto común de salida.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas; en las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago. En las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (GÁMEZ, W. 2010)

Cuenca Hidrológica.

La definición de cuenca hidrológica es más integral que la de cuenca hidrográfica. Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo. (GÁMEZ, W. 2010)

Tanto las cuencas hidrográficas como las hidrológicas se pueden subdividir en tres zonas de funcionamiento hídrico principales:

Zona de cabecera: Es la zona donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende, se localizan en las partes más altas de la cuenca. Por su función principalmente de captación de agua presenta la mayor fragilidad hidrológica. (ORDOÑEZ, J. 2011)

Zona de captación-transporte: Es la porción de la cuenca que en principio se encarga de captar la mayor parte del agua que entra al sistema, así como transportar el agua proveniente de la zona de cabecera. Esta zona puede considerarse como de mezcla ya que en ella confluyen masas de agua con diferentes características físico-químicas. (ORDOÑEZ, 2011)

Zonas de emisión: Se caracteriza por ser la zona que emite hacia una corriente más caudalosa de agua proveniente de las otras dos zonas funcionales. (ORDOÑEZ, J. 2011)

Delimitación De La Cuenca

Consiste en trazar la línea divisoria que se denomina parteaguas y se ubica en las partes más altas dividiendo el curso de la esorrentía hacia una u otra cuenca.

¿Cómo se traza la línea divisoria de una cuenca?

Una forma práctica y sencilla para trazar la línea divisoria de una cuenca es seguir los siguientes consejos:

- Se define la red de drenaje partiendo del cauce principal es decir todas las corrientes.
- Se ubican los puntos altos que están definidos por las curvas de nivel en el plano (estas curvas son líneas que indican la elevación de los lugares por donde pasan y cuya elevación será igual al valor de la curva).
- La línea divisoria debe pasar por los puntos altos definidos cortando ortogonalmente las curvas de nivel.
- En cualquier punto del terreno la línea divisoria debe ser el punto de mayor altitud excepto cerros o puntos altos que se encuentran dentro de la cuenca.
- La línea divisoria nunca debe cortar un río, quebrada o arroyo.

(ORDOÑEZ, J. 2011)

Parámetros Geomorfológicos

a. Área de la cuenca.

Este factor que, dependiendo de la ubicación de la cuenca, tiene importancia efectiva en la hidrografía del sistema. Para cuantificar primero es necesario, delimitar la cuenca, La delimitación de la cuenca se hace respecto a un punto de interés del cauce principal llamado punto emisor, el cual es el punto más bajo de la cuenca. (ORTIZ, O.1994).

El área se obtiene mediante el planimetrado de la superficie comprendida entre los límites del perímetro, y se expresa generalmente en Km². (ORTIZ, O.1994).

b. Perímetro de la cuenca.

Es la longitud de la curva cerrada correspondiente al divorfium aquarum, se expresa generalmente en Km y se determina mediante el curvímetro. (ORTIZ, O.1994).

c. Longitud del cauce

La longitud del cauce es un parámetro asociado con la geometría y tiempo de concentración; en consecuencia, expresa de alguna manera el grado de intensidad de la esorrentía directa de la cuenca. Se mide con el curvímetro y se expresa en Km, siendo la distancia en que hay entre el punto emisor y el extremo final del tramo de igual orden que el de la cuenca. (ORTIZ, O.1994).

d. Parámetros de forma

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas). (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

❖ Índice de compacidad o coeficiente de gravelius (Ic)

Es el cociente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca.

$$Ic = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.282 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (1)$$

Si $Ic=1$ la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

Si: $Ic \approx 1$ cuenca regular

$Ic \neq 1$ cuenca irregular; (Ic grande, menos susceptible a inundaciones).

(CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

❖ Factor de forma.

Fue definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009).

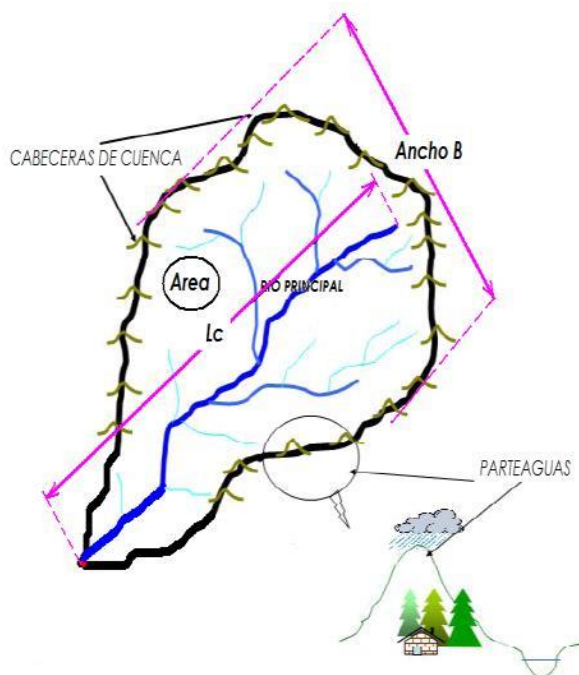
Una cuenca con factor de forma bajo, esta menos sujeta que otra del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma. (MONSALVE, G. 1999)

$$F_f = \frac{B}{L_c} \quad (2)$$

Ancho promedio de la cuenca:

$$B = \frac{A}{L_c} \quad (3)$$

Figura 2: Partes de la cuenca.



Fuente: (CAHUANA, A. Y YUGAR, W. 2009)

$$F_f = \frac{A}{L_c^2} \quad (4)$$

Donde:

B = Ancho promedio de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

L_c = Longitud de la cuenca, que se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

❖ **Relación de circularidad (Rci).**

Relación de circularidad, (Rci), denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca:

$$Rci = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (5)$$

Dónde: A= Área de la cuenca en km²; P= perímetro de la cuenca en km.

Cuando Rci = 1, La cuenca es circular y si Rci = 0.785, la cuenca es cuadrada.

(CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

e. Parámetros de relieve.

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son:

❖ **Pendiente de la cuenca.**

La pendiente media de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente media de una cuenca, entre las que se destacan son: criterio de Albord y criterio de Horton.

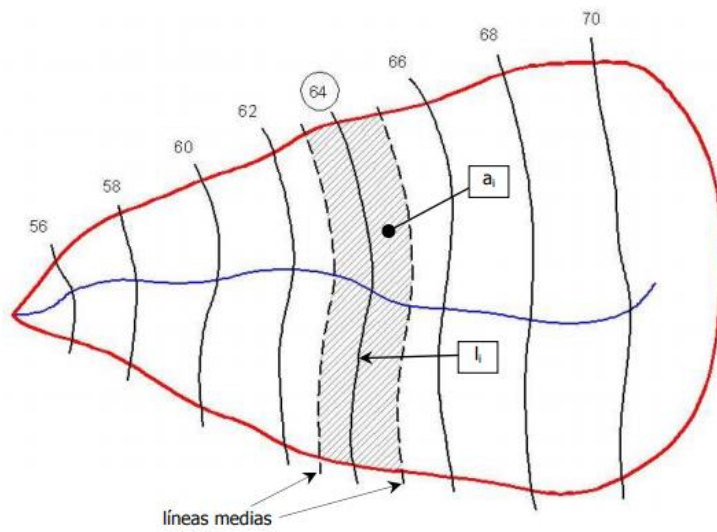
(CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

Criterio J.W. Alvord

Analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

Para una de ellas la pendiente es:

Figura 3: Criterio de J.W. Alvorod.



Fuente: (CAHUANA,A. Y YUGAR,W. 2009)

Con relación a la Figura 3, se tiene la siguiente simbología:

a_1 = área de la faja a, b, c, d, en Km^2

w_1 = ancho promedio de la faja abcd, en Km.

L_1 = longitud de la curva de nivel 62, en Km.

S_1 = pendiente promedio de la faja a, b, c, d, adimensional.

S_c = pendiente promedio de la cuenca, adimensional.

D = intervalo o desnivel constante entre curvas de nivel, en Km.

A = área o tamaño de la cuenca, en Km^2 .

L_n = longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en Km.

Entonces, se cumple que: $S_1 = D/w_1 = D(l_1)/a_1$ y la pendiente de la cuenca S_c , será el promedio pesado (ponderado) de las pendientes de cada faja, en relación a su área, esto es:

$$S_c = D/(l_1)/a_1 [(a_1/A)] + D(l_2)/a_2 [(a_2/A)] + \dots + D(l_n)/a_n [(a_n/A)] \quad (6)$$

De donde se obtiene, al simplificar y factorizar:

$$S_c = D/A (l_1 + l_2 + \dots + l_n) = DL_n/A \quad (7)$$

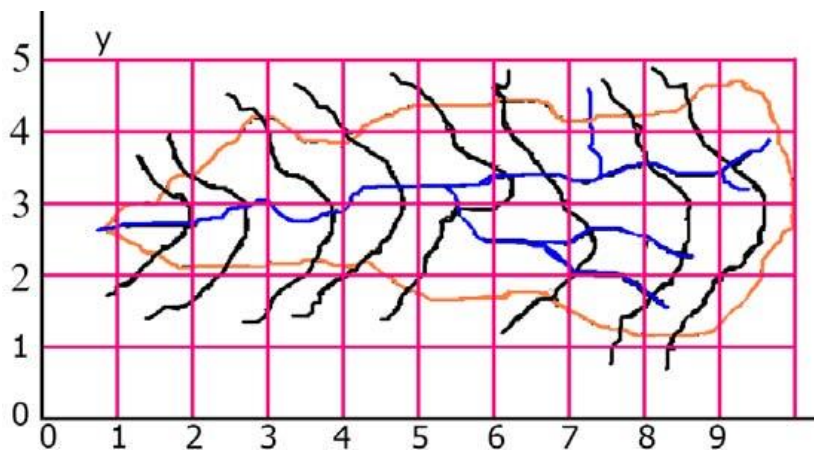
$$S_c = \frac{D(L_n)}{A} \quad (8)$$

Criterio de R.E. Horton

Consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección horizontal de la cuenca orientándola según la dirección de la corriente principal. Si se trata de una cuenca pequeña, la malla llevará al menos cuatro cuadros por lado, pero si se trata de una superficie mayor, deberá aumentarse el número de cuadros por lado, ya que la precisión del cálculo depende de ello. Una vez construida la malla en un esquema similar al que se muestra en la Figura, se miden las longitudes de las líneas de la malla dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

(CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

Figura 4: Criterio de Horton.



Fuente: (CAHUANA,A. Y YUGAR,W. 2009)

La pendiente de la cuenca en cada dirección de la malla se calcula así:

$$S_x = \frac{N_x(D_e)}{L_x} \quad (9)$$

$$S_y = \frac{N_y(D_e)}{L_y} \quad (10)$$

Siendo:

L_x = Longitud total de líneas de la malla en sentido x, dentro de la cuenca;

L_y = longitud total de líneas de la malla en sentido y, dentro de la cuenca;

N_x = número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido x.

N_y = número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido y.

S_x, S_y = pendiente adimensional de la cuenca en cada una de las direcciones de la malla de cuadrados.

De = desnivel constante entre las curvas de nivel de la cuenca, en Km.

Debiéndose respetar las recomendaciones citadas a este respecto en el criterio de Alvord, anteriormente descrito.

Horton considera que la pendiente media puede determinarse como:

$$S_c = \frac{N D_e \sec\Phi}{L} \quad (11)$$

Donde:

$$N = N_x + N_y$$

$$L = L_x + L_y$$

Φ = ángulo dominante entre las líneas de malla y curvas de nivel.

Como resulta laborioso determinar la $\sec\Phi$ de cada intersección, en la práctica y para propósitos de comparación es igualmente eficaz ignorar el término $\sec\Phi$ (aceptarlo como = 1) o bien considerar el promedio aritmético o geométrico de las pendientes S_x y S_y como pendiente de la cuenca.

Donde:

Promedio aritmético:

$$S_c = \frac{S_x + S_y}{2} \quad (12)$$

Promedio geométrico:

$$S_c = \sqrt{S_x S_y} \quad (13)$$

❖ **Altitud media**

Está definida por la ordenada media H de la curva hisométrica, o sea: (ORTIZ, O. 1994)

$$\bar{H} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n H_i A_i \quad (14)$$

❖ **Pendiente del cauce principal**

En general, la pendiente del cauce principal varía a lo largo de toda su longitud, siendo necesario usar un método adecuado para estimar una pendiente representativa. El concepto generalizado de que la pendiente es el cociente dado por la diferencia de alturas entre la longitud del cauce es muy inexacto e impreciso. Y para salvar este inconveniente se han desarrollado métodos basados en el perfil longitudinal del río o relieve y considerando una pendiente equivalente. (ORTIZ, O. 1994)

Ecuación de Taylor y Schwars:

$$S_0 = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad (15)$$

Donde:

- S_0 = Pendiente del cauce principal
- n = número de tramos iguales en los cuales se subdivide el perfil
- S_1, S_2, \dots, S_n = Pendiente de cada tramo, según $s = \frac{H}{L}$

f. Longitud de máximo recorrido (L)

Es la mayor trayectoria de la partícula de agua desde el punto más alto, desde el divortium acuarium hasta el punto receptor o punto emisor de la cuenca.

g. Tiempo de concentración

Es un parámetro que se usa intensamente en los cálculos de la relación precipitación-escorrentía es el tiempo de concentración de la cuenca que es el tiempo que una partícula tarda en llegar del punto más alejado al punto de desagüe. (FATORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P. 2011)

Existen diversas fórmulas para su estimación, entre las más usadas se tiene:

- Kirpich (1940). Desarrolla con información proporcionada por el Soil Conservation Service (SCS) en siete cuencas en Tennessee (USA) de áreas comprendidas entre 0.0051 y 0.433 km², en canales de altas pendientes (3- 10%). Es una de las fórmulas más tradicionales que expresa el tiempo de concentración así:

$$T_c = 0.000325 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (16)$$

Donde:

L, es la longitud del cauce principal en metros.

S, es la pendiente del cauce principal en m/m.

h. Numero de orden del cauce

Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

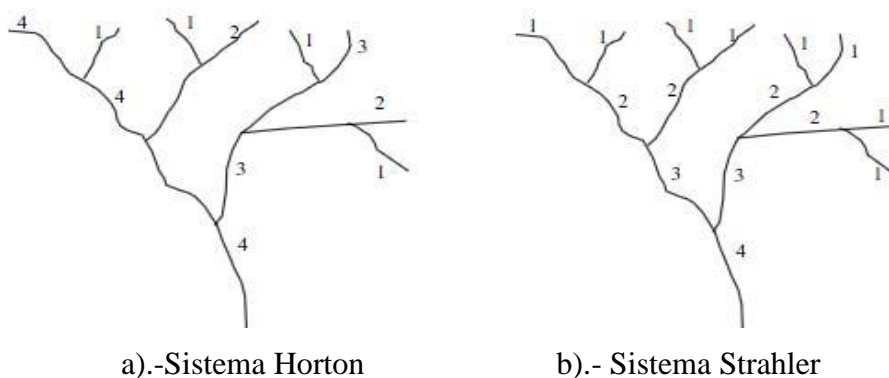
Existen diversos criterios para el ordenamiento de los cauces de la red de drenaje en una cuenca hidrográfica; según:

- **El sistema Horton**

- Los cauces de primer orden (1) son aquellos que no poseen tributarios,
- Los cauces de segundo orden (2) tienen afluentes de primer orden,

- Los cauces de tercer orden (3) reciben influencia de cauces de segundo orden.
- Un canal de orden n puede recibir tributarios de orden n-1 hasta 1
- **Sistema Strahler**.- para evitar la subjetividad de la designación en las nacientes determina que:
 - Todos los cauces serán tributarios, aun cuando las nacientes sean ríos principales.
 - El rio en este sistema no mantiene el orden en toda su extensión.
 - El orden de una cuenca está dado por el orden del cauce principal.

Figura 5: Criterio de Horton.



Fuente: (CAHUANA, A. y YUGAR, W.2009)

Precipitación

Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras son trasladadas hacia los continentes. En estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotitas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmosfera. Al agrandarse las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la tierra, provocando las precipitaciones.

Las precipitaciones que se producen con temperaturas sobre 0°C, caen en forma de lluvia. Las gotas de lluvia se congelan si la temperatura es bajo 0°C y la precipitación es en forma de nieve o de granizo, estado sólido del agua. En relación al diseño hidrológico, la lluvia y la nieve tienen mayor importancia. (FATORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P. 2011)

a. Hietograma-

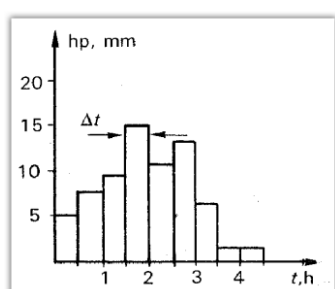
Gráfico de barras que expresa precipitación en función del tiempo en intervalos regulares de tiempo (hietograma de precipitación, Figura a, referida a un día o a una tormenta

concreta. En la Figura b, se puede observar un hietograma de intensidades que corresponde a una tormenta registrada por un pluviograma.

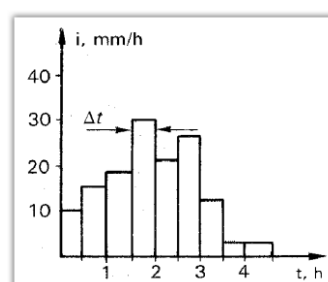
El intervalo de tiempo depende del tamaño de la cuenca. Por ejemplo, para cuencas pequeñas, se usan intervalos de minutos, y para cuencas grandes, los intervalos son generalmente de horas.

Los hietogramas son muy utilizados en el diseño de tormentas, para el estudio de caudales máximos, y se deriva de la curva de masa. El área bajo el hietograma representa la precipitación total recibida en ese período. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

Figura 6: Hietogramas.



a. Hietograma de alturas de precipitación



b. hietograma de intensidades

Fuente: (CAHUANA, A. y YUGAR, W.2009)

2.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.

a. Análisis de los datos de precipitación

La información pluviométrica o pluviográfica antes de ser estudiada en su comportamiento debe ser revisada y analizada en tres aspectos importantes: si el dato de la estación es completa, si es consistente y si es de extensión suficiente.

b. Completación y extensión de fatos faltantes.

Los procedimientos para efectuar la completación y extensión de datos hidrometeorológicos se basan en la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas. En todos los casos, debe analizarse la confiabilidad de la técnica utilizada.

La completación se refiere a la determinación de los datos faltantes en la serie incompleta, mientras que la extensión es el “alargue” de registros cortos (menor de 30 años de información). Esto se hace con información de buena calidad.

- **Método de regresión normalizada**

Si la precipitación media anual (o mensual) de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere en más de un 10% de la medida en la estación incompleta, el dato faltante será determinado por el método de la regresión normalizada.

El dato faltante anual o mensual P_x será igual a:

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\frac{N_x}{N_1} P_1 + \frac{N_x}{N_2} P_2 + \dots + \frac{N_x}{N_n} P_n \right] \quad (17)$$

Donde:

N_x = precipitación media anual o mensual de la estación incompleta, (mm).

N_1, N_2, \dots, N_n = precipitación media anual o mensual de las estaciones auxiliares 1, 2 y n, (mm).

P_1, P_2, P_n = precipitación anual o mensual observada en las estaciones 1, 2... y n para la misma fecha que la faltante, (mm).

Cuando el método es aplicado para estimar datos mensuales, los valores de N_1, N_2 y N_n corresponden al mes que se estima. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

- **Método de regresión lineal.**

Para la completación se usa preferentemente la regresión lineal simple que puede ser correlación cruzada o autocorrelación.

La correlación cruzada es un cruce de información. Se emplea cuando existe información de estaciones vecinas o se cuenta con información de algunas cuencas de carácter similar a la analizada.

La autocorrelación, llamada también correlación seriada o serial, consiste en correlacionar datos correspondientes al registro de una misma muestra hidrológica, considerando un desfase en el tiempo o desfasaje.

Para la extensión se usan modelos de regresión lineal simple y múltiple.

En forma general, el modelo matemático más usado para transferir información hidrológica es el modelo de regresión lineal simple.

$$y_t = a + b x_t \quad (18)$$

donde:

y_t = Variable hidrológica dependiente

x_t = Variable hidrológica independiente

a y b = Parámetros de la ecuación.

$$b = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (19)$$

$$a = \bar{y}_1 - b \bar{x}_1 \quad (20)$$

Donde:

N1 = Tamaño del registro común a ambas series o tamaños del registro corto.

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum y_i}{N_1}$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{N_1}$$

$$r = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][N_1 \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (21)$$

$$S_{t(y)} = \sqrt{\frac{1}{N_1 - 1} \left(\sum_{i=1}^{N_1} (y_i - \bar{y}_1)^2 \right)}$$

$$S_{t(x)} = \sqrt{\frac{1}{N_1 - 1} \left(\sum_{i=1}^{N_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right)} \quad (22)$$

Donde:

\bar{y}_1 y \bar{x}_1 = Son los estimados de las medias de los períodos comunes, de tamaño N1 de las variables y_t e x_t .

$S_{t(y)}$, $S_{t(x)}$ = Son los estimados no sesgados de las desviaciones estándar, de y_t y x_t de los períodos comunes de tamaño N1.

r = Coeficiente de correlación.

La ecuación de completación o extensión resulta:

$$y_t = \bar{y}_1 + r \frac{S_{1(y)}}{S_{1(x)}} (x_t - \bar{x}_1) \quad (23)$$

Donde:

x_t = Serie de registro "largo" de tamaño $N = N_1 + N_2$

N_1 = Tamaño del registro común.

N_2 = Tamaño del registro no común.

Criterios de confiabilidad.

a) Cálculo del estadístico T_c , según:

$$T_c = \frac{r \sqrt{(N_1 - 2)}}{\sqrt{(1 - r^2)}} \quad (24)$$

Donde:

T_c = Valor del estadístico T calculado.

N_1 = Tamaño del registro común de las series.

r = Coeficiente de correlación.

b) Cálculo de T_t

El valor de T_t se obtiene de tablas para $\alpha = 0.05$ y G.L. = $N_1 - 2$

c) Criterios de decisión

Si $|T_c| \leq T_t \rightarrow r$ no es significativo, por lo tanto, no hay correlación significativa.

Si $|T_c| > T_t \rightarrow r$ es significativo, por lo que sí existe correlación significativa entre las variables y_t y x_t , y se puede usar la expresión (23).

Si r resulta no significativo se puede aplicar el proceso de autocorrelación o probar con otra serie.

c. Análisis de consistencia

El análisis de consistencia de la información es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no-homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas constituye uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, pues un error significativo introducido en el análisis podría afectar o falsear los resultados.

(ORTIZ, O. 1995)

Análisis de Saltos

Definición

Se llama salto a la forma determinística transitoria, que permiten a una serie temporal pasar de un estado a otro, como respuesta a ciertos cambios propiciados por el hombre, debido al continuo desarrollo y explotación de los recursos hidráulicos en la cuenca o a cambios violentos ocurridos en la naturaleza. (ORTIZ, O. 1995)

Procedimiento de análisis

El procedimiento de análisis consiste en la realización de tres actividades básicas: identificación, cuantificación y corrección de saltos.

En la figura 3 se presenta el esquema simplificado para el análisis de saltos que consiste en la realización de tres actividades principales: (1) Identificación de salto, (2) Evaluación - cuantificación y (3) Corrección y/o eliminación.

Identificación de saltos

En esta etapa se realiza la identificación de saltos, la causa de su origen y, mediante la combinación de tres criterios: a) información de campo, b) análisis gráfico y, c) análisis de doble masa se puede determinar si el error es de tipo natural o artificial.

Análisis Gráfico

Consiste en un análisis visual de la información original; para lo cual la información hidrometeorológica 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).

Este primer análisis sirve para tener una primera aproximación acerca de la bondad de los datos y separar los periodos dudosos de los confiables para tenerlos en cuenta en el análisis de doble masa y en las pruebas de consistencia. (ORTIZ, O. 1995)

Análisis de Doble Masa

El análisis de doble masa se realiza para la determinación de la consistencia de la información, mas no para eliminar errores, en vista de que la línea de doble masa no constituye una línea de regresión.

Esta técnica consiste en seleccionar la información de una o varias Estaciones de la cuenca, llamadas(s) Estación(es) Índice, cuyos datos se consideran confiables. Esta información sirve de comparación para el resto de Estaciones. El procedimiento es como sigue:

Plotear, en el eje de las abscisas, el promedio de los datos anuales acumulados de la(s) Estación(es) Índice versus los datos acumulados anuales de cada Estación que se estudia, en el eje de las ordenadas.

Los análisis gráficos y de doble masa, sirven básicamente para establecer sospechas de posibles errores y para la determinar los rangos de los periodos dudosos y confiables correspondientes a cada Estación en estudio.

Para efecto del análisis de doble masa, los datos faltantes se pueden completar con la media mensual (si el análisis es mensual) o por interpolación mediante regresión simple o múltiple. (ORTIZ, O. 1995)

Evaluación y cuantificación de saltos

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar de ambos periodos (dudoso y confiable).

Consistencia en la Media

La consistencia en la media se verifica mediante la prueba estadística “T” de Student. Se trata de analizar si las medias de los datos correspondientes a los periodos dudoso y confiable son equivalentes o diferentes estadísticamente, para cierto nivel de significación o preestablecido. (ORTIZ, O. 1995)

El procedimiento de la prueba T es el siguiente:

Formulación de la hipótesis:

La hipótesis planteada **HP**, respecto a la homogeneidad de medias es: “Las medias muestrales de los datos correspondientes a los periodos dudoso y fiable son equivalentes estadísticamente a un nivel de confianza de $100-\alpha$ ”

La hipótesis alterna **HA** queda definida así: “Las medias muestrales de los datos correspondientes a los periodos dudoso y fiable no son equivalentes estadísticamente a un nivel de confianza de $100-\alpha$ ”

Estadísticamente, las hipótesis anteriores se expresan como sigue:

$$HP: \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \qquad HA: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Determinación del T tabular “Tt”

El número de grados de libertad total se expresa:

$$GL = n_1 + n_2 - 2 \qquad (25)$$

Determinación del T calculado “T_c”

El estadístico “T_c” se calcula mediante las expresiones siguientes:

$$T_c = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{S_d} \quad (26)$$

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_1 - \bar{X}_1)^2 \quad (29)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2-1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_2 - \bar{X}_2)^2 \quad (30)$$

Donde:

S_d : Desviación estándar de las diferencias de las medias.

S_p : Desviación estándar ponderada.

$\bar{X}_1; \bar{X}_2$: Media muestral del periodo 1 y 2 respectivamente.

$S_1; S_2$: Desviación estándar muestral del periodo 1 y 2.

$X_1; X_2$: Datos de la serie analizada del periodo 1 y 2

$n_1; n_2$: Número de datos del periodo 1 y 2 respectivamente.

Criterios de aceptación o rechazo

Si $|T_c| \leq T_t, (\alpha = 5\%) \leftrightarrow \text{Aceptar } H_P$ Medias son iguales

$|T_c| > T_t, (\alpha = 5\%) \leftrightarrow \text{Aceptar } H_A$ Medias son diferentes

En el primer caso, se dice que la prueba T es no significativa y, en el segundo caso, la prueba puede ser significativa o altamente significativa. En este último caso, implica corregir la información, eliminando el salto del periodo dudoso y sin tener que recurrir a la prueba F.

Consistencia en la Desviación Estándar

La homogeneidad de las varianzas se verifica mediante la prueba “F” de Fisher, según el siguiente procedimiento:

Formulación de la Hipótesis

Similarmente a como se procedió en la prueba de T, las hipótesis de esta prueba se plantean estadísticamente de la siguiente manera:

$$HP: S_1^2 = S_2^2 ; (\alpha = 5\%)$$

$$HA: S_1^2 \neq S_2^2 ; (\alpha = 5\%)$$

Determinación del F calculado “Fc”

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} \leftrightarrow \text{sí : } S_1^2 > S_2^2 \quad (31.a)$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} \leftrightarrow \text{sí : } S_2^2 > S_1^2 \quad (31.b)$$

Determinación del F tabular “Ft”

Los grados de libertad y el nivel de significación se expresan de la siguiente manera:

$$\text{Sí : } S_1^2 > S_2^2 \quad G.L.N = n_1 - 1 ; G.L.D = n_2 - 1 \quad (32.a)$$

$$\text{Sí : } S_2^2 > S_1^2 \quad G.L.N = n_2 - 1 ; G.L.D = n_1 - 1 \quad (32.b)$$

Donde:

$G.L.N$: Grados de libertad del numerador.

$G.L.D$: Grados de libertad del denominador.

Criterios de aceptación o rechazo

$$F_c \leq F_t, (95\%) \leftrightarrow \text{Aceptar HP(muestra consistente)}$$

$$F_c > F_t, (95\%) \leftrightarrow \text{Aceptar HA(muestra inconsistente)}$$

Corrección de datos

Si el periodo 1 es el dudoso y el periodo 2 es el confiable:

$$X'_t = \left(\frac{x_t - \bar{X}_1}{S_1} \right) S_2 + \bar{X}_2 \quad (33.a)$$

Si el periodo 1 es el confiable y el periodo 2 es el dudoso:

$$X'_t = \left(\frac{x_t - \bar{X}_2}{S_2} \right) S_1 + \bar{X}_1 \quad (33.b)$$

Donde:

X'_t : Dato a corregir.

X_t : Dato corregido.

Análisis de Tendencias

Definición

Se llama tendencia a la componente determinística que provoca un cambio continuo en un registro histórico correspondiente a una serie hidrometeorológica. Por ejemplo, cambio ascendente o descendente continuo en la temperatura, precipitación o escorrentía. Las tendencias por lo general, pueden ser aproximadas por la ecuación de regresión lineal y en algunos casos por polinomios que representan tendencia curvilínea o exponencial. Las tendencias, al igual que los saltos, se presentan en la media y en la varianza. (ORTIZ, O. 1995)

Procedimiento de Análisis

Un esquema simplificado para el análisis de tendencias en datos hidrometeorológicos se presenta en la figura 8. Previamente al desarrollo del esquema se ha analizado y corregido los saltos existentes para luego analizar la tendencia en la media y en la desviación estándar en ese orden; justificándolo físicamente con la información de campo obtenida y evaluando su significación mediante un procedimiento estadístico.

Tendencia en la Media

Representación

La tendencia en la media puede expresarse en forma general por el siguiente polinomio:

$$T_{m,p,t} = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \quad (34)$$

Para muchos casos para estimar esta tendencia es suficiente la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_{m,p,t} = A_m + B_m t \quad (35)$$

Donde:

$T_{m,p,t}$: Tendencia en la media de la información hidrometeorológica corregida o sin salto (proceso estocástico no estacionario)

$A_m + B_m$: Coeficientes de la ecuación de regresión.

t : Tiempo tomado como la variable independiente en el análisis de regresión para evaluar la tendencia, y su valor se halla:

$p = 1, 2, \dots, n$: número de años del registro τ

$\tau = 1, 2, \dots, w$: periodo básico e igual a 365, 52 ó 12, según que la serie sea diaria, semanal o anual, respectivamente.

Estimación

Con la información que se tiene se calcula los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple dados en la ecuación:

$$A_m = \bar{T}_{m,p,t} - B_m \bar{t} \quad (36)$$

$$B_m = R \frac{S_{Tm}}{S_t} \quad (37)$$

$$R = \frac{\bar{t} \bar{T}_{m,p,t} - \bar{t} \bar{T}_{m,p,t}}{S_t S_{Tm}} \quad (38)$$

$$T_{m,p,t} = X'_t \quad (39)$$

$$\bar{T}_{m,p,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{m,p,t})_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_t)_i \quad (40)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (41)$$

$$\bar{t} * \bar{T}_{m,p,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{m,p,t})_i t_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_t)_i * t_i \quad (42)$$

$$S_{Tm}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(T_{m,p,t})_i - \bar{T}_m]^2 = S_{X'_t} \quad (43)$$

$$S_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \quad (44)$$

Donde:

$\bar{T}_{m,p,t}$: Promedio de la tendencia e igual al promedio de los datos corregidos.

\bar{t} : Promedio del tiempo “t”.

$\bar{t} \bar{T}_{m,p,t}$: Promedio del producto de la tendencia por el tiempo.

S_{Tm} : Desviación estándar de la tendencia en la media.

S_t : Desviación estándar del tiempo “t”.

R : Coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración.

Evaluación

Para averiguar si la tendencia es significativa se analiza el coeficiente de regresión “Bm” o el coeficiente de correlación “R”. En este caso se analiza R según el estadístico "T" de Student, desarrollando los siguientes pasos:

Formulación de la hipótesis

HP: $R = 0$; ($\alpha = 5\%$) HA: $R \neq 0$; ($\alpha = 5\%$)

Cálculo del T calculado "Tc"

$$T_c = \frac{R(n-2)^{\frac{1}{2}}}{(1-R^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (45)$$

Donde:

T_c : Valor del estadístico T calculado.

n : Número de datos.

R : Coeficiente de correlación lineal.

Determinación del T tabular "Tt"

$$GL = n - 2; (\alpha = 5\%) \quad (46)$$

Criterios de aceptación o rechazo

$|T_c| \leq T_t (\alpha = 95\%)$ Aceptar HP (prueba no significativa)

$|T_c| > T_t (\alpha = 95\%)$ Aceptar HA (prueba significativa)

Eliminación de la Tendencia en la Media

Si R resulta significativo entonces la tendencia es significativa siendo necesaria su corrección respectiva, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - T_{m,p,t} \quad (47)$$

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - (A_m + B_m t) \quad (48)$$

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - T_{m,p,t} + \bar{T}_m \quad (49)$$

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - (A_m + B_m t) + \bar{T}_m \quad (50)$$

Donde:

$Y_{p,t}$: Serie sin tendencia en la media.

$X'_{p,t}$: Serie corregida de saltos.

$T_{m,p,t}$: Tendencia en la media.

\bar{T}_m : Promedio de la tendencia en la media o promedio de los valores corregidos de salto.

Tendencia en la Varianza

Representación

La tendencia por lo general se presenta en los datos semanales o mensuales no así en anuales. Esta tendencia al igual que la media puede ser aproximada por la ecuación de regresión polinomial tal como:

$$T_{S_{p,t}} = A_s + B_s t + C_s t^2 + D_s t^3 + \dots \quad (51)$$

$$T_{S_{p,t}} = A_s + B_s t \quad (52)$$

Donde:

$T_{S_{p,t}}$: Tendencia en la desviación estándar.

τ : 1,2,3, . . . , n

n : Número total de años.

A_s, B_s : Coeficiente de la ecuación de regresión que debe ser estimado.

Estimación

Para estimar la tendencia en la desviación estándar se procede en la forma siguiente:

1. A la información sin tendencia en la media se divide en varios periodos (años).
2. Para cada periodo (año) se calcula su desviación estándar respectiva, obteniéndose tantos valores de desviación estándar como periodos agrupados se disponga, según:

$$S_p = \left[\frac{1}{w-1} \sum_{i=1}^w (Y_{p,t} - \bar{Y}_p)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (53)$$

Donde:

S_p : Desviación Estándar para el período p (año p).

$Y_{p,t}$: Serie sin tendencia en la media.

\bar{Y}_p : Promedio del periodo p.

w : 12, 52, 365 o si el análisis es con información mensual, semanal o diaria.

p : 1,2,3... n

3. Se determina los parámetros de regresión lineal simple de la ecuación (54), a partir de las desviaciones anuales “ S_p ” y el tiempo “ t ” (en años):

$$A_s = \bar{T}_{S_{p,t}} - B_s \bar{t} \quad (54)$$

$$B_s = R \frac{S_{T_s}}{S_t} \quad (55)$$

$$R = \frac{\bar{t} \bar{T}_{S_{p,t}} - \bar{\bar{t}} \bar{\bar{T}}_{S_{p,t}}}{S_t * S_{T_s}} \quad (56)$$

$$\bar{T}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_p)_i \quad (57)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (58)$$

$$\bar{\bar{t}} \bar{\bar{T}}_{S_{p,t}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_p)_i t_i \quad (59)$$

$$S_{T_s}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(S_p)_i - \bar{S}_p]^2 \quad (60)$$

$$S_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \quad (61)$$

Donde:

R : Coeficiente correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración para el período p (año p).

\bar{T}_s : Promedio de la tendencia.

\bar{t} : Promedio del tiempo cronológico.

S_{T_s} : Desviación Estándar de la tendencia en la media.

S_t : Desviación Estándar del tiempo t.

Evaluación

Para averiguar si la tendencia es significativa se analiza el coeficiente de correlación “R” según el estadístico "T" de Student tal como se mostró para la tendencia en la media.

Formulación de la Hipótesis

HP: $R = 0$; ($\alpha = 5\%$) HA: $R \neq 0$; ($\alpha = 5\%$)

Cálculo del estadístico Tc según: (T calculado)

$$T_c = \frac{R(n-2)^{\frac{1}{2}}}{(1-R^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (62)$$

Determinación del T tabular “Tt”:

$$GL = n - 2; (\alpha = 5\%) \quad (63)$$

Criterios de aceptación o rechazo:

$|T_c| \leq T_t, (\alpha = 95\%) \leftrightarrow \text{Aceptar } H_P ("R" \text{ no significativa})$

$|T_c| > T_t, (\alpha = 95\%) \leftrightarrow \text{Aceptar } H_A ("R" \text{ significativa})$

Eliminación de la tendencia en la varianza

Si el coeficiente de correlación resulta significativo en la prueba estadística, entonces la tendencia en la desviación estándar es significativa siendo necesario su corrección de la forma siguiente:

$$Z_{p,t} = \frac{Y_{p,t} - T_{m_{p,t}}}{T_{S_{p,t}}} \quad (64)$$

$$Z_{p,t} = \left[\frac{Y_{p,t} - T_{m_{p,t}}}{T_{S_{p,t}}} \right] * \bar{T}_{S_{p,t}} + \bar{T}_{m_{p,t}} \quad (65)$$

$$Z_{p,t} = \left[\frac{Y_{p,t} - (A_m + B_m t)}{A_s + B_s t} \right] * \bar{T}_{S_{p,t}} + \bar{T}_{m_{p,t}} \quad (66)$$

Donde:

$Z_{p,t}$: Serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar.

$T_{m_{p,t}}$: Tendencia en la media.

$T_{S_{p,t}}$: Tendencia en la desviación estándar.

Evaporación Y Transpiración

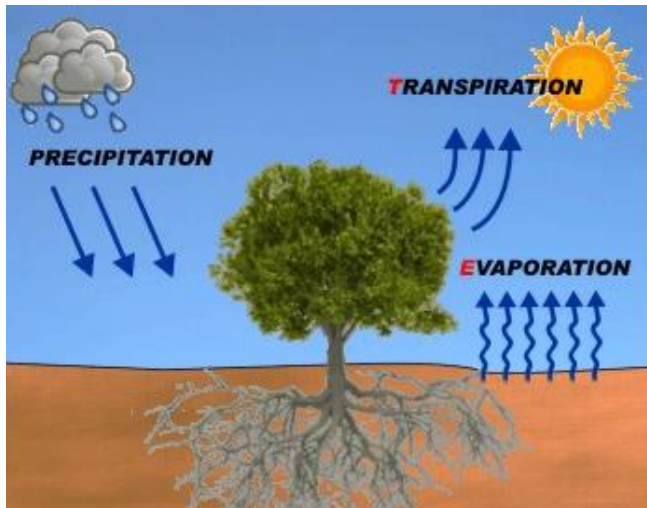
Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica es importante conocer, por un lado, la cantidad de agua que se pierde por evaporación en grandes depósitos, como presas, lagos o en sistemas de conducción, y, por otro, la cantidad de agua con que es necesario dotar a los distritos de riego, para determinar las fuentes y dimensiones de los sistemas de abastecimiento.

Evaporación. Es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, ha estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera. (APARICIO, F.1992)

Transpiración. Es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas, naturalmente, del suelo. (APARICIO, F.1992)

Evapotranspiración Es la combinación de evaporación y transpiración. Uso consuntivo es la combinación de evapotranspiración y el agua que las plantas retienen para su nutrición. Esta última cantidad es pequeña en comparación con la evapotranspiración (aproximadamente representa sólo el 1%), por lo que los términos evapotranspiración y uso consuntivo se usan como sinónimos. (APARICIO, F.1992)

Figura 7: Proceso de la evapotranspiración.



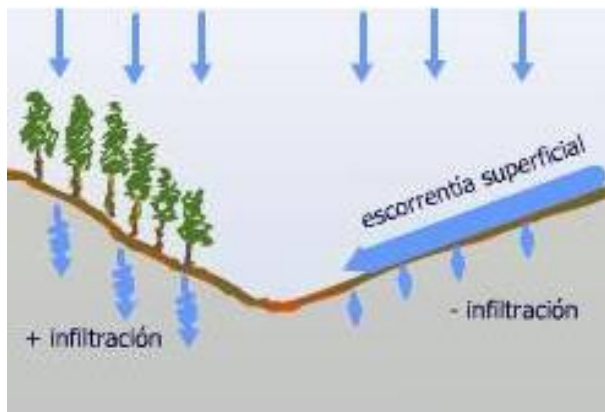
Fuente: (ALLEN, R. 2006)

Infiltración

La infiltración es un proceso de gran importancia económica, vista por el ingeniero como un proceso de pérdida y por el agricultor como una ganancia. El análisis de la infiltración en el ciclo hidrológico es de importancia básica en la relación entre la precipitación y el escurrimiento, a continuación, se introducen los conceptos que la definen, los factores que la afectan, los métodos que se usan para medirla y el cálculo de dicha componente. (CAHUANA, A. y YAGUAR, W. 2009)

Infiltración, proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores; producto de la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. (CAHUANA, A. y YAGUAR, W. 2009)

Figura 8: Infiltración y Percolación.



Fuente: (CAHUANA,A. Y YUGAR,W. 2009)

La infiltración juega un papel de primer orden en la relación de lluvia – escurrimiento y por lo tanto en los problemas de diseño y predicción asociados a la dimensión y operación de obras hidráulicas.

Escurrimiento

Se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (estación de aforo). (VILLON, M. 2002)

Si se analiza un corte esquemático de la superficie terrestre, se tiene que la precipitación cuando llega a la superficie, se comporta de la siguiente manera:

1. Una parte de la precipitación se infiltra.
 - Una parte de ésta satisface la humedad del suelo, de las capas que se encuentran sobre el nivel freático del agua.
 - Una vez que estas capas se han saturado, el agua subterránea es recargada por la parte restante que se infiltra.
2. Otra parte de la precipitación, tiende a escurrir sobre la superficie terrestre; a la precipitación que ocasiona este escurrimiento, se llama altura de precipitación en exceso.
3. Una pequeña proporción se pierde.
4. Como base en lo anterior, el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

Escurrimiento superficial, es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato, y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.

La parte de la precipitación total que da lugar a este escurrimiento, se denomina precipitación en exceso. (VILLÓN, M. 2002)

Escurrimiento subsuperficial, es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total, puede ser inmediato o retardado. Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, en caso contrario, como escurrimiento subterráneo. (VILLÓN, M. 2002)

Escurrimiento subterráneo, es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado. (VILLÓN, M. 2002)

Como base en la forma en que contribuyen al escurrimiento total, el escurrimiento, se clasifica en escurrimiento directo, cuando su efecto es inmediato, y escurrimiento base si su efecto es retardado.

Escorrentía Directa, es la que llega a los cauces superficiales en un periodo de tiempo corto, tras la precipitación, y que normalmente engloba la escorrentía superficial y la escorrentía subsuperficial. Son imposibles de distinguir: una gran parte de lo que parece escorrentía superficial (por el aumento de los caudales que sigue a las precipitaciones) ha estado infiltrada subsuperficialmente. (SÁNCHEZ, J. 2004)

Escorrentía Básica, es aquella escorrentía que alimenta los cauces superficiales en los estiajes, durante los periodos sin precipitaciones. (SÁNCHEZ, J. 2004)

Hidrograma

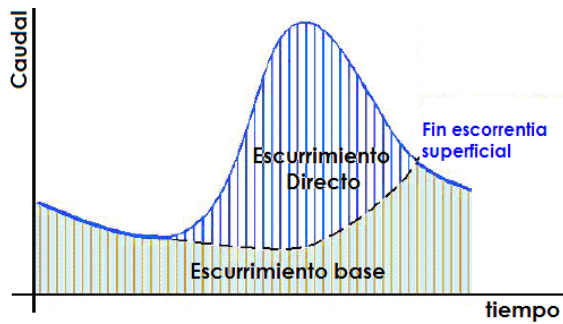
a. Definición.

El hidrograma, es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, en orden cronológico, en un lugar dado de la corriente.

(CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

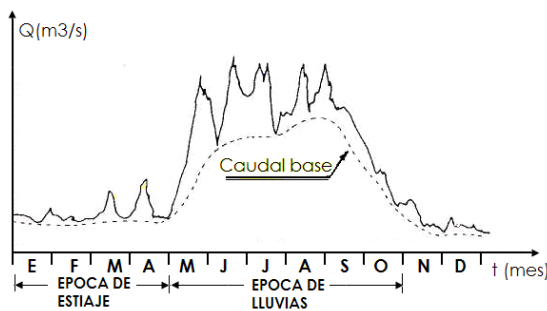
En las Figuras que se presentan a continuación se observa los hidrogramas correspondientes a una tormenta aislada y a una sucesión de ellas respectivamente (hidrograma anual).

Figura 9: Hidrograma de tormenta aislada (a)



Fuente (CAHUANA, A. 2009)

Figura 10: Hidrograma anual (b)



Fuente (CAHUANA, A. 2009)

2.3. MODELO DETERMINÍSTICO - ESTOCÁSTICO: LUTZ SCHOLZ

a. Generalidades

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 en hidrología 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.

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

1. Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de esorrentía promedio.
2. Establecimiento de un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica. En base a lo anterior se realiza el cálculo de los caudales necesarios.
3. 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. (AGUIRRE, M. 2006)

b. Ecuación del balance hídrico

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

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (68)$$

Dónde:

CM _i	: Caudal mensual.	(mm/mes)
P _i	: Precipitación mensual sobre la cuenca.	(mm/mes)
D _i	: Déficit de escurrimiento.	(mm/mes)
G _i	: Gasto de la retención de la cuenca.	(mm/mes)
A _i	: Abastecimiento de la retención.	(mm/mes)

Para la aplicación de la ecuación anterior, se parte de las siguientes consideraciones:

- Durante el año hidrológico la retención se mantiene constante pues el agua almacenada en el periodo húmedo es soltada en el periodo de estiaje, por lo tanto, el gasto y el abastecimiento son iguales ($G_i = A_i$).
- Una parte de la precipitación se pierde por evaporación por lo que la expresión (P-D) puede sustituirse por C*P, donde “C” es el coeficiente de esorrentía que puede ser medido o estimado y “P” precipitación total. (AGUIRRE, M. 2007)

c. Precipitación sobre la cuenca

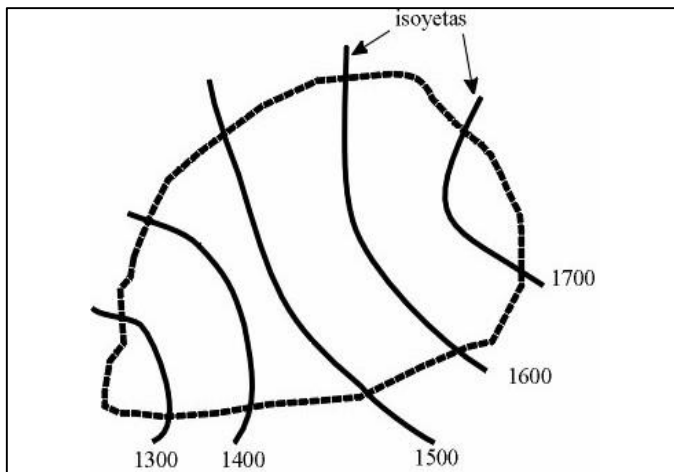
d. Método de Isoyetas

En general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado, en la presente investigación se utilizará el método de Isoyetas.

Para este método, se necesita un plano de Isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las Isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de Isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las Isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel.

(VILLÓN, M. 2002)

Figura 11: Isoyetas de precipitación



Fuente: (VILLÓN, M. 2002)

El método consiste en:

- Ubicar las estaciones dentro y fuera de la cuenca.
- Trazar las isoyetas, interpolando las alturas de precipitación entre las diversas estaciones, de modo similar a cómo se trazan las curvas de nivel.
- Hallar las áreas A_1, A_2, \dots, A_n entre cada 2 Isoyetas seguidas.
- Si P_0, P_1, \dots, P_n , son las precipitaciones representadas por las Isoyetas respectivas, calcular la precipitación media utilizando:

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0+P_1}{2} \cdot A_1 + \dots + \frac{P_{n-1}+P_n}{2} \cdot A_n}{A_1 + \dots + A_n} \quad (69)$$

$$P_{med} = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_i \quad (70)$$

donde:

Pmed = precipitación media

AT = área total de la cuenca

Pi = altura de precipitación de las Isoyetas i

Ai = área parcial comprendida entre las Isoyetas Pi-1 y Pi

n = número de áreas parciales

e. Coeficiente de escorrentía

Un método para el cálculo del coeficiente “C” ha sido presentado por L. Turc. La fórmula es desarrollada sobre la base de observaciones hechas en 254 cuencas situadas en todos los climas alrededor del globo. (SCHOLZ, L. 1980)

Tiene la expresión:

$$C = \frac{P-D}{P} \quad (71)$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento.

P : Precipitación total anual (mm/año).

D : Déficit de escurrimiento (mm/año).

Aplicando la fórmula de Turc a las observaciones en las 19 cuencas de las cuales se dispone de registros hidrometeorológicos, se constata que mediante la fórmula (72) se puede calcular el déficit de escurrimiento solamente en el norte del país, en la región de Cajamarca, con una precisión satisfactoria. (SCHOLZ, L. 1980)

$$D = \frac{P}{(0.9 + (P/L)^2)^{0.5}} \quad (72)$$

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3 \quad (73)$$

$$T = 197 - 23.1 Ln (H) \quad (74)$$

Donde:

L : Coeficiente de temperatura.

T : Temperatura media anual. (°C).

H : Altitud media de la cuenca.

f. Precipitación efectiva

SIA (Sistema de Información Agroclimática para el regadío). Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo.

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)

$$PE_i = C \cdot PT_c \quad (75)$$

Donde:

PE_i : Precipitación efectiva del mes “i” (mm/año)

PT_c : Precipitación total generada. (mm/año)

C : Coeficiente de escorrentía.

g. Retención de la cuenca

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

$$R_i = CM_i - PE_i \quad (76)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (77)$$

Dónde:

CM_i : Caudal mensual. (mm/mes)

PE_i : Precipitación efectiva mensual. (mm/mes)

R_i : Retención de la cuenca. (mm/mes)

G_i : Gasto de la retención. (mm/mes)

A_i : Abastecimiento de la retención. (mm/mes)

Sumando todos los valores de “G” o “A” respectivamente, se halla la retención total de la cuenca durante el año promedio en la dimensión de (mm/año).

Esta ecuación se realiza básicamente para la calibración de la retención de la cuenca. En cuencas de la sierra, la retención varía de: 43 a 188 (mm/año), resultados que se indican en el volumen del modelo, asimismo muestran una uniformidad del cambio de los valores G y A durante el año para las cuencas pertenecientes a la misma región. (SCHOLZ, L. 1980)

$$R = \frac{(C_a \cdot AR \cdot LA + AL \cdot LL + AN \cdot LN)}{AR} \quad (78)$$

Donde:

R	: Retención de la cuenca	(mm/año)
Ca	: 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)
LN	: Almacenamiento de nevados	(mm/año)

h. Almacenamiento hídrico

El experto Lutz Scholz propone 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:**

$$LA = -750 I + 350 \quad (79)$$

Donde:

LA	: Almacenamiento de acuíferos	(mm/año)
LA	: (200-300 mm/año)	
I	: Pendiente del cauce principal	(I ≤ 15%)

- **Lagunas y pantanos:**

$$LL = 500 \text{ (mm/año)} \quad (80)$$

Donde:

LL : Almacenamiento de lagunas y pantanos (mm/año)

• **Nevados:**

$$LN = 500 \text{ (mm/año)} \quad (81)$$

Donde:

LN : 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)

i. Coeficiente de Agotamiento (α)

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 cuatro clases de cuencas:

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

$$\alpha = -0.00252 LN(AR) + 0.034 \quad (82)$$

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

$$\alpha = -0.00252 LN(AR) + 0.030 \quad (83)$$

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

$$\alpha = -0.00252 LN(AR) + 0.026 \quad (84)$$

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

$$\alpha = -0.00252 LN(AR) + 0.023 \quad (85)$$

Donde:

R : Retención de la cuenca (mm/año)

AR : Área de la cuenca (Km²)

α : Coeficiente de agotamiento por día

j. Relación de caudales del flujo base (b_0)

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

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t)} \quad (86)$$

$$b_0 = e^{-\alpha(t)} \quad (87)$$

Donde:

Q_t : Descarga en el tiempo “t”

Q_0 : Descarga inicial.

b_0 : Relación entre la descarga del mes actual y del mes anterior (Q_t / Q_0)

α : Coeficiente de agotamiento

t : Tiempo (número de días del mes)

Al principio de la estación lluviosa el proceso de agotamiento de la reserva termina y parte de las lluvias más abundantes entra en los almacenes hídricos. El proceso de abastecimiento se muestra por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. Analizando los hidrogramas de la contribución de la retención a los caudales, se constata que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales: acuíferos, lagunas-pantanos y nevados ya están recargados parcialmente, la restitución acaba poco a poco. (AGUIRRE, M. 2006)

k. Gasto de la retención “ G_i ”

Es el volumen de agua que entrega la cuenca en los meses secos bajo un determinado régimen de entrega. Al régimen de entrega del gasto de la retención se le denomina: coeficientes de agotamiento “ b_i ”. (TARAZONA, E. 2005)

El Gasto de la Retención es el aporte a la escorrentía de las aguas subterráneas en los meses de estiaje y se calcula mediante la ecuación:

$$G_i = \frac{b_0}{b_m} R \quad (88)$$

Donde:

R : Retención de la cuenca.

b_0 : Relación entre la descarga del mes actual y del mes anterior.

b_m : Suma de factores mensuales durante la estación de estiaje ($\sum b_{oi}$).

boi : Relación entre el caudal del mes “i” y el caudal inicial (Q_i / Q_0).

El cálculo se hace para los meses de estiaje, en este caso los meses de mayo a septiembre.

I. Abastecimiento de la retención “ A_i ”

Es el volumen de agua que almacena la cuenca en los meses lluviosos bajo un determinado régimen de almacenamiento. Al régimen de almacenamiento del abastecimiento de la retención se le denomina: **coeficientes de abastecimiento “ai”**.

Comparando cuencas vecinas respecto a la lámina de agua que entra en la retención de la cuenca, se puede demostrar que el abastecimiento durante la estación lluviosa es casi uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En las regiones situadas más al norte se muestra la influencia del clima ecuatorial de transición, allí el abastecimiento empieza en el mes de octubre con 10% hasta 20%. La contribución de los meses de noviembre y diciembre es solamente pequeña y la restitución de los almacenes hídricos tiene lugar en enero hasta marzo. (SCHOLZ, L. 1980)

Los coeficientes mensuales del almacenamiento total anual se muestran en la tabla 4.

Tabla 1: Coeficientes de abastecimiento durante época de lluvias.

Región	Meses del año (ai)%						
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100
Cuzco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100

Fuente:(SCHOLZ, L. 1980)

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. Se calcula mediante la ecuación:

$$A_i = a_i(\%) R \quad (89)$$

Donde:

A_i : Abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva

a_i : Coeficiente de abastecimiento (%)

R : Retención de la cuenca (mm/año)

m. Caudal mensual para el año promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio se calcula según la ecuación básica siguiente del balance hídrico a partir de los componentes descritos anteriormente.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (90)$$

Dónde:

CM_i : Caudal del mes “i” (mm/mes)

PE_i : Precipitación Efectiva del mes “i” (mm/mes)

G_i : Gasto de la retención del mes “i” (mm/mes)

A_i : Abastecimiento de la retención del mes “i”(mm/mes)

n. Generación de caudales para periodos extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para periodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden, según la ecuación (91), con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación (92)

Ecuación general del modelo markoviano:

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (91)$$

La variable de impulso considerada la precipitación efectiva:

$$Q = g(PE_t) \quad (92)$$

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

$$Z = (S) * \sqrt{(1 - r^2)} z \quad (93)$$

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

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + (S) \sqrt{(1 - r^2)} z \quad (94)$$

Donde:

Q_t : Caudal del mes “t”.

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

- PE_t : Precipitación efectiva del mes “t”.
 B_1 : Factor constante o caudal básico.
 $B_{2,3}$: Parámetros del modelo para el año promedio.
 S : Desviación estándar de los residuos.
 r : Coeficiente de correlación múltiple.
 z : Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año “t”.

El proceso de generación requiere de un valor inicial (Q_{t-1}), el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.

Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.

Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor (Q_0), sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado. (AGUIRRE, M. 2006)

• Regresión Múltiple

Se calculan los parámetros $B_{1,2,3}$, S , r sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante el cálculo de regresión con “ Q_t ” como valor dependiente y “ Q_{t-1} , PE_t ” como valores independientes.

Ejemplo: sea “ Q_t ” los caudales generados por el modelo de Lutz Scholz para el mes “t” del año promedio, y “ PE_t ” la precipitación efectiva calculada para el mes “t” del año promedio, entonces las series para la regresión múltiple se elabora como se muestra en la tabla adjunta:

Tabla 2: Ejemplo de series para la regresión múltiple.

Mes	Q_t	Q_{t-1}	PE_t
Enero	Q_1	Q_{12}	PE_1
Febrero	Q_2	Q_1	PE_2
Marzo	Q_3	Q_2	PE_3
Abril	Q_4	Q_3	PE_4
Mayo	Q_5	Q_4	PE_5
Junio	Q_6	Q_5	PE_6
Julio	Q_7	Q_6	PE_7
Agosto	Q_8	Q_7	PE_8
Setiembre	Q_9	Q_8	PE_9
Octubre	Q_{10}	Q_9	PE_{10}
Noviembre	Q_{11}	Q_{10}	PE_{11}
Diciembre	Q_{12}	Q_{11}	PE_{12}

Fuente:(SCHOLZ, L. 1980)

Las ecuaciones normales para estimar el cálculo de las variables B1,2,3, son:

$$\sum Q_t = 12B_1 + B_2 \sum Q_{t-1} + B_3 \sum PE_t \quad (95)$$

$$\sum(Q_t Q_{t-1}) = B_1 \sum Q_{t-1} + B_2 \sum (Q_{t-1})^2 + B_3 \sum (Q_{t-1} PE_t) \quad (96)$$

$$\sum(Q_t PE_t) = B_1 \sum PE_t + B_2 \sum (Q_{t-1} PE_t) + B_3 \sum (PE_t)^2 \quad (97)$$

Luego, el caudal estimado se define como : “ \hat{Q}_t ” y obtenidos los parámetros B1,2,3, se obtiene:

$$\hat{Q}_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t \quad (98)$$

$$e = Q_t - \hat{Q}_t \quad (99)$$

Los 12 valores de \hat{Q}_t se obtienen con los pares de valores de la tabla 5 y también se calculan los 12 valores del error “e”

Donde:

Q_t : Caudales muestrales (experimentales) del mes “t”.

Q_{t-1} : Caudales muestrales (experimentales) del mes anterior.

\hat{Q}_t : Caudales estimados del mes “t”.

e : Error entre los valores muestrales y estimados.

Cálculo de la desviación estándar de los residuos:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(e^2)}{n-p}} \quad (100)$$

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

$$r = \left[1 - \frac{S^2}{S^2_{Q_t}}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (101)$$

$$S_{Q_t}^2 = \frac{1}{n-1} [\sum(Q_t^2 - n(\bar{Q}_t)^2)] \quad (102)$$

Donde:

n : Número de grupos de la muestra (para nuestro caso 12)

p : Número de parámetros a estimar (para nuestro caso 3)

(SCHOLZ, L. 1980)

o. Restricciones del modelo

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, Junín, Cajamarca). (SCHOLZ, L. 1980)

Prueba de bondad de ajuste

a. Definición

La prueba de bondad de ajuste consiste en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base a los valores muestrales. Las pruebas estadísticas tienen por objetivo medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre la población, es decir calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades. (VILLÓN, M. 2016)

b. Prueba de Smirnov-Kolmogorov

La prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo. (VILLÓN, M. 2016)

Es decir:

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)| \quad (103)$$

Donde:

Δ = estadístico de Smirnov-kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x)$ = probabilidad de la distribución teórica.

$P(x)$ = probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada.

El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades.

Si Δ_0 es un valor crítico para un nivel de significación α , se tiene que:

$$P[\text{máx}|F(x) - P(x)| \geq \Delta_0] = \alpha$$

$$\text{o } P(\Delta \geq \Delta_0) = \alpha \quad (104)$$

También:

$$P(\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha \quad (105)$$

El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov-Kolmogoro, es el siguiente:

1° calcular la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para esto usar la fórmula de Weibull:

$$P(x) = \frac{M}{N+1} \quad (106)$$

Donde:

$P(x)$ = probabilidad empírica o experimental

M = número de orden

N = número de datos

2° calcular la probabilidad teórica $F(x)$:

Para el caso de utilizar el procedimiento de los modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

Si se quiere aplicar el procedimiento gráfico se utiliza un papel probabilístico especial donde $F(x)$, puede representarse como una línea recta por lo cual, se puede trazar con solo 2 puntos, pero si se quiere chequear que es una recta, se puede platear 3 puntos.

3° calcular las diferencias $P(x) - F(x)$, para todos los valores de x .

4° seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)| \quad (107)$$

5° calcular el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 , un $\alpha = 0.05$ y N igual al número de datos. Los valores de Δ_0 , se muestran en la tabla siguiente tabla.

Tabla 3: Valores críticos de Δ_0 del estadístico Smirnov-Kolmogorov Δ , para varios valores de N y niveles de significación.

TAMAÑO MUESTRAL N	NIVEL DE SIGNIFICACION α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
N > 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: (VILLÓN, M. 2016)

6° Comparar el valor del estadístico Δ con el valor crítico Δ_0 de la tabla anterior, con los siguientes criterios de decisión deducidos de la ecuación (104)

Si $\Delta < \Delta_0 \Rightarrow$ el ajuste es bueno, al nivel de significancia seleccionado.

Si $\Delta \geq \Delta_0 \Rightarrow$ el ajuste no es bueno, al nivel de significancia seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución.

c. Utilidad

Después de ajustar una cierta distribución de probabilidades a un registro de precipitación total anual o descarga media anual, ésta se utiliza para obtener la probabilidad de tener

lluvias anuales o descargas medias anuales menores que un cierto valor previamente seleccionado y también valores mayores que otra determinada magnitud. Tales determinaciones son valiosas para el diseño de sistemas hidráulicos como por ejemplo en proyectos de irrigación. (CHAVARRI, E. 2004)

d. Persistencia de descargas

La persistencia de un caudal se refiere a las probabilidades de un determinado caudal de ser igualado o superado. La persistencia mensual, indica el número de veces que una determinada descarga, de un mes dado, es igualada o superada durante el período de registro.

Este número de veces puede convertirse en probabilidades de ocurrencia, expresando así la persistencia en estos términos. Para determinar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia se hace con la fórmula de Weibull; de la ecuación (106) se deduce que:

$$m = f(N + 1) \quad (108)$$

Donde:

f : Frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

N : Número de datos.

m : Número de orden.

Los registros de precipitación de un determinado mes o época son bastante susceptibles de análisis probabilístico, semejante al descrito para las lluvias anuales, sin embargo, en este caso interesa por lo general construir gráficas que indiquen las lluvias mensuales para determinadas probabilidades de ocurrencia, por ejemplo, para 50%, 75%, 80%, 90%, y 95%. (JULCAMORO, F. 2017).

Es así que, para proyectos de irrigación, se utilizan valores de precipitación con probabilidad de ocurrencia o persistencia correspondiente al 75% y para proyectos hidroenergéticos, se utiliza el 95%. (JULCAMORO, F. 2017).

2.4. TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

SIMILITUD HIDROLÓGICA

Para transferir información hacia una cuenca que no dispone desde otra vecina similar que sí la tiene, hay la necesidad que ambos sistemas hidrológicos cumplan condiciones de similitud. Dos sistemas hidrológicos son similares si cumplen las condiciones de

similitud geométrica, cinemática y dinámica. Los parámetros adimensionales juegan aquí un papel de primerísima importancia. (ORTIZ, O. 2015)

SIMILITUD GEOMÉTRICA

Dos sistemas hidrológicos son similares geoméricamente si el Índice de Compacidad tiene un valor equivalente o idéntico en ambos sistemas. (ORTIZ, O. 2015)

SIMILITUD CINEMÁTICA

Dos sistemas hidrológicos guardan similitud cinemática si la red de drenaje natural tiene la misma conformación geométrica, esto es, cuando la Relación de Confluencia adopta un valor equivalente o idéntico en ambos sistemas. (ORTIZ, O. 2015)

SIMILITUD DINÁMICA

Dos sistemas hidrológicos son similares dinámicamente si el Coeficiente Orográfico tiene igual o idéntico valor en ambos sistemas.

Los cumplimientos de las tres condiciones anteriores garantizan la similitud total de los sistemas hidrológicos, que encierran implícitamente similares condiciones de clima, geológicas y hasta de cobertura vegetal. (ORTIZ, O. 2015)

La técnica de transferencia de información se realiza empleando parámetros adimensionales que contengan las variables a transferir. Los parámetros de transferencia más conocidos en hidrología son:

NÚMERO DE OSWALD (Os)

Parámetro adimensional que relaciona gastos de escorrentía, altitudes medias, lámina de precipitación y área de la cuenca. Este parámetro es utilizado en cuencas andinas donde la precipitación es función de la altura. (ORTIZ, O. 2015)

$$O_s = \frac{Q*Z}{A^{3/2}P} \quad (109)$$

Os = Número adimensional de OSWALD

Z = Altitud media de la cuenca

P = Lámina de precipitación

Aplicando este número a la cuenca con información conocida y a la cuenca problema:

$$\frac{Q_c Z_c}{A_c^{3/2} P_c} = \frac{Q_p Z_p}{A_p^{3/2} P_p} \quad (110)$$

En la cuenca problema casi nunca se conoce las esorrentías, pero sí se conoce el área, altitud media y casi siempre la lámina de precipitación, entonces:

$$Q_p = \left(\frac{Z_c}{Z_p}\right) \left(\frac{P_p}{P_c}\right) \left(\frac{A_p}{A_c}\right)^{3/2} Q_c \quad (111)$$

$$Q_p = \frac{P_e A_e^{3/2}}{Z_e} Q_c = K Q_c \quad (112)$$

Q_p = Caudal en la cuenca problema

Q_c = Caudal en la cuenca con información

P_e = Escala de precipitación

A_e = Escala en áreas

Z_e = Escala de altitudes

K = Constante adimensional

- El Parámetro más simple de transferencia es el que relaciona la escala de cantidad de agua precipitable con la intensidad de precipitación, muy versátil para transferir intensidades aun cuando la precipitación no dependa de la altura, como en el caso de la Selva Peruana. (ORTIZ, O. 2015)

$$\pi = \frac{I}{P} \quad (113)$$

π = Parámetro adimensional

I = Intensidad de precipitación

P = Lamina de precipitación en un periodo de tiempo dado

Establecido la relación de similitud se obtiene:

$$I_p = \left(\frac{P_p}{P_c}\right) I_c = P_e I_c \quad (114)$$

I_p = Intensidad de precipitación en la cuenca Problema

P_p = Lámina de precipitación en la cuenca Problema

P_c = Lámina de precipitación en la cuenca con Información

P_e = Escala de cantidad de agua precipitable

I_c = Intensidad de precipitación en la cuenca con Información

La información más abundante es la pluviométrica, pero si no se cuenta, aunque sea en lugares más próximos, puede generarse fácilmente mediante un análisis regional. En cambio, la información de escorrentías e intensidades máximas es la más escasa y frecuentemente no existen en la zona del proyecto. Frente a esta situación, la técnica de transferencia por similitud nos permite una solución bastante aceptable. (ORTIZ, O. 2015)

Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica.

Análisis dimensional de sistemas hidrológicos

El fenómeno físico más importante en microcuencas altoandinas es el de precipitación-escorrentía, variables causa y efecto, respectivamente. (ORTIZ, O. 2015)

La primera, dependiente de las características climáticas, y la segunda de la naturaleza de cada microcuenca (CHOW, V. 1993). Sencillamente, si se desprecia la evapotranspiración real, el fenómeno simplificado queda representado por las variables mostradas en la tabla 7.

Las variables se agruparon en parámetros adimensionales, mediante la aplicación del teorema PI de Vaschy-Buckingham (SOTELO, G. et al., 1977). El producto de este análisis condujo a la obtención de las leyes físicas que rigen los sistemas hidrológicos altoandinos, representadas por los parámetros adimensionales de las ecuaciones (115), (116), (117), (118) y (119):

$$\pi_1 = \frac{Q}{AP} \quad (115)$$

$$\pi_2 = \frac{H}{\sqrt{A}} \quad (116)$$

$$\pi_3 = \frac{I*t}{H} \quad (117)$$

$$\pi_4 = \frac{Q}{I*A} \quad (118)$$

$$\pi_5 = \frac{p}{\sqrt{A}} \quad (119)$$

Dónde:

π : Parámetro adimensional.

Q: caudal de escurrimiento.

A: proyección del área receptora-colectora sobre un plano horizontal.

P: precipitación pluviométrica.

H: altitud media sobre el nivel del mar.

I: intensidad de precipitación.

t: periodo de duración de intensidad de precipitación.

p: perímetro de la cuenca.

El hecho de haber despreciado la evapotranspiración real en este análisis se justifica porque los tiempos de duración de las tormentas son relativamente cortos; para periodos de tiempo más largos, los balances hidrológicos deben tomar en cuenta esta componente o bien incluirla como pérdida en los coeficientes de escorrentía.(CHOW, V. et al., 1993)

Tabla 4.- Variables y dimensiones del fenómeno precipitación-escorrentía

Variable	Dimensión
1.Precipitación pluvial: P	LT^{-1}
2.Intensidad de precipitación pluvial: I	LT^{-1}
3.Periodo de duración de la lluvia: t	T
4.Proyección del área receptora colectora: A	L^2
5.Desnivel sobre el nivel del mar: H	L
6.Caudal de escurrimiento: Q	L^3T^{-1}
7.Perímetro de la cuenca: p	L

Fuente: (ORTIZ, O. 2015)

Parámetro adimensional de semejanza geométrica

Está dado por el parámetro adimensional de la ecuación (119), donde multiplicando ambos miembros por 0.28 resulta el índice de Gravelius ($K_c = 0.28 \cdot \pi_5$) dado por la ecuación (120); parámetro adimensional que se obtiene relacionando el perímetro de una cuenca y el perímetro que tendría un círculo imaginario de la misma área que la cuenca (IBIZATE, A. et al., 2004)

$$K_c = 0.28 \frac{p}{\sqrt{A}} \quad (120)$$

El índice de Gravelius tiene influencia en la configuración de la red de drenaje superficial y en la geometría del hidrograma de escorrentía directa y, por tanto, en la magnitud del caudal pico de avenidas (IBIZATE, A. et al., 2004). Además, los rangos de este parámetro han sido de mucha utilidad en la clasificación de cuencas por su geometría, tal como el que se plasma en la tabla 8 (HENAOS, R. 1988). Este parámetro, por ser descriptor más eficaz de la forma de la cuenca, es un buen referente de similitud geométrica entre sistemas hidrológicos.

Por analogía, con la hidráulica de modelos físicos se puede inferir entonces que: “dos o más sistemas hidrológicos son geoméricamente semejantes si tienen igual índice de Gravelius”.

Conviene resaltar que el término “igual” no tiene connotación matemática, sino simplemente el de una “igualdad hidrológica”, que al igual que en estadística, se acepta con cierto nivel de aproximación válida para fines prácticos.

Las microcuencas de forma oval concentran más rápidamente los flujos superficiales, generando picos súbitos violentos y recesiones rápidas ante tormentas extraordinarias, características que favorecen la escorrentía directa y la erosión hídrica, en detrimento de la recarga de acuíferos, contrariamente al comportamiento de las cuencas alargadas. (ORTIZ, O. 2015)

Parámetro adimensional de escurrimiento sostenido

Está dado por la ecuación (115), donde sustituyendo el primer miembro por un coeficiente promedio ($K = \pi_1$) se transforma en la ecuación (121), expresión que puede usarse para la determinación de caudales promedio multianuales de escorrentía, que involucra a las componentes de escorrentía directa y subterránea (CHOW, V. et al., 1993)

$$Q = K A P \quad (121)$$

Dónde:

Q: caudal promedio en el periodo considerado.

A: área de la cuenca receptora-colectora de precipitaciones.

P: “Precipitación efectiva” en el periodo considerado.

K: coeficiente de esorrentía.

Tabla 5.- Formas estándar de cuencas con base en el índice de Gravelius

Formas de sistemas hidrológicos con base en el coeficiente de Gravelius		
Clase de geometría	Rango de clase	Forma de cuenca
Kc1	$1 < Kc \leq 1.25$	Oval redonda
Kc2	$1.25 < Kc \leq 1.5$	Oval oblonda
Kc3	$1.5 < Kc \leq 1.75$	Oblonda alargada

Fuente: (HENAOS, R. 1988)

El término “precipitación efectiva”, por tratarse de periodos más largos, obviamente, incluye pérdidas por evapotranspiración real y almacenamiento en el suelo.

Parámetro adimensional orográfico y semejanza dinámica

Está representado por la ecuación (116), donde elevando al cuadrado ambos miembros resulta el parámetro adimensional de la ecuación (122), conocido como coeficiente orográfico, C_0

($\pi^2 = C_0$), parámetro asociado con las fuerzas gravitacionales de los flujos superficiales y, por ende, con los potenciales de erosión hídrica y de generación de energía hidráulica. (HENAOS, R. 1988)

$$C_0 = \frac{H^2}{A} \quad (122)$$

Los sistemas altoandinos de relieve escarpado, ubicados a gran altitud, tienen coeficientes orográficos muy altos, siendo indicativos de una gran capacidad erosiva y de transporte de sedimentos (HENAOS, R. 1988). Por todo ello, se considera que este parámetro constituye un buen referente de similitud dinámica.

Por analogía, con la hidráulica de modelos físicos se puede inferir que: “dos o más sistemas hidrológicos altoandinos son semejantes, dinámicamente, si tienen igual coeficiente orográfico”, con similar consideración del término “igual” que para el caso de semejanza geométrica.

Parámetro de relación de confluencias promedio y semejanza cinemática

Este parámetro adimensional, influenciado también por el índice de Gravelius, describe la configuración espacial o geometría de la red de drenaje y expresa el grado de ramificaciones de la red (IBIZATE, A. et al., 2004). Se cuantifica mediante la aplicación de las ecuaciones (123) y (124), para lo cual es necesaria la categorización previa de la red de drenaje superficial, prefiriéndose la metodología de Horton (GASPARI, F. et al., 2012)

Por la influencia que ejerce en la configuración espacial de la red de drenaje, se considera que la relación de confluencias promedio es un buen referente de la similitud cinemática de los sistemas hidrológicos.

$$r_c = \frac{n_i}{n_{i+1}} \quad (123)$$

$$R_c = \frac{1}{n} \sum_1^n r_d \quad (124)$$

Dónde:

r_c : relación de confluencias parcial.

n_i : número de cursos naturales de orden i .

n_{i+1} : número de cauces de orden inmediatamente superior a i ($i = 1, 2, 3, \dots, N-1$).

N : número de orden de la cuenca.

r_{ci} : cada uno de los “ n ” valores parciales.

R_c : relación de confluencias promedio.

Por analogía, entre modelo y prototipo, se infiere que: “dos sistemas hidrológicos son semejantes, cinemáticamente, si tienen igual relación de confluencias promedio”, con la misma indicación del término “igual” que para los dos casos de semejanza anteriores.

Parámetro adimensional de lluvia

Este parámetro, dado por la ecuación (117), describe las características de la precipitación pluviométrica sobre la cuenca como una variable con distribución espacial y temporal. Se observa que las mayores intensidades ocurren en periodos cortos de tiempo y a mayor altitud sobre el nivel del mar y viceversa (CHOW, V. et al., 1993). Es muy importante en la generación de escorrentías máximas (caudales pico) a partir de datos de precipitación; pero, además, explica que en cuencas altoandinas la precipitación es dependiente de la altitud sobre el nivel del mar.

Condición de semejanza hidráulica de sistemas hidrológicos

Por analogía, con la hidráulica de modelos físicos a escala, “dos o más sistemas hidrológicos altoandinos son semejantes si cumplen simultáneamente las condiciones de semejanza geométrica, cinemática y dinámica”, con cierto nivel de aproximación previamente adoptado.

Aforos

Aforar es medir un caudal. En hidrología superficial puede ser necesario medir desde pequeños caudales (unos pocos litros/segundo) hasta grandes ríos con caudales de centenares o miles de m³/seg. Distinguimos dos tipos de aforos:

- *Aforos directos. Con algún aparato o procedimiento medimos directamente el caudal.*
- *Aforos indirectos o continuos. Medimos el nivel del agua en el cauce, y a partir del nivel estimamos el caudal.*

(SÁNCHEZ, J. 2004)

Aforos con correntómetro o molinete.

Máximo Villón Béjar (2002). Para este método, se emplea el correntómetro o molinete. Estos son aparatos que miden la velocidad, en un punto dado del curso del agua. Esta velocidad es medida en los instrumentos, por medio de un órgano móvil, que detecta la velocidad de la corriente y transmite las indicaciones de un interruptor encargado de cerrar un circuito eléctrico, cuando ha dado un cierto número de vueltas, sobre un contador o contómetro (de impulsiones de sonido, señales luminosas, digitales, etc).

Los correntómetros, son vendidos con un certificado de calibración, sobre el que figura la fórmula que debe utilizarse, para calcular las velocidades, a partir del número de vueltas por segundo de la hélice determinada, la cual, puede ponerse bajo la forma:

$$v = a \times n + b$$

donde:

v = velocidad de la corriente, en m/s

n = número de vueltas de la hélice por segundo

a = paso real de la hélice, en m

b = velocidad llamada de frotamiento, en m/s

Cabe señalar que en realidad la velocidad se mide indirectamente, el instrumento nos arroja dos velocidades, la velocidad máxima y la velocidad mínima del flujo; con las cuales utilizando una hoja de cálculo podremos hallar el caudal que pasa por el río.

(VILLÓN, M. 2002).

Caudal medio mensual

Caudal medio mensual es el caudal generado por la suma de caudales superficiales y subterráneos medios mensuales. Son calculados tomando la media aritmética, del caudal diario registrado en el mes considerado.

Wendor Chereque Morán (Hidrología). En la época de caudales estables solo es necesario determinar el caudal(m³/s) una vez al día, siempre a la misma hora. Ese valor es considerado el caudal medio diario. En época de variación de caudales es necesario determinar el caudal 2 o 3 veces al día a fin de obtener el caudal medio diario. Ahora el promedio mensual de las descargas medias diarias proporciona la descarga media mensual y el promedio de estas la descarga media anual. (CHEREQUE, W. 1991)

Los caudales medios mensuales también pueden ser estimados con algún modelo hidrológico, conociendo la precipitación media e información climática, así como los parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio.

Oferta hídrica

Es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Usualmente esta porción de agua que escurre por los ríos es

denominada por los hidrólogos como escorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en los distintos países.

La oferta hídrica de una cuenca, corresponde también al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca, se está estimando la oferta de agua superficial de la misma. El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial.

Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa cuenca. (CORPONARIÑO, 2011)

Uso agrícola, poblacional y energético del agua.

Volumen aprovechable del agua

Huamán V. señala que el volumen de agua aprovechable de una cuenca depende del caudal de escorrentía total en algún punto emisor de interés, y es generalmente usado en agricultura, pecuaria, consumo humano, energético e industrial. Cuando se trata de proyectos ubicados aguas abajo del punto emisor, y no se conoce el registro hidrométrico en dicho punto, los caudales medios mensuales se estiman con algún modelo hidrológico, conociendo la precipitación media e información climática, así como los parámetros geomorfológicos de la cuenca en cuestión.

Para estimar el caudal medio mensual de acuerdo al uso, se necesita una serie histórica de caudales medios mensuales, de por lo menos 30 años, con los cuales se halla los caudales mensuales, de enero a diciembre, para diferentes persistencias, aplicando mínimos cuadrados ó una distribución teórica de frecuencias (Normal, Log Normal, Gamma, etc.) Una curva de persistencia o curva de caudales clasificados indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos.

Conocido el volumen de agua aprovechable se lo distribuye en uso actual de terceros y el caudal ecológico; el remanente puede ser utilizado en nuevos proyectos.

Los niveles de persistencia según el uso del agua y período estacional se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6: Niveles de persistencia de acuerdo al uso del agua y al período estacional

Nivel de persistencia (%)	Uso del agua o período estacional
75.0	Agrícola y pecuario
80.0	Consumo humano
85.0 – 95.0	Industrial
95.0	Hidroenergía
15.0	Período húmedo
50.0	Período normal
85.0	Período seco

Fuente (HUAMÁN, F. 2017)

Agua para uso agrícola

La producción agrícola es una actividad fundamental para el desarrollo de nuestro país y del mundo, el área terrestre designado para uso agrícola crece considerablemente cada día, es por ello que dicha actividad demanda de cantidades considerables de agua para desarrollarse eficientemente.

Según la FAO (2015). Los alimentos de una persona requieren 0.23 hectáreas y 3000 litros por día. La agricultura utiliza el 11% de la superficie de la tierra, el 70% de las extracciones de agua y representa el 30% del consumo total de energía. El regadío es el principal uso cuantitativo del agua a nivel mundial.

(Informe de las naciones unidas sobre los recursos hídricos en el mundo, 2015)

Agua para uso energético

El agua y la energía están intrínsecamente interconectadas. Todas las fuentes de energía (incluida la electricidad) requieren del agua en sus procesos de producción: para la extracción de materias primas, la refrigeración de plantas térmicas, los procesos de limpieza, la producción de biocombustibles y para el funcionamiento de las turbinas. Se requiere de la energía para que se pueda disponer de agua para uso y consumo humano (incluyendo el riego) a través del bombeo, transporte, tratamiento y desalación.

Fuente (http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_energy.shtml)

Casi todas las formas de energía requieren agua como parte de su proceso de producción. La captación de agua dulce para la producción de energía representa el 15% del total mundial y se espera que aumente un 20% hasta 2035.

A nivel mundial, se prevé que la demanda de energía aumentará un tercio hasta 2035, mientras se espera que la demanda de electricidad aumente un 70%. Dado que el 90% de la energía térmica requiere un gran consumo de agua, el 70% del aumento se traduce en un aumento del 20% de las extracciones totales de agua dulce. Maximizar la eficiencia del uso del agua en las plantas eléctricas será un factor decisivo para lograr un futuro sostenible para el agua.

(Informe de las naciones unidas sobre los recursos hídricos en el mundo, 2015)

Uso Poblacional Del Agua

El agua para la vida. Es el líquido más importante de la naturaleza sin el cual no podríamos vivir, en el hogar utilizamos el agua para preparar los alimentos, higiene personal, además de otras actividades domésticas. Nos ayuda a estar sanos, a hacer la digestión, mantiene la musculatura en buen estado, actúa refrigerando o calentando el cuerpo y ayuda a transportar el oxígeno entre las células de nuestro cuerpo. Sin embargo, el crecimiento poblacional ha hecho que este recurso fundamental sea hoy en día en un recurso escaso, debido al mal manejo y la mala distribución de dicho recurso.

Según el informe de las naciones unida sobre los recursos hídricos en el mundo (2015); las familias representan el 10% del uso total del agua. A nivel mundial, se estima que 2011768 millones de personas carecen de una fuente mejorada de agua.

(Informe de las naciones unidas sobre los recursos hídricos en el mundo, 2015)

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Año hidrológico. Periodo continuó de doce meses seleccionados de manera que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que la cantidad sobrante se reduce al mínimo. Según SENAMHI, en Perú inicia el 01 de setiembre y culminó el 31 de agosto del siguiente año. (Ordoñez, 2011)

Calibración de modelo hidrológico. La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados.

Cuenca. Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida o punto emisor. Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En

las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y ésta, en otra corriente o en el mar. (Aparicio, 1992)

Escorrentía superficial. La escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de la ingeniería, y consiste en la ocurrencia y transporte de agua en la superficie terrestre.

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

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

Microcuenca. Es la unidad hidrográfica más pequeña de los sectores altos de las cuencas compuestas por quebradas, pequeños riachuelos o nacimientos de aguas. Su identificación está referenciada por menos de 4000 hectáreas, mientras que las mesocuenca y cuencas hacen referencia a áreas de drenaje mayores. (KOSTER, 2006)

Subcuenca. Es el área geográfica delimitada con el criterio de cuenca partiendo de la desembocadura de un río curso de agua en un río principal y hace referencia a una cuenca principal.

Unidad Hidrográfica. Llamadas en un inicio como “Ottocuenca” y se definen como “Espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, relacionados espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica”. (PFAFSTETTER. 1989)

Validación de Modelo Hidrológico. Es la validación de un modelo como “el proceso de demostración que el modelo es capaz de hacer predicciones en un lugar específico determinado para períodos fuera del período de calibración”. De esta manera, se dice

que un modelo ha sido validado si su precisión y capacidad predictiva en el período de validación muestran errores o límites aceptables. (REFSGAARD Y KNUDSEN 1996)

SIGLAS:

IGN. Instituto Geográfico Nacional.

SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

INGEMMET. Instituto Geológico Minero Metalúrgico.

ONERN. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales

PLANAA. Plan Nacional de Acción Ambiental

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

MINAM. Ministerio del Ambiente.

ANA. Autoridad Nacional del Agua

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN

a. GEOGRÁFICA

El área de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17S

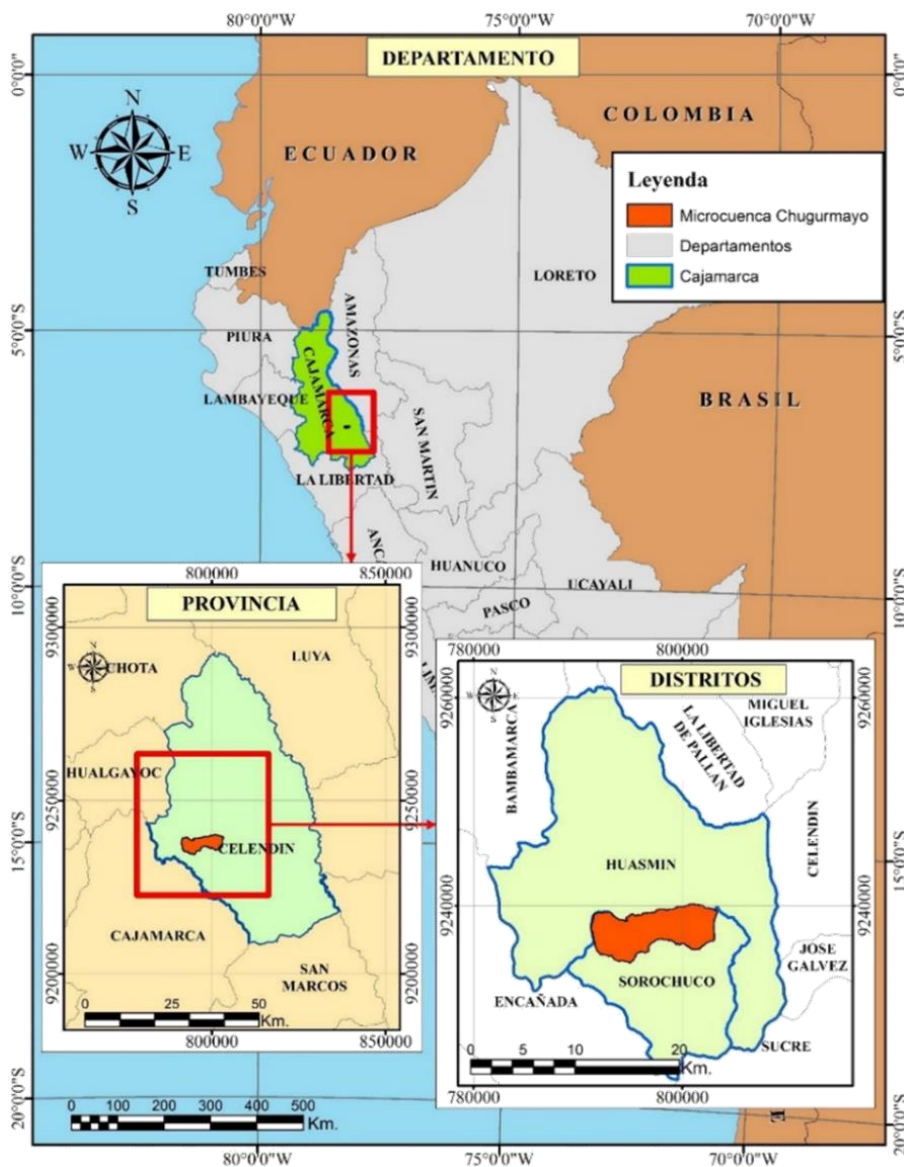
- Este: 790'428.8 m y 801'667.9 m - Norte : 9'233'962.2 m y 9'226'975.2 m

- Cota: 3358 m.s.n.m. y 4327 m.s.n.m.

b. POLÍTICA

Departamento de Cajamarca, provincia de Celendín y Distrito de Huasmín.

Figura 12: Ubicación Departamental de la microcuenca Chugurmayo.



c. HIDROLÓGICA

Figura 13: Ubicación hidrológica.



EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Equipos

- Correntómetro tipo hélice para medición de velocidades en ríos y canales.
- Vestuario de protección (poncho impermeable, botas de jebe, guantes, arnés de seguridad).
- GPS
- Laptop
- Cámara fotográfica

Materiales y Equipo de gabinete

- Materiales de escritorio (Papel bond, folder manilo, lapicero, marcador, etc).
- Estaciones meteorológicas.
- Libros.
- Modelos digitales, Fotografías satelitales y cartas geográficas.
- Materiales de Campo: Libreta de Campo, Wincha.
- Argis 10.4.1, para la digitalización de planos

VÍAS DE ACCESO

La vía de acceso más corta para llegar al punto de aforo de la Microcuenca Chugurmayo es de 3 horas en camioneta. La ruta es Cajamarca-Baños del Inca-Encañada-Celendín-Huasmín. La carretera de Cajamarca a Celendín se encuentra asfaltada y de Celendín a Huasmín es trocha carrosable sin asfaltar.

Figura 14: Vía de acceso a la Microcuenca Chugurmayo



METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación parte de una caracterización física, calculando parámetros geomorfológicos y climatológicos de la microcuenca, a partir de información cartográfica, climatológica y observaciones en campo, dándole un carácter descriptivo a la investigación. Luego, usando un criterio lógico deductivo se procederá a calibrar y validar el modelo hidrológico y finalmente se calculará el volumen de agua en el punto emisor de la microcuenca Chugurmayo.

PROCEDIMIENTO

A. Recopilación de información cartográfica

El tratamiento de información cartográfica parte de la obtención de un mapa satelital el cual se obtuvo del Servicio Geológico De Los Estados Unidos (USGS) mediante su página web la cual proporciona imágenes satelitales captadas por el satélite landsat 8. Con esta información y utilizando el software Arc Gis 10.4 se crea un mapa digital de elevación y a partir de éste se delimita la cuenca y halla sus parámetros hidrológicos.

- La delimitación de la cuenca se hace sobre un plano con curvas a nivel siguiendo las líneas del Divortium Acuarum (parteaguas) formado por los puntos de mayor nivel topográfico; para esto utilizamos el software arc gis 10.4.
- Una vez delimitada la cuenca se procede a hallar el área y el perímetro, el número de orden de la cuenca, para lo cual se utilizó el software arc gis 10.4

Posteriormente hallamos otros parámetros importantes tales como, longitud del cauce principal, coeficiente de compacidad, factor de forma, pendiente de la cuenca, altitud media, pendiente del cauce principal, ancho promedio, tiempo de concentración, entre otros los cuales se muestran en la tabla N° 6, para ello utilizamos el software Arc Gis 10.4, el cual para realizar el cálculo utiliza las ecuaciones vistas en el marco teórico anteriormente.

B. Recopilación de la información meteorológica

Se ha recopilado información meteorológica durante 10 años a partir del 2008 al 2017 de la estación hidrométrica Ronquillo, también se ha recopilado información de otras estaciones meteorológicas como son: Quebrada Shugar, Celendín, Augusto Weberbauer, La Encañana y Maqui Maqui. Por otra parte, de la información se ha obtenido realizando visitas a campo y se ha identificado características principales de la microcuenca como vegetación, fauna, pendiente, suelos, geología, red de drenaje, canales efluentes, etc. que serán detalladas en el ítem 3.5.

Por otro lado, se ha recopilado información de entidades e instituciones como SENAMHI, INEI, UNESCO, MINAM, ANA, ALA entre otros.

*La estación meteorológica Ronquillo se encuentra administrada por SENAMHI, mientras que la estación hidrométrica Ronquillo se encuentra administrada por la Escuela

académico Profesional de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de Cajamarca.

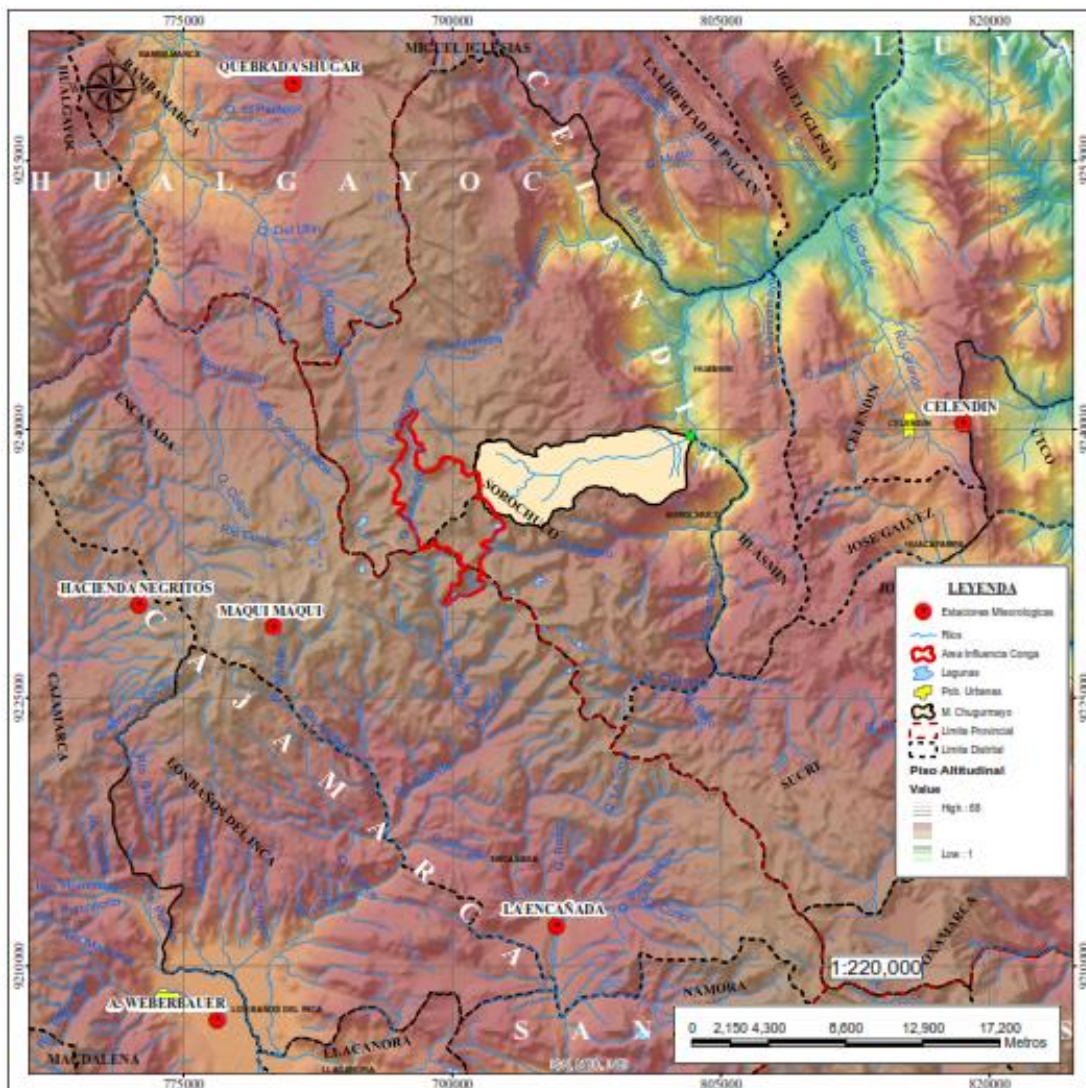
Tabla 7: Coordenadas UTM de las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio de la cuenca Chugurmayo.

Estación	Parámetros	Ubicación E,N,Z
Quebrada Shugar (M)	Precipitación y temperatura	781091, 9259271, 3293
Celendín (M)	Precipitación y temperatura	818506, 9240309, 2470
La Encañada (M)	Precipitación y temperatura	795824, 9212281, 2862
A. Weberbauer(M)	Precipitación	776874, 9206975, 2536
Maqui Maqui (M)	Precipitación y temperatura	780019, 9228957, 4024
Ronquillo (H)	Caudales	77,207,492,081,822,800

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen podemos observar la distribución espacial de las estaciones meteorológicas que se utilizaron para la presente investigación.

Figura 15: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas.



C. Punto Emisor

El punto emisor para realizar la investigación está ubicado en las coordenadas siguientes: Zona 17 M, E=803259 N=9239595 S y Z=2058 msnm. A 100 m aguas arriba de la confluencia del Rio Chugurmayo y Sendamal.

Figura 16: Punto Emisor.



D. Procesamiento de la información pluviométrica.

La información recopilada fue analizada, procesada y sintetizada mediante sus parámetros estadísticos (media, desviación estándar), logrando así la obtención de datos confiables aptos para el modelo propuesto por Lutz Scholz. Se cuenta con la información de 5 estaciones meteorológicas de las cuales se ha escogido 2 estaciones base (Augusto Weberbauer y La Encañada); teniendo en consideración que los datos faltantes sean mínimos. Utilizando los métodos de completación de datos descritos en el capítulo anterior se logró hacer la completación de datos faltantes para las 3 estaciones restantes (Quebrada Shugar, Celendín y Maqui Maqui), logrando así obtener una data histórica de precipitaciones de 50 años.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

A. Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Chugurmayo

Área de la cuenca (A): El área de la microcuenca Chugurmayo es de 72.36 Km², por lo tanto, de acuerdo a su tamaño la cuenca se clasifica como muy pequeña, hidrológicamente definida como microcuenca.

Perímetro de la cuenca (P): Es la longitud de la línea de divortium acuarium. Por tanto, el perímetro de la microcuenca es de 44.69 Km.

Longitud del cauce principal (L): La longitud del cauce principal es de 18.18 Km. De acuerdo a los rangos de longitud se clasifica como un río de cauce corto.

Coefficiente o índice de compacidad (Kc): Para la cuenca del ámbito en estudio el coeficiente de compacidad es de 1.47, por lo que se define como una cuenca oval oblonga.

Así mismo este tipo de cuenca se acerca a la posibilidad de concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, es menos susceptible a inundaciones.

Factor de forma (F): El factor forma de la cuenta es de 0.22, por lo que se clasifica de forma ligeramente achatada. Por lo que se aleja de la posibilidad de formar grandes crecidas.

Pendiente de laderas (Sc): La pendiente de la cuenca es de 32.2 %, por lo que de acuerdo a la pendiente el tipo de relieve de la cuenca es fuerte accidentado.

Altitud media (H): La cuenca tiene una altitud media de 3569.8 m. lo cual la define como una cuenta de elevación alta.

Pendiente del cauce principal (S): La pendiente es de 7.35 %, lo cual la define de pendiente moderadamente inclinada.

Ancho promedio (B): El ancho promedio de la cuenca es 18.42 Km.

Coefficiente de masividad (Cm): Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. Este valor toma valores bajos en cuencas montañosas y altos en cuencas llanas. En la microcuenca el coeficiente de masividad es de 0.049, por lo que se define como una microcuenca moderadamente montañosa.

Coefficiente orográfico (Co): En la microcuenca el valor del coeficiente orográfico es de 0.176, por lo que es una microcuenca degradada y accidentada.

Relación de confluencias (Rc): Es un indicador del potencial erosivo y de la capacidad de evacuación de la escorrentía directa de la cuenca. La relación de confluencia de la microcuenca es 2.022.

Rectángulo equivalente: Las dimensiones del rectángulo equivalente de la cuenca son: a: 18.416 m y b: 3.929 m.

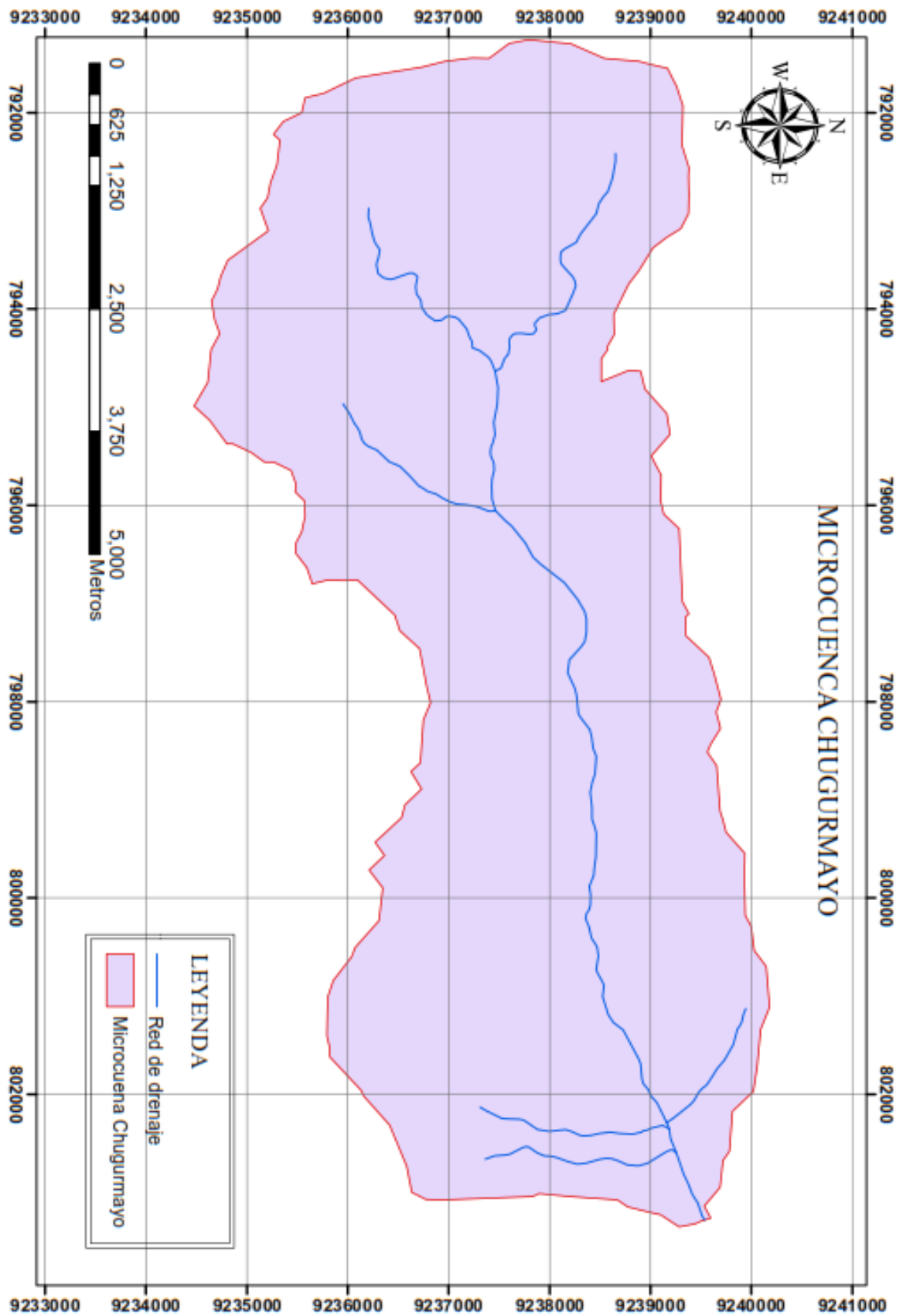
Densidad de drenaje (Dd): Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje para la cuenca es de 1.978 Km/Km², la que se encuentra en el rango que corresponde a la clase moderada.

Tiempo de concentración: El tiempo de concentración de la cuenca es de 0.50 Horas (Ec. de Kirpich), clasificándose del tipo de concentración rápida.

Tabla 8: Resumen de parámetros geomorfológicos de la microcuenca Chugurmayo.

Área de la cuenca	72.36 Km ²
Perímetro de la cuenca	44.69 Km.
Longitud del cauce principal	18.18 Km.
C. de Gravelius o índice de compacidad	1.47
Factor de forma	0.22
Pendiente de la cuenca (pendiente de laderas)	32.2 %
Altitud media	3569.8 m.
Pendiente del cauce principal	7.35 %
Ancho promedio	18.42 Km.
Altitud más frecuente	3801 - 3850
Coefficiente de masividad	0.049
Coefficiente orográfico	0.176
Relación de confluencias	2.022
Relación de longitudes	0.892
Densidad de drenaje	1.978 Km/Km ²
Tiempo de concentración	0.50 Horas
Rectángulo equivalente	a: 18.416 m b: 3.929 m

Figura 17: Microcuenca Chugurmayo



B. Precipitación media de la microcuenca Chugurmayo utilizando el modelo Lutz Scholz.

La precipitación media de la microcuenca se obtuvo mediante el método de las isoyetas, ya que es el método más preciso, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio. Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación (isoyetas) para un período determinado en el área de estudio. Una vez trazadas las isoyetas se calculan las áreas entre líneas limítrofes, y cada una de ellas se multiplica por el promedio de precipitación del área correspondiente. El trazo de estas curvas se realizó el software ARC GIS 10.4.1.

Las estaciones utilizadas para hallar la precipitación media de la microcuenca fueron (A.Weberbauer, Quebrada Shugar, Celendín, La Encañada y Maqui Maqui). De las cuales se completó sus precipitaciones. (Ver tabla 1A del Anexo).

Aplicando la fórmula del método de las isoyetas se obtuvo una planilla de precipitación media para toda la microcuenca Chugurmayo, período 1968-2017 (Ver tabla 31 del Anexo).

La precipitación media multianual (período 1968-2017) de la precipitación total mensual, obtenida de la tabla 31 del Anexo, la cual se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Precipitación media total mensual (mm) de la microcuenca Chugurmayo (1968-2017)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
102.6	125.5	176.8	106.7	56.0	24.0	9.8	11.2	49.5	111.8	117.4	134.7	1026.0

C. Precipitación efectiva de la microcuenca

Para estimar la precipitación efectiva (PE) de la microcuenca Chugurmayo (período 1968-2017) se utilizó el método de la FAO aplicando a los datos de la tabla 9.

Tabla 10: Precipitación media efectiva mensual (mm) de la microcuenca Chugurmayo (período 1968-2016)

ENE.	FEB.	MAR.	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
56.61	69.25	97.53	58.89	30.87	13.22	5.41	6.15	27.32	61.69	64.75	74.34	566.03

El coeficiente de escorrentía media anual es:

$$C = (1026.03 - 460) / 1026.03 = 0.55$$

Este coeficiente se afectó a todos los datos de la planilla de precipitación total media de la microcuenca Chugurmayo (tabla 31 del Anexo) para obtener la planilla de

precipitación efectiva de la misma serie (tabla 32 del Anexo).

D. Generación de caudales medios mensuales de la microcuenca Chugurmayo con Lutz Scholz.

Retención de la cuenca

Parte del agua que se precipita queda retenida en los acuíferos y en lagunas que según Lutz Scholz se estima con los parámetros señalados en la tabla 11.

Tabla 11: Parámetros para calcular la retención en la microcuenca Chugurmayo

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Coeficiente	Ca =	20%	(%)
Área de la cuenca	AR =	72.36	(Km ²)
Almacenamiento de acuíferos	LA =	259.88	(mm/año)
Pendiente del cauce principal	I =	0.07	m/m
Área de la lagunas	AL =	0.00	(Km ²)
Almacenamiento de lagunas y pantanos	LL =	500.00	(mm/año)
Area de los nevados	AN =	0.00	(Km ²)
Almacenamiento de nevados	LN =	0.00	(mm/año)

Fuente: Elaboración propia

$$LA = (-750)(0.07) + 350 = 297.5 \text{ mm/año}$$

$$R = \frac{3760.91}{72.36} = 51.98 \frac{\text{mm}}{\text{año}}$$

Coeficiente de agotamiento

En vista que la retención está comprendida entre 50 y 80 mm/año, el coeficiente de agotamiento es

$$\alpha = -0.00252 \ln(72.36) + 0.023 = 0.0192 \text{ días}^{-1}$$

Relación de caudales del flujo base

Se obtiene para los meses de estiaje de Mayo a Setiembre. Los cálculos se muestran para los meses de Mayo y Junio, y en la tabla 12 se muestra para todos los meses de estiaje.

Considerando t=31 días para los meses de mayo, julio, agosto y t= 30 para los otros meses, se obtienen los otros valores de estiaje.

Mes de Mayo:

$$b_0 = (2.7183)^{(-0.0192)(31)} = 0.551$$

Mes de Junio:

$$b_0 = (0.551)(2.7183)^{(-0.0192)(30)} = 0.310$$

Tabla 12: Relación de caudales del flujo base, para meses de estiaje

Mes	n° días	bo
Mayo	31	0.551
Junio	30	0.310
Julio	31	0.171
Agosto	31	0.094
Septiembre	30	0.053
suma	bm =	1.179

Gasto de la retención

Se obtiene para los meses de estiaje de Mayo a Setiembre en función de la retención (R), la relación de caudales del flujo base (bo) y la suma de factores mensuales durante la estación de estiaje ($\Sigma bo = bm$). Los cálculos se muestran para los meses de Mayo y Junio, y en la tabla 13 se muestra para todos los meses de estiaje.

Mes de Mayo:

$$G_i = \frac{0.551}{1.179} (59.98) = 24.30 \text{ mm/mes}$$

Mes de Junio:

$$G_i = \frac{0.310}{1.179} (59.98) = 13.66 \text{ mm/mes}$$

Tabla 13: Gasto de retención, para meses de estiaje.

Mes	G i (mm/mes)
Mayo	24.30
Junio	13.66
Julio	7.53
Agosto	4.15
Septiembre	2.33

Abastecimiento de la retención

Se obtiene para la estación lluviosa, meses de Octubre a Abril, en función del coeficiente de abastecimiento para la región Cajamarca y la retención de la cuenca. Los cálculos se muestran para los meses de Octubre y Noviembre, y en la tabla 14 se muestra para todos los meses lluviosos.

Mes de Octubre:

$$A_i = (0.25)(51.98) = 12.99 \frac{mm}{mes}$$

Mes de Noviembre:

$$A_i = (-0.05)(51.98) = -2.60 \frac{mm}{mes}$$

Tabla 14: Abastecimiento de la retención para los meses lluviosos

Mes	Ai (mm/mes)
Octubre	12.99
Noviembre	-2.60
Diciembre	0.00
Enero	10.40
Febrero	12.99
Marzo	18.19
Abril	0.00

Caudales mensuales para el año promedio

Para generar los caudales medios mensuales para el año promedio, se utilizó la fórmula (90) que describe la ecuación básica de balance hídrico.

Los caudales obtenidos con la fórmula (90) se muestran en unidades de (mm/mes) (ver tabla N° 15), para convertirlos a (m³/s), es necesario multiplicarlos por el área de la cuenca, dividido entre el número de días del mes, 24h, 60mi, 60seg.

Tabla 15: Caudales medios mensuales generados para el año promedio.

Mes	N° días del mes	PP (mm)	PE (mm)	G (mm)	A (mm)	Qm (mm/mes)	Qm (m ³ /s)
Ene.	31	102.62	56.61		10.40	46.22	1.25
Feb.	28	125.53	69.25		12.99	56.26	1.68
Mar.	31	176.78	97.53		18.19	79.34	2.14
Abr.	30	106.74	58.89		0.00	58.89	1.64
May.	31	55.96	30.87	24.30		55.17	1.49
Jun.	30	23.97	13.22	13.66		26.88	0.75
Jul.	31	9.81	5.41	7.53		12.94	0.35
Ago.	31	11.15	6.15	4.15		10.30	0.28
Sep.	30	49.52	27.32	2.33		29.65	0.83
Oct.	31	111.83	61.69		12.99	48.70	1.32
Nov.	30	117.36	64.75		-2.60	67.35	1.88
Dic.	31	134.75	74.34		0.00	74.34	2.01
Total		1026.03	566.03	51.98	51.98	566.03	15.62

Caudales mensuales para un periodo extendido

Inicialmente se calcularon los parámetros B1, B2, B3, S, r, sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante una regresión con Qt (caudales generados para el año promedio) como valor dependiente, Qt-1 y PEt como valores independientes.

Tabla 16: Series y coeficientes estadísticos para la regresión múltiple

Mes	Qt	Qt-1	PEt
Enero	46.22	74.34	56.61
Febrero	56.26	46.22	69.25
Marzo	79.34	56.26	97.53
Abril	58.89	79.34	58.89
Mayo	55.17	58.89	30.87
Junio	26.88	55.17	13.22
Julio	12.94	26.88	5.41
Agosto	10.30	12.94	6.15
Setiembre	29.65	10.30	27.32
Octubre	48.70	29.65	61.69
Noviembre	67.35	48.70	64.75
Diciembre	74.34	67.35	74.34
Σ =	566.03	566.03	566.03
	ΣQt	ΣQt-1	ΣPEt

Las ecuaciones para calcular los estadísticos B1, B2 y B3 son:

$$533.81 = (12) B1 + (533.81) B2 + (533.8) B3 \quad (95)$$

$$28405.80 = (533.81) B1 + (30135.49) B2 + (29105.59) B3 \quad (96)$$

$$32199.45 = (533.8) B1 + (29105.99) B2 + (36159.08) B3 \quad (97)$$

Resolviendo matricialmente tenemos:

Coeficientes			
B1	B2	B3	T I
12	566.03	566.03	566.03
566.03	32415.60	30610.48	30419.95
566.03	30610.48	36445.61	33610.60

MATRIZ INVERSA

0.50393615	-0.0068101	-0.002106739
-0.0068101	0.00024115	-9.67749E-05
-0.0021067	-9.677E-05	0.000141438

Multiplicando $|TI||MI|$ Obtenemos los resultados de B1, B2 y B3.

$$B1= 7.270$$

$$B2= 0.228$$

$$B3= 0.617$$

Se calcularon el caudal \hat{Q}_t y el error $e = Q_t - \hat{Q}_t$

Mediante la siguiente expresión

$$\hat{Q}_t = 7.270 + 0.228 Q_{t-1} + 0.617 PE_t$$

Tabla 17: Cálculos \hat{Q}_t de mensual.

Mes	Qt-1	PEt	
Enero	74.34	56.61	59.21
Febrero	46.22	69.25	60.59
Marzo	56.26	97.53	80.34
Abril	79.34	58.89	61.75
Mayo	58.89	30.87	39.78
Junio	55.17	13.22	28.04
Julio	26.88	5.41	16.75
Agosto	12.94	6.15	14.02
Setiembre	10.30	27.32	26.49
Octubre	29.65	61.69	52.14
Noviembre	48.70	64.75	58.37
Diciembre	67.35	74.34	68.55

Tabla 18: Cálculo del error (e) mensual.

Mes	Qt	\hat{Q}_t	e	e^2	Q_t^2
Enero	46.22	59.21	-12.986768	168.66	2136.28083
Febrero	56.26	60.59	-4.3286832	18.74	3165.19756
Marzo	79.34	80.34	-1.0040501	1.01	6294.07983
Abril	58.89	61.75	-2.8649676	8.21	3467.53998
Mayo	55.17	39.78	15.3929681	236.94	3044.23765
Junio	26.88	28.04	-1.1557569	1.34	722.650302
Julio	12.94	16.75	-3.8111934	14.53	167.440723
Agosto	10.30	14.02	-3.7219283	13.85	106.130034
Setiembre	29.65	26.49	3.15909445	9.98	879.083042
Octubre	48.70	52.14	-3.4355496	11.80	2371.76256
Noviembre	67.35	58.37	8.97292007	80.51	4535.37676
Diciembre	74.34	68.55	5.7839146	33.45	5525.81752
Media Qt=	47.169		suma =	599.02	32415.5968

$$S = 8.158$$

$$r = 0.9338$$

$$S_{Qt}^2 = 519.669$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

$$Q_t = 7.270 + 0.228 Q_{t-1} + 0.617 PE_t + 2.92 z$$

Tabla 19: Caudales generados Qm (mm/mes) para un periodo extendido.

Mes	z	Qt-1	PEt	Qm
Enero	-0.602	74.34	56.61	57.45
Febrero	-0.460	46.22	69.25	59.24
Marzo	-1.106	56.26	97.53	77.11
Abril	-0.003	79.34	58.89	61.74
Mayo	-0.064	58.89	30.87	39.59
Junio	-0.161	55.17	13.22	27.57
Julio	-1.280	26.88	5.41	13.01
Agosto	-0.481	12.94	6.15	12.62
Setiembre	1.990	10.30	27.32	32.30
Octubre	0.791	29.65	61.69	54.45
Noviembre	-0.403	48.70	64.75	57.20
Diciembre	-1.139	67.35	74.34	65.23

(*)

Para obtener los valores de Qm utilizamos la expresión siguiente:

$$Q_m = 7.270 + 0.228 Q_{t-1} + 0.617 PE_t + 2.92 z$$

z: números aleatorios para 12 meses (un año) con media cero y desviación estándar uno, distribución normal.

La generación de los caudales medios mensuales para los 11 periodos (desde 1968-2017) se hizo aplicando la ecuación integral obtenida de la ecuación (94)

El proceso de generación de caudales requiere un valor inicial, el cual se puede obtener en una de las siguientes formas:

- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el ultimo valor como Qo.

En este caso utilizamos las dos primeras metodologías descritas anteriormente.

Para aplicar la ecuación integral para generación de caudales primero generamos una tabla de precipitación efectiva y una tabla de números aleatorios (observar tablas N°32y N°34 del anexo A2 y A5).

Los valores de los caudales medios mensuales se muestran en la tabla N°35, N°36 y N°37 del anexo A5.

Aforo de caudales en la cuenca del río Chugurmayo

Los aforos se realizaron con un velocímetro 4 veces por mes, durante todo el 2017, los cuales se aprecian en la tabla N° 33 del anexo A4.

La metodología empleada fue descrita en el capítulo anterior de la presente investigación.

El modelo de planillas empleadas para calcular los caudales aforados se encuentra en el anexo A3.

Tabla 20: Caudales medios aforados del Rio Chugurmayo en el punto E=803259 N=9239595 S y Z=2058 msnm.

MES	Q (m ³ /s)
Feb.	2.72
Mar.	2.41
Abr.	2.08
May.	1.23
Jun.	0.92
Jul.	0.69
Ago.	0.65
Sep.	0.77
Oct.	1.17
Dic.	1.64

Oferta hídrica en la microcuenca del río Chugurmayo.

Considerando que el área de drenaje de la cuenca aún no fue afectada por la actividad minera, el cálculo de los caudales medios mensuales (mm/mes) mediante el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz, se realizó para un área de 72.36 km², la cual intervino en la obtención de parámetros del modelo (retención de la cuenca).

Para el caso de la cuenca afectada, los parámetros son los mismos del caso anterior.

El cálculo se hizo para los usos del agua: Agrícola pecuario, consumo humano, industrial e hidroenergía, mediante el ajuste a una curva de regresión lineal, con mínimos cuadrados.

Tabla 21: Agua aprovechable (mm/mes), producida por la microcuenca del río Chugurmayo.

Uso	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Agr. Pecuario	50.2	53.7	60.5	48.0	36.3	25.5	21.2	17.8	26.8	26.8	49.3	51.7
Consumo HH	46.8	49.7	57.0	45.4	33.9	23.7	19.8	16.3	24.9	24.9	46.7	48.5
Industrial	39.9	41.7	50.1	40.2	29.1	19.9	17.0	13.1	21.0	21.0	41.5	42.2
Hidroenergía	36.5	37.8	46.7	37.6	26.7	18.0	15.6	11.5	19.0	19.0	38.9	39.1

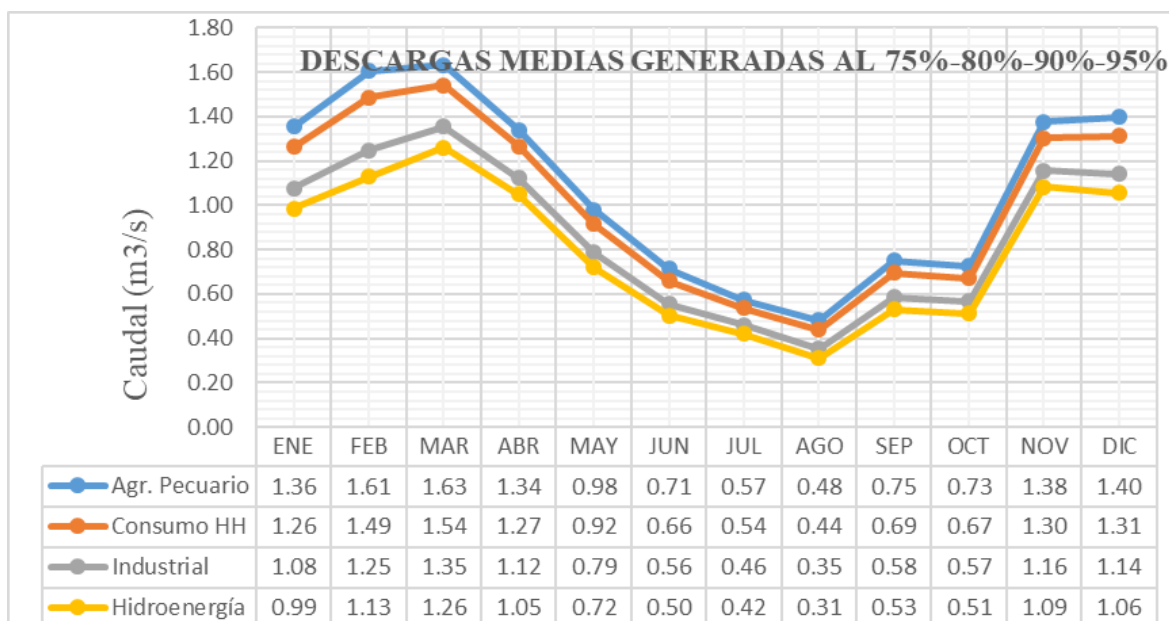
Tabla 22: Volumen de agua aprovechable (MMC), producida por la microcuenca del río Chugurmayo.

Uso	Persist.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Agr. Pecuario	0.75	3.63	3.89	4.38	3.47	2.62	1.85	1.54	1.29	1.94	1.94	3.57	3.74
Consumo HH	0.80	3.39	3.60	4.13	3.28	2.45	1.71	1.43	1.18	1.80	1.80	3.38	3.51
Industrial	0.90	2.89	3.02	3.63	2.91	2.11	1.44	1.23	0.95	1.52	1.52	3.00	3.06
Hidroenergía	0.95	2.64	2.73	3.38	2.72	1.93	1.30	1.13	0.83	1.37	1.37	2.81	2.83

Tabla 23: Volumen de agua aprovechable (m³/s), producida por la microcuenca del río Chugurmayo.

Uso	Persist.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Agr. Pecuario	0.75	1.36	1.61	1.63	1.34	0.98	0.71	0.57	0.48	0.75	0.73	1.38	1.40
Consumo HH	0.80	1.26	1.49	1.54	1.27	0.92	0.66	0.54	0.44	0.69	0.67	1.30	1.31
Industrial	0.90	1.08	1.25	1.35	1.12	0.79	0.56	0.46	0.35	0.58	0.57	1.16	1.14
Hidroenergía	0.95	0.99	1.13	1.26	1.05	0.72	0.50	0.42	0.31	0.53	0.51	1.09	1.06

Figura 18: Descargas medias (m³/s) generadas de la cuenca del río Chugurmayo.



E. Caudales medios mensuales del río Chugurmayo extendidos para un periodo de 5 años (2018-2022).

Los caudales que a continuación se presentan fueron extendidos para un periodo de 5 años (2018-2022), teniendo como datos la información de los caudales medios mensuales (m³/s) generados por el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz de la tabla N° 36 anexo 05. Dichos resultados fueron calculados mediante números aleatorios, teniendo en cuenta el promedio y la desviación estándar.

Caudales medios mensuales (m ³ /s) generados para los años 2018-2022												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2018	1.38	1.31	1.59	1.09	1.23	1.13	0.36	0.53	0.89	2.23	1.89	1.95
2019	1.29	1.95	2.55	2.24	1.01	0.54	0.47	0.32	0.36	2.31	2.86	2.67
2020	1.78	1.33	1.19	2.04	1.15	0.43	0.37	0.36	0.52	0.47	2.00	1.60
2021	1.40	1.70	2.89	1.22	0.84	0.42	0.41	0.55	1.07	1.39	1.94	2.20
2022	0.54	2.47	1.94	1.87	1.59	0.81	0.51	0.30	0.77	0.79	1.83	2.19

F. Caudales medios mensuales del río Chugurmayo mediante el modelo determinístico de transposición de caudales (2008-2017).

Para realizar la transposición de caudales es necesario tener algunos parámetros de la microcuenca con información que es la microcuenca Tres Rios como el área (Ac): 41.47 km², altitud media (Zc): 3479.72 m.s.n.m y la precipitación de la microcuenca (Pc): 289.684 mm/año. Además, estos mismos parámetros se debe obtener para la microcuenca problema en este caso la microcuenca Chugurmayo. Área (Ap): 72.36 km², altitud media (Zp): 3569.80 m.s.n.m y la precipitación de la microcuenca (Pp): 1026.03 mm/año.

Los caudales medios de la microcuenca Tres Rio san sido sacados de la tesis de Jairo (2012). (Ver la tabla 22).

Tabla 24: Caudales medidos de la microcuenca Tres Rios (2008-2015)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2008	0.554	0.867	0.947	0.891	0.431	0.267	0.197	0.154	0.125	0.183	0.211	0.107
2009	0.329	0.414	0.538	0.953	0.473	0.22	0.159	0.133	0.151	0.419	0.282	0.614
2010	0.202	0.326	0.339	0.928	0.311	0.187	0.167	0.142	0.12	0.132	0.116	0.151
2011	0.802	1.502	0.803	0.671	0.438	0.271	0.211	0.21	0.168	0.152	0.123	0.272
2012	0.37	0.531	1.691	0.734	0.242	0.217	0.173	0.099	0.144	0.204	0.406	0.202
2013	0.306	0.392	1.093	0.491	0.273	0.261	0.234	0.162	0.132	0.222	0.167	0.313
2014	0.322	0.312	0.837	0.481	0.463	0.3	0.269	0.166	0.125	0.148	0.194	0.251
2015	0.816	0.519	1.23	0.639	0.449	0.331	0.298	0.264	0.221	0.144	0.213	0.208

Los caudales para los años 2016 y 2017 fueron completados mediante números aleatorios, utilizando Excel 2010. (Ver tabla 23).

Tabla 25: Caudales medidos completados hasta el 2017 para la microcuenca Tres Rios.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2008	0.554	0.867	0.947	0.891	0.431	0.267	0.197	0.154	0.125	0.183	0.211	0.107
2009	0.329	0.414	0.538	0.953	0.473	0.220	0.159	0.133	0.151	0.419	0.282	0.614
2010	0.202	0.326	0.339	0.928	0.311	0.187	0.167	0.142	0.120	0.132	0.116	0.151
2011	0.802	1.502	0.803	0.671	0.438	0.271	0.211	0.210	0.168	0.152	0.123	0.272
2012	0.370	0.531	1.691	0.734	0.242	0.217	0.173	0.099	0.144	0.204	0.406	0.202
2013	0.306	0.392	1.093	0.491	0.273	0.261	0.234	0.162	0.132	0.222	0.167	0.313
2014	0.322	0.312	0.837	0.481	0.463	0.300	0.269	0.166	0.125	0.148	0.194	0.251
2015	0.816	0.519	1.230	0.639	0.449	0.331	0.298	0.264	0.221	0.144	0.213	0.208
2016	0.387	0.467	1.298	0.648	0.547	0.211	0.227	0.221	0.138	0.110	0.127	0.372
2017	0.332	0.740	0.834	0.853	0.395	0.213	0.213	0.089	0.129	0.249	0.283	0.164

A continuación, pasamos los caudales medios mensuales (m³/s) de la tabla 23 a precipitación (mm/mes). Se procederá a hacer solo del mes de enero y febrero del año 2008, los demás tienen el mismo proceso y se muestran en la tabla 24.

Para el mes de enero del año 2008.

$$P = \frac{0.554(31 * 24 * 60 * 60)}{41.47 * 1000} = 35.78 \text{ mm/mes}$$

Para el mes de febrero del año 2008.

$$P = \frac{0.554(28 * 24 * 60 * 60)}{41.47 * 1000} = 50.58 \text{ mm/mes}$$

Tabla 26: Precipitación de la microcuenca Tres Rios en (mm/mes).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL (mm/mes)
2008	35.78	50.58	61.16	55.69	27.84	16.69	12.72	9.95	7.81	11.82	13.19	6.91	310.14
2009	21.25	24.15	34.75	59.57	30.55	13.75	10.27	8.59	9.44	27.06	17.63	39.66	296.65
2010	13.05	19.02	21.89	58.00	20.09	11.69	10.79	9.17	7.50	8.53	7.25	9.75	196.72
2011	51.80	87.62	51.86	41.94	28.29	16.94	13.63	13.56	10.50	9.82	7.69	17.57	351.21
2012	23.90	30.98	109.22	45.88	15.63	13.56	11.17	6.39	9.00	13.18	25.38	13.05	317.33
2013	19.76	22.87	70.59	30.69	17.63	16.31	15.11	10.46	8.25	14.34	10.44	20.22	256.68
2014	20.80	18.20	54.06	30.06	29.90	18.75	17.37	10.72	7.81	9.56	12.13	16.21	245.58
2015	52.70	30.28	79.44	39.94	29.00	20.69	19.25	17.05	13.81	9.30	13.31	13.43	338.21
2016	25.00	27.22	83.82	40.50	35.31	13.19	14.65	14.26	8.63	7.08	7.96	24.04	301.67
2017	21.46	43.16	53.88	53.32	25.53	13.30	13.74	5.76	8.07	16.11	17.72	10.61	282.66
Media	28.55	35.41	62.07	45.56	25.98	15.49	13.87	10.59	9.08	12.68	13.27	17.14	289.68
Desv.E.	13.71	21.02	25.09	10.78	6.26	2.85	2.88	3.52	1.89	5.78	5.68	9.41	

Caudal de la microcuenca problema (Chugurmayo)

Este caudal (Q_p) se determina mediante la fórmula 111, descrita anteriormente. Para lo cual se debe tener algunos datos de la microcuenca Tres rios (Q_c), los cuales son:

$$Z_c = 3479.7 \text{ m.s.n.m}$$

$$P_c = 289.68 \text{ mm/año}$$

$$A_c = 41.47 \text{ km}^2$$

Así como también los datos de la microcuenca Chugurmayo:

$$Z_p = 3569.80 \text{ m.s.n.m}$$

$$P_p = 1026.03 \text{ mm/año}$$

$$A_p = 72.36 \text{ km}^2$$

Calcularemos el caudal para el mes de enero del 2008, utilizando Q_c de la tabla 23, los demás caudales se muestran en la tabla 25.

$$Q_p = \left(\frac{3479.7}{3569.8}\right) \left(\frac{1026.03}{289.68}\right) \left(\frac{72.36}{41.47}\right)^{3/2} * 0.554 = 4.409 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla 27: Caudales de la microcuenca Chugurmayo en (m^3/s).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2008	4.409	6.899	7.536	7.090	3.430	2.125	1.568	1.225	0.995	1.456	1.679	0.851
2009	2.618	3.294	4.281	7.584	3.764	1.751	1.265	1.058	1.202	3.334	2.244	4.886
2010	1.607	2.594	2.698	7.385	2.475	1.488	1.329	1.130	0.955	1.050	0.923	1.202
2011	6.382	11.952	6.390	5.340	3.485	2.157	1.679	1.671	1.337	1.210	0.979	2.164
2012	2.944	4.225	13.456	5.841	1.926	1.727	1.377	0.788	1.146	1.623	3.231	1.607
2013	2.435	3.119	8.698	3.907	2.172	2.077	1.862	1.289	1.050	1.767	1.329	2.491
2014	2.562	2.483	6.661	3.828	3.684	2.387	2.141	1.321	0.995	1.178	1.544	1.997
2015	6.493	4.130	9.788	5.085	3.573	2.634	2.371	2.101	1.759	1.146	1.695	1.655
2016	3.080	3.713	10.328	5.156	4.351	1.680	1.805	1.757	1.098	0.872	1.014	2.962
2017	2.644	5.888	6.639	6.788	3.146	1.694	1.693	0.709	1.027	1.985	2.256	1.307
Media	3.52	4.83	7.65	5.80	3.20	1.97	1.71	1.31	1.16	1.56	1.69	2.11
Desv.Est.	1.69	2.87	3.09	1.37	0.77	0.36	0.35	0.43	0.24	0.71	0.72	1.16

G. Análisis dimensional de los sistemas hidrológicos de la microcuenca Chugurmayo y Tres Ríos

Para el análisis dimensional se utilizarán los parámetros de la microcuenca Chugurmayo ya calculados y los parámetros calculados de la tesis “Volumen de agua aprovechable en la microcuenca del río Tres Ríos, usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz validado, para los años hidrológicos 2008-2012” (TERAN, N. 2014).

Parámetro adimensional de semejanza geométrica

Al hacer la comparación entre el índice de Gravelius de la microcuenca Chugurmayo ($K_c = 1.47$) y la microcuenca Tres Ríos ($K_c = 1.3$), mediante la ecuación (120) observamos que hay una variación de 0.17 entre ambos sistemas lo cual hace que no sean geoméricamente semejantes.

Parámetro adimensional orográfico y semejanza dinámica

Al hacer la comparación entre el coeficiente orográfico de la microcuenca Chugurmayo (0.176) y la microcuenca Tres Ríos (0.112), mediante la ecuación (122) observamos que hay una variación de 0.064 que es equivalente al 6.4%. lo cual hace que ambos sistemas no sean dinamicamente semejantes.

Parámetro de relación de confluencias promedio y semejanza cinemática

Al hacer la comparación entre la relación de confluencias promedio de la microcuenca Chugurmayo ($R_c = 2.02$) y la microcuenca Tres Ríos ($R_c = 2.43$), mediante las ecuaciones (123) y (124) observamos que también presentan una variación de 0.41, lo cual hace que ambos sistemas no sean cinemáticamente semejantes.

Por consiguiente podemos decir que ambos sistemas (microcuenca Chugurmayo y microcuenca Tres Ríos) no son hidrológicamente semejantes, puesto que no son hidrológicamente homogéneas o iguales.

4.2.RESULTADOS

Según el primer objetivo planteado para calcular los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Chugurmayo se tiene que el área de la cuenca es de 72.36 Km², por lo tanto, se clasifica como microcuenca, longitud del cauce principal es de 18.18 Km, lo cual se clasifica como un río de cauce corto, el coeficiente de compactidad es de 1.47, por lo que se define como una cuenca oval oblonga, factor de forma de la microcuenca es de 0.22,

por lo que se clasifica de forma ligeramente achatada, pendiente de laderas es de 32.2 %, por lo que es fuerte accidentado, coeficiente orográfico es de 0.176, por lo que es una microcuenca degradada y accidentada, tiempo de concentración de la microcuenca es de 0.50 Horas, clasificándose del tipo de concentración rápida.

La precipitación media areal de la microcuenca Chugurmayo (tabla 31), para el período 1968-2017, muestra que en dichos años se ha mantenido el régimen de lluvia, mostrando meses lluviosos (octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril) y meses con escasa precipitación pluvial (mayo, junio, julio, agosto y setiembre). En promedio, el mes más lluvioso es Marzo con 176.8 mm y el menos lluvioso Julio con 9.8 mm; esta variación es característica en la región Cajamarca.

La aplicación del modelo determinístico estocástico Lutz Scholz para generar caudales medios mensuales en la microcuenca Chugurmayo, en mm/mes, tomando en cuenta que el mes más lluvioso es Marzo, lo que concuerda con la precipitación media areal de Marzo, hallada con el método de las Isoyetas (ver tabla 14), indicando que es el mes de mayor abastecimiento de agua que se almacena en la microcuenca. La retención (51.97 mm/año) representa el 5% del promedio del módulo de precipitación (1026.0 mm), lo cual concuerda para cuencas de la sierra peruana; el coeficiente de agotamiento (0.0192días^{-1}) muestra que se trata de una cuenca con agotamiento rápido. Esto se considera lógico porque en los meses poco lluviosos el caudal tiene una gran disminución comparado con los de los meses lluviosos (ver tabla 35).

En vista de no contar con medidas históricas de caudales (m^3/s) en la microcuenca Chugurmayo, fue imposible calibrar el modelo; sin embargo, los resultados de los caudales medios en mm/mes se consideran satisfactorio.

La aplicación del modelo de transferencia de información hidrometeorológica desde la cuenca Tres Ríos hacia la microcuenca Chugurmayo, en m^3/s , no se puede hacer debido a que ambos sistemas no son hidrológicamente homogéneos o iguales.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- a. La microcuenca Chugurmayo, con punto emisor ubicado a 100 m aguas arriba de la confluencia del Rio Chugurmayo y Sendanal, es de tipo alto andina, con un área de 72.36 km², altura media de 3569.8 m.s.n.m, pendiente de laderas 32.2% e índice de Gravelius 1.47. El cauce principal se denomina Chugurmayo con una pendiente de 7.35%, donde se ha observado que el agua es derivada fundamentalmente para consumo humano, agrícola y pecuario.
- b. Los caudales medios mensuales (m³/s) generados por el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz (periodo 1968 – 2017) varían en relación al régimen de precipitación pluvial de la microcuenca Chugurmayo; tal que en los meses lluviosos varía de 2.13 m³/s a 1.14 m³/s y en los meses de estiaje de 0.98 m³/s a 0.26 m³/s.; estos caudales incluyen la escorrentía directa y el flujo base.
- c. No se puede hacer una transposición de caudales de la microcuenca Tres Ríos a la microcuenca Chugurmayo debido a que ambos sistemas no son hidrológicamente iguales, debido a ello no se podría generar caudales medios mensuales por este método.
- d. Los caudales aforados durante el año 2017, se asemejan mejor a los caudales medios mensuales generados por el modelo Lutz Scholz, pero difieren en un mayor grado con los caudales medios generados por el modelo determinístico de Transposición de caudales, esto es debido a que no cumplen la similitud hidráulica entre sistemas y a que los aforos no representan una muestra significativa para dicho modelo.
- e. El modelo hidrológico que más se ajusta a esta investigación es el de Lutz Scholz, por utilizar más variables en sus estudio respecto al modelo de transposición de caudales, por lo que se podría decir que el modelo Lutz Scholz si es aplicable en las cuencas de la región Cajamarca.

RECOMENDACIONES

- La microcuenca del río Chugurmayo es una microcuenca importante de nuestro ámbito geográfico, además sus aguas son destinadas para diferentes usos principalmente agrícola, pecuario, energético, etc., sin embargo, no se cuenta con información hidrológica suficiente que nos permita hacer una investigación más profunda. Por tal motivo es necesario que las autoridades concernientes al manejo del agua hagan la instalación de estaciones pluviométricas e hidrométricas con el objetivo de obtener datos más precisos y confiables que favorezcan la investigación.
- Se recomienda hacer estudios de tipo de suelo, infiltración, evaporación, etc., con la finalidad de obtener más parámetros característicos de la cuenca logrando así optimizar el modelo propuesto por Lutz Scholz.
- Se recomienda hacer un estudio complementario a este trabajo, en el cual se pueda disponer de información hidrométrica para poder calibrar y validar el modelo desarrollado.

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIBLIOGRAFIA

1. APARICIO MIJARES, Francisco. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. 2da. Ed. MÉXICO. Edit: Limusa, 1992. 186 pp.
2. AGUIRRE NÚÑEZ, Mario. *Modelos Matemáticos En Hidrología*. 1ra. Ed. LIMA. Edit: Universidad Nacional Agraria La Molina 2006, 210 pp.
3. CHÁVARRI VELARDE, Eduardo. *Hidrología Aplicada: Análisis Probabilístico de las Variables Precipitación Total Anual y Caudal Medio Anual*. 1ra. Ed. LIMA. Edit: Universidad Nacional Agraria La Molina 2004, 194 pp.
4. CHEREQUE MORÁN, Wendor. *Hidrología*. 1ra. Ed. LIMA. Edit: Pontífice Universidad Católica Del Perú 1991, 315 pp.
5. ORDOÑEZ GÁLVEZ, Juan Julio. *Cartilla técnica: aguas subterráneas – acuíferos*. 1ra. Ed. LIMA. Edit. SENAMHI. 2011, 156 pp.
6. GÁMEZ MORALES, William. *Texto Básico de Hidrología: Cuenca Hidrográfica*. 2da. Ed. LIMA. Edit: Universidad Nacional Agraria. 2010, 188 pp.
7. MONSALVE SÁENZ, Germán. *Hidrología En La Ingeniería*. 3ra. Ed. COLOMBIA. Edit: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999, 214 pp.
8. FATTORELLI, Sergio y FERNANDEZ, Pedro. *Diseño Hidrológico*. 1ra. Ed. ZARAGOZA. Edit: Associazione Italiana Di Idronomia 2011, 153 pp.
9. SÁNCHEZ SAN ROMÁN, Javier. *Hidrología*. 2da. Ed. ESPAÑA. Edit: Universidad de Salamanca 2004, 264 pp.
10. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. 2da: Ed. LIMA: Edit. Villón. 2002, 216 pp.
11. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología Estadística*. 1ra. Ed. LIMA: Edit. Villón. 2016, 232 pp.
12. Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (2000). *Hidrología Aplicada*. 1ra. Ed. Colombia. Edit: McGRAWHILL, 382 pp'.

OTROS

13. ORTIZ, O. (2015). "*Similitud Hidráulica de Sistemas Hidrológicos Altoandinos y Transferencia de Información Hidrometeorológica*". Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, 20 pp.

14. SCHOLZ, Lutz. *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/mehepgirhunalm/clase-7>. Plan Meris II, Cusco. 1980, 118 pp.

VII. ANEXOS

A.1. Planillas de precipitación mensual completadas

Tabla 26: Precipitación mensual (mm)-Estación Quebrada Shugar.

ESTACION : QUEBRADA SHUGAR												
NORTE :		9259271					DEPARTAMENTO :		CAJAMARCA			
ESTE :		781091					PROVINCIA :		HUALGAYOC			
COTA :		3293 m.s.n.m.					DISTRITO :		BAMBAMARCA			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1968	94.9	162.0	37.5	61.4	39.6	24.3	17.8	60.6	108.3	95.9	88.6	130.3
1969	54.7	69.3	38.2	120.7	0.5	93.5	16.3	4.2	77.7	166.2	192.3	188.5
1970	188.5	28.7	58.7	62.4	23.1	60.7	2.3	12.3	60.3	148.4	127.3	131.4
1971	72.5	125.2	161.1	51.1	62.0	38.8	30.6	8.3	20.7	76.9	63.7	77.9
1972	88.0	81.3	131.5	96.4	82.5	22.4	1.2	96.8	89.2	44.5	164.9	53.0
1973	124.7	110.2	150.8	123.2	27.2	58.5	38.7	56.9	96.7	48.3	113.4	94.4
1974	82.9	207.0	75.8	48.1	2.4	50.6	28.6	61.1	21.8	126.6	74.9	102.9
1975	122.5	148.8	152.4	130.5	118.3	46.7	44.2	46.7	67.5	97.6	36.2	23.0
1976	168.6	83.0	166.1	62.9	84.2	73.7	11.7	10.3	25.1	58.7	28.9	30.2
1977	202.1	221.4	92.6	74.9	15.3	43.0	25.0	0.0	78.5	78.9	84.3	63.4
1978	74.7	85.9	55.9	88.3	66.2	5.8	56.7	1.2	56.5	54.4	105.8	135.1
1979	76.8	99.4	195.6	98.7	44.6	2.6	34.4	85.7	91.0	20.3	58.7	54.8
1980	87.9	82.2	137.5	40.0	59.5	17.6	21.0	11.2	9.5	204.5	214.6	97.9
1981	80.7	195.0	141.7	53.4	77.7	51.8	21.4	76.0	44.5	164.7	85.9	179.7
1982	85.1	95.8	93.3	105.2	89.8	33.7	24.7	0.0	87.6	186.4	119.9	111.9
1983	147.2	37.8	207.0	125.7	49.9	29.2	23.1	26.2	46.1	82.8	37.7	161.9
1984	50.7	249.9	152.6	87.0	95.6	26.9	66.5	33.7	22.9	111.3	72.1	96.4
1985	43.6	64.6	76.8	47.0	32.7	10.7	20.7	75.4	66.1	15.5	47.2	95.9
1986	115.0	99.9	115.6	124.8	46.7	0.0	3.5	40.7	16.4	64.9	134.9	94.3
1987	123.1	115.7	90.0	66.4	26.9	14.4	40.8	40.4	50.4	89.5	126.2	141.1
1988	175.0	121.1	77.2	88.6	30.0	0.0	0.0	14.1	47.9	62.1	138.5	76.6
1989	126.9	131.3	131.1	106.5	38.1	16.0	8.7	0.0	59.5	99.6	56.5	30.8
1990	53.6	115.2	67.2	70.9	49.1	34.6	4.9	27.0	26.6	149.3	162.9	61.3
1991	76.4	67.3	138.7	73.8	17.6	7.4	21.6	0.0	36.4	31.5	55.0	120.2
1992	57.0	61.3	108.1	81.1	22.6	62.2	15.3	33.2	91.8	88.5	53.7	70.6
1993	92.3	74.5	187.6	102.0	46.4	6.5	0.0	22.6	56.7	104.5	81.6	166.1
1994	112.9	92.7	103.6	129.5	23.8	21.9	1.2	2.9	46.7	48.1	103.6	104.4
1995	60.5	158.7	77.6	60.8	61.7	28.1	26.7	0.0	22.8	93.1	88.3	150.9
1996	92.4	135.9	115.6	66.3	28.3	10.3	3.0	17.9	23.5	87.9	38.8	14.9
1997	59.5	91.3	67.7	54.7	24.0	24.6	0.0	14.9	35.2	48.5	96.8	114.5
1998	107.1	156.9	232.4	132.0	48.7	2.6	0.0	4.3	56.8	164.3	73.4	73.4
1999	136.7	284.0	60.5	37.4	82.6	104.5	43.7	5.5	111.7	27.9	145.7	152.1
2000	93.6	181.6	196.3	86.3	94.4	75.9	0.0	83.4	130.4	24.7	70.6	141.5
2001	269.5	100.4	260.5	51.5	52.9	4.5	24.1	0.3	51.2	100.1	150.8	126.7
2002	61.5	103.6	197.6	103.2	64.9	2.8	36.6	0.3	39.3	133.5	154.1	128.6
2003	106.4	152.0	107.7	44.3	49.4	103.7	1.3	41.3	61.6	94.3	115.9	106.8
2004	65.9	80.1	103.5	74.6	67.1	34.8	45.7	20.3	77.3	110.7	148.9	129.0
2005	146.5	144.9	174.5	46.9	20.0	2.9	6.1	0.0	37.1	214.0	56.8	138.9
2006	126.9	130.5	289.2	52.8	10.4	91.1	28.9	3.1	95.9	64.0	112.7	118.4
2007	144.8	55.1	187.8	149.3	68.4	2.3	23.1	38.2	37.0	158.0	151.0	126.5
2008	149.5	198.5	182.7	105.5	69.7	38.3	3.2	89.6	50.5	151.1	98.6	40.4
2009	290.6	74.2	144.1	131.7	91.1	35.1	18.7	6.0	52.2	134.4	156.2	130.2
2010	98.2	116.4	134.5	68.8	71.1	41.0	28.1	3.4	41.5	50.0	104.2	150.6
2011	146.0	63.2	165.0	137.9	51.9	17.9	19.7	8.0	80.1	70.2	91.7	187.5
2012	202.7	158.6	127.6	113.0	72.3	11.1	0.5	8.7	18.2	137.7	145.6	93.6
2013	95.0	108.4	234.9	86.7	102.0	50.6	17.0	67.3	7.6	135.0	20.3	154.9
2014	101.1	114.6	148.1	71.1	98.8	3.4	13.1	10.1	48.8	43.2	77.7	117.3
2015	245.2	95.9	156.6	70.5	131.4	27.9	10.6	29.4	8.9	49.8	90.6	92.2
2016	86.1	116.2	86.6	35.6	18.5	19.8	6.9	0.0	31.3	92.6	0.0	168.6
2017	115.6	119.3	134.6	83.7	54.1	32.4	19.1	26.5	53.5	96.0	98.3	109.2

Tabla 27: Precipitación mensual (mm)-Estación Celendín.

ESTACION :							CELENDIN					
NORTE : 9240309							DEPARTAMENTO : CAJAMARCA					
ESTE : 818506							PROVINCIA : CELENDIN					
COTA : 2470 m.s.n.m.							DISTRITO : CELENDIN					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1968	42.7	144.0	135.4	38.5	33.6	6.5	4.2	37.0	90.1	138.7	78.4	84.0
1969	15.3	126.3	134.9	185.3	4.7	49.0	1.6	7.5	56.6	185.3	207.2	197.9
1970	100.0	51.1	113.6	96.7	42.4	20.4	11.0	2.8	18.3	167.7	99.3	126.0
1971	95.6	120.2	324.6	116.6	44.3	16.4	14.3	18.8	17.9	131.3	104.7	131.5
1972	41.8	63.7	196.3	170.0	58.4	0.0	0.0	21.4	66.2	31.8	181.4	89.3
1973	123.7	49.1	104.7	163.1	28.5	33.2	21.6	18.1	60.1	90.9	95.0	93.7
1974	43.6	210.2	185.1	61.3	11.5	42.8	22.1	42.2	28.5	162.0	109.1	77.3
1975	56.4	209.8	214.7	131.6	104.3	25.6	24.3	39.2	21.1	110.8	104.9	33.8
1976	111.8	87.2	212.7	82.4	79.9	21.0	0.0	19.2	13.9	55.0	61.3	52.1
1977	144.1	194.1	161.0	78.0	60.0	3.7	11.5	0.8	44.6	111.1	136.3	56.7
1978	54.0	50.9	88.4	119.9	78.3	2.5	23.4	2.4	38.8	98.5	72.1	112.5
1979	53.0	98.2	266.1	99.7	44.5	0.5	10.4	37.6	74.6	18.6	27.0	37.2
1980	44.7	50.1	158.8	53.2	72.6	18.4	0.0	22.4	16.9	205.8	247.1	118.1
1981	61.5	154.5	107.1	59.4	59.2	22.6	5.8	24.7	10.1	182.8	140.2	202.6
1982	81.7	51.5	124.9	98.2	75.7	5.8	8.2	0.0	69.6	257.1	153.2	144.8
1983	124.3	74.6	256.5	148.3	39.4	17.4	6.2	8.0	28.5	73.4	55.5	180.8
1984	47.6	219.8	157.3	114.2	86.1	22.3	25.3	33.5	3.6	104.8	128.5	109.7
1985	37.0	72.2	109.6	100.2	32.6	10.0	19.2	16.4	54.4	39.9	34.2	95.8
1986	110.8	67.2	102.7	162.5	34.6	3.1	6.7	23.5	0.0	74.0	168.2	82.1
1987	124.4	126.2	147.8	108.2	9.9	0.0	24.5	6.0	52.8	69.0	163.6	99.3
1988	117.1	85.7	79.6	143.2	21.2	4.9	0.2	16.4	40.3	66.9	82.5	100.7
1989	74.5	139.1	168.1	137.7	15.7	14.1	8.7	3.0	39.8	105.3	76.4	15.0
1990	84.4	98.5	83.0	86.6	46.9	28.3	0.0	27.0	20.5	169.0	227.2	70.5
1991	42.6	88.3	257.2	109.1	14.4	9.2	0.0	11.8	17.5	71.1	81.2	112.6
1992	55.0	14.7	70.8	77.6	16.3	30.3	0.6	12.7	55.5	101.5	83.6	72.9
1993	98.4	102.7	211.5	120.6	37.3	11.6	4.1	6.4	30.3	114.7	108.3	144.0
1994	122.0	139.8	203.3	158.2	37.8	0.0	10.3	0.3	21.0	82.2	117.8	115.3
1995	41.6	100.7	124.8	105.8	65.5	3.4	12.8	0.0	11.0	57.4	73.7	132.6
1996	69.5	104.5	136.1	74.5	28.0	14.9	0.5	15.0	24.4	137.7	62.6	17.2
1997	51.9	109.2	74.2	84.2	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	42.4
1999	125.6	319.1	100.4	102.7	93.9	49.2	28.3	6.6	107.8	53.6	130.2	214.6
2000	71.4	224.0	220.6	112.4	81.9	25.1	1.9	40.0	89.2	5.7	97.8	160.4
2001	197.3	134.9	310.9	99.2	55.8	1.3	22.5	0.0	32.2	104.3	162.2	78.2
2002	57.9	90.5	220.1	172.6	27.9	1.9	7.4	0.0	32.9	198.3	205.2	151.8
2003	48.7	71.1	158.6	92.7	27.3	53.7	1.7	0.0	39.5	80.9	95.8	116.4
2004	51.3	63.5	101.7	106.6	32.9	0.0	19.2	6.2	50.3	133.2	225.4	143.2
2005	79.3	103.4	236.5	116.5	16.5	0.0	0.0	18.4	39.0	250.3	37.9	166.7
2006	98.5	136.1	349.8	129.1	3.4	43.2	9.1	3.9	66.3	118.3	123.1	144.6
2007	91.6	17.6	275.8	189.1	27.6	3.0	16.0	9.9	20.0	194.2	152.9	123.2
2008	98.5	180.2	156.7	111.7	48.5	28.0	11.0	21.0	20.3	132.0	142.5	38.8
2009	212.1	75.9	223.5	150.9	71.4	14.8	14.5	0.0	38.2	141.7	182.5	116.0
2010	84.7	128.5	176.3	89.5	69.9	20.9	18.7	3.9	39.0	60.4	123.0	135.1
2011	131.2	95.7	161.5	122.6	16.1	1.3	17.7	4.8	60.5	95.3	113.5	173.6
2012	195.9	115.6	127.2	100.0	42.7	3.4	6.1	1.7	0.3	142.0	208.1	79.7
2013	76.6	115.1	284.9	66.7	89.8	21.1	16.5	33.2	4.7	162.9	24.3	129.4
2014	78.1	136.7	166.6	84.0	94.7	1.3	0.3	4.4	33.2	70.0	101.7	146.6
2015	179.2	26.5	235.6	114.8	110.9	5.5	3.1	10.2	0.6	35.7	172.1	44.3
2016	126.1	173.3	130.8	42.9	6.7	2.1	1.8	2.0	30.6	134.0	19.4	213.6
2017	88.8	113.6	175.3	111.4	46.3	14.8	9.7	13.1	36.4	114.1	118.6	111.8

Tabla 28: Precipitación mensual (mm)-Estación Maqui Maqui.

ESTACION		MAQUI MAQUI											
NORTE		9228957					DEPARTAMENTO		CAJAMARCA				
ESTE		780019					PROVINCIA		CAJAMARCA				
COTA		4024 m.s.n.m.					DISTRITO		CAJAMARCA				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1968	79.6	112.2	99.1	70.1	34.7	10.8	0	7.5	123.3	62.6	94.8	137.3	
1969	21.3	153.3	131.1	142.9	18.1	62.8	0	5	54.6	114	223.7	306	
1970	151.1	88.5	110.8	69.2	51.9	39.7	8	4.3	54.3	158.3	104.1	164.5	
1971	111.3	137.1	216.8	94.3	42.7	23.9	7.9	7.7	31.3	105.1	70.3	144.2	
1972	52	95.3	193.6	131.3	49.2	5.3	2.6	9.9	57.5	31.6	133.5	78.5	
1973	109.1	84.7	134.3	142.5	46.7	32	13.3	9.3	97.3	80.8	82.8	146.8	
1974	83.9	190.2	177.5	50.5	28.5	44.1	10.5	15.9	41.1	111.3	79.9	103.1	
1975	59.5	210.7	205.5	104	74.4	21.5	13	14.2	46.5	108.3	63.5	70.1	
1976	177.8	112.4	168.8	67.4	72.3	42.4	3.9	7.3	15.6	44.4	63.5	124.3	
1977	140.9	163.2	137.6	62.4	22.2	22.4	7.9	0.9	52.4	58.4	114.4	107.3	
1978	47.4	25.6	101.8	74	61.4	1.9	17.6	2.4	38.3	78.9	92.4	118.7	
1979	55.4	124.3	214.4	64.6	37.2	0	5.4	22.1	102.3	3.3	85.8	69.2	
1980	37	66.8	140.4	50.1	66.9	18	3.7	1.3	5.4	247.8	214.3	176.2	
1981	57.9	195.3	129.1	82.1	56.8	28.9	4.2	12	15.8	144	135.1	195.4	
1982	70.8	109	115.9	56.5	49.9	37.5	6	0	83.6	209.6	141.2	208.5	
1983	126.5	85.7	166.4	128.1	54.4	22.4	8.5	4.9	22.4	108.7	85.1	202.9	
1984	50.1	277.8	145.9	109.3	70	59.9	17.8	12.6	14.2	102.2	103.7	135.1	
1985	47.8	114.2	121.6	87.4	37	4.9	7.1	15.4	46.5	14.8	66.2	129.9	
1986	103.2	104	127.7	122.6	45.6	7.2	5.2	17.9	0	59.7	122.8	129.3	
1987	150.8	90.5	130.3	92	28.2	13.9	15.8	7.1	57.3	101	149.1	157.7	
1988	148.4	118.4	106.9	109.4	22.9	7.2	2.8	4.1	27.3	64.6	78.9	127.2	
1989	83.7	131.9	173.2	113.3	33.3	12.2	6	3.8	52.4	161.8	50.8	62.5	
1990	79.5	108.3	102.1	79.5	53.1	34.9	3.6	3.7	47.9	161	200.2	133.3	
1991	45.1	111.3	166	77.8	32.8	13.7	4.7	3.7	31	21.7	76.2	139.2	
1992	47.5	78.1	81.4	73.8	29.8	28.7	4.8	5.7	71	102.6	54.8	103.9	
1993	88.7	141.1	221.9	126.9	28.8	18.6	2.8	2.5	47.9	130.1	121.5	184.7	
1994	153.6	170.3	185.4	150.4	49.4	12.2	4.8	2.7	16.9	51.7	102.1	161.6	
1995	20.6	145	154.6	64.5	42.6	14.2	10.4	3.6	22.2	70.4	85.1	168.9	
1996	79	155.2	132.7	94.3	5.4	22.9	2.8	10.4	27.8	78.4	55.4	17.8	
1997	57	125.2	74.9	63.5	25.1	9.4	0	2.3	25.9	89.7	136.4	128.5	
1998	122.8	192.5	187.8	119.4	59.8	5.6	0.4	1.6	18	155.4	118.1	92.6	
1999	139.6	315.2	137.4	69.6	90.5	56	11.9	7.2	123.6	58	140.5	238	
2000	86.4	226.2	196.2	97.6	68.4	43.8	5	10.2	119.8	9.6	55.2	198	
2001	243.2	148.8	257.4	65.5	65.4	6.6	13	3.4	25.5	124.6	170.4	193.6	
2002	53	106.6	193	148.7	35.2	15.8	12.9	3.3	40.8	195.6	134	207.2	
2003	92.4	101.6	113.8	118	52.8	78.3	4.4	4.4	69	89.4	49.5	118.7	
2004	95.7	67.1	110	71.5	53.6	7.4	14.6	8.7	55.6	115.8	187	203	
2005	116.3	140.2	250.6	44.4	30.5	17.5	7.7	2.5	36.8	217.6	73.9	229.4	
2006	102.6	93	268.6	64.1	13.2	25.7	8.6	0	94.4	59.8	115.5	138	
2007	132	4	219.2	119.6	59.3	11.4	3.4	6.4	59.5	139.6	190.2	163.9	
2008	93.3	176.7	178.3	122	72.8	53.5	3	12.8	55.1	167.6	141.8	49.4	
2009	221.7	115.4	164	143.9	89.2	31.3	5.4	0	50.1	170.6	187.8	154.8	
2010	69.8	137.6	179.4	68.4	80.4	37.4	1.8	1.7	64.6	115	119.9	163	
2011	138.3	119	165	150.3	3.6	6.3	9.8	5.7	71.2	40.8	105.9	266.2	
2012	215.1	213.5	197	130.7	72.4	0	0	0.8	35.5	153.5	192.7	140	
2013	62.6	123.2	295.5	86.2	80.5	20.1	6.9	15.1	12.2	176.6	25.4	163.8	
2014	98.3	194.4	140.8	66.5	89.9	1.1	1.5	2.9	48.2	112.5	79	173.4	
2015	197.7	73.3	274.8	115.1	113.7	33.5	3.5	6.4	17.4	41.4	181.5	134.9	
2016	118	125.5	119.1	32.9	23.5	0	2.6	1.8	77.7	82.2	16.5	209.2	
2017	100.7	132.6	163.6	93.7	49.5	23.0	6.5	6.4	49.1	104.1	111.7	150.4	

Tabla 29: Precipitación mensual (mm)-Estación A. Weberbauer.

ESTACION		A. WEBERBAUER											
NORTE	:	9206975					DEPARTAMENTO	:	CAJAMARCA				
ESTE	:	776874					PROVINCIA	:	CAJAMARCA				
COTA	:	2536 m.s.n.m.					DISTRITO	:	CAJAMARCA				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1968	58	132.9	67.7	26.6	14.9	1.6	1.6	16.2	63.2	66.4	54.6	70.8	
1969	42	73.7	83.5	85.7	1.5	19.6	0.3	13.2	37.1	111.3	106.4	162.1	
1970	108.4	41.8	79.9	54.5	33.8	10.8	3.2	2.5	18.2	103	51.4	76.1	
1971	94.1	97.8	158.9	54.7	27.1	12.2	12.5	17.2	28.1	89.8	45.8	66.5	
1972	55.5	67.6	113.8	76.2	18.1	4.4	3.4	20.6	35.7	31.4	66.5	50.2	
1973	95.3	70.7	91.6	98.4	27.4	13.1	8.4	18.3	29.5	65.5	68.2	72.3	
1974	64.1	128.2	95.2	58.5	4.6	17.3	6.5	23.6	26.2	70.5	53.9	53.4	
1975	63.6	158.1	124	70.7	66.8	10	6.9	19.3	1.3	80.2	65.1	0	
1976	115	62.9	127.9	55.2	43	16	0.1	4.4	12.3	32.2	72.3	44.4	
1977	129.9	146.4	141.9	42.6	25.5	8	7.5	0.1	16.1	53.4	54.8	68.2	
1978	56.4	34.4	48.5	62	55.6	3.9	18.5	3.8	23.8	24.4	54	47.9	
1979	58.4	81.6	159.7	53.3	16.3	1.8	7.5	28.8	54.7	24.4	26.3	46.6	
1980	34.9	42.4	106.1	29.3	36.3	17.9	3.2	5.6	2.3	130.4	111	73.9	
1981	69.5	148.6	105.7	33.7	48.6	6.6	7.2	12.7	22	111.9	46.5	111.3	
1982	71.7	102.9	75.7	63.3	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4	
1983	116.6	75.4	151.6	105.7	31.1	10.1	6.7	2.7	19.2	74.3	28.1	118.4	
1984	45.6	217.3	123.8	80	43.2	12.1	14.8	18.7	39.9	68.6	64.2	70.4	
1985	24.6	42.4	94	41.9	31.5	0.4	4.8	18.3	37.3	8.5	23.9	55.6	
1986	84.4	47.7	96.8	77.4	16.2	0.6	1.2	14.6	1.2	43.6	66.2	51.8	
1987	98.2	95.2	88.3	52.2	11.1	4	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	60.5	
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0	0	35.6	65.2	63.4	73.6	
1989	87	106.3	113.5	85.4	18.8	4.6	3.2	5.9	27.6	78.3	47.1	2.7	
1990	91	68.5	58.3	61.3	39.5	14.4	0.8	7.1	20.1	87.6	99.1	72.3	
1991	43.8	90	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	10.8	4.6	10	40.8	64	32	34.1	
1993	61	112.2	131.5	85.6	30.2	1.9	3.3	2.9	37.8	98.8	71.4	84.1	
1994	116.9	103.1	179.6	89.6	35.3	3.3	0	0.2	11.9	27.2	56.2	84.9	
1995	44.7	108.3	75.7	49.7	32.7	1.7	8.4	2.2	11.5	51.8	50.5	76.4	
1996	65.2	79.4	120.1	50.4	13.7	11.1	0.5	15.8	13.9	76.2	12.6	34.1	
1997	63.8	74.8	26.5	40.4	17	16.8	0.2	0	27.4	50.8	54.8	70.1	
1998	44.3	116.5	168.8	83.9	23.7	4.8	1.3	4.7	17.8	79.6	50.1	47.9	
1999	94.8	242.7	69.5	46.1	53.7	22.8	10.3	1.2	81.4	21.7	77	95	
2000	46	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	28.7	56.6	9.9	44.5	122.3	
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	15.4	2.3	4.3	0	34.4	92.3	93.4	90.9	
2002	27	60	133.1	77.2	23	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	28	46	63.8	80.7	
2004	65.9	86.5	56.9	44.5	16.8	2.1	13.8	9.4	19	63.4	92.6	106.5	
2005	84.9	67	123.5	54	7.2	4.5	0.6	3.5	31.2	132.7	30	87.8	
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	12.4	1.8	6.1	33.6	34.9	60.4	81.7	
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29	1.4	9.3	6.4	11.6	117.2	97.6	68.8	
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	3.3	2.3	11.7	34.7	96.5	72.2	41.1	
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	0.7	3.9	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2	
2010	49.5	112.9	154	92.2	31.6	8.6	2.2	1.3	28.9	43.4	52.5	70.8	
2011	111.4	73.3	125.2	102	16.7	0.4	8.3	0	47.1	31.5	29.2	109.7	
2012	154.2	134.7	93.6	72.8	51.5	0.2	0	2.5	6.5	83.2	120.3	58.3	
2013	61.5	98	213.3	30.1	66.1	7.5	5.7	21.5	3.7	102.5	28.2	79.4	
2014	75.7	139.8	134.2	51.9	44.1	5	2	3.9	27.7	26.5	45.7	96.6	
2015	184.7	55.4	202.2	63	75.8	3	4.4	0.1	5	16.8	99.6	39.5	
2016	81	85.3	119	56.2	7	1.6	2.1	1.1	23.4	61.7	13.5	97.8	
2017	81.3	95.3	117.3	65.3	29.2	7.7	4.8	8.7	26.6	65.5	61.7	72.0	

Tabla 30: Precipitación mensual (mm)-Estación La Encañada.

ESTACION		LA ENCAÑADA											
NORTE	:	9212281					DEPARTAMENTO	:	CAJAMARCA				
ESTE	:	795824.00					PROVINCIA	:	CAJAMARCA				
COTA	:	2862 m.s.n.m.					DISTRITO	:	LA ENCAÑADA				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1968	48	112.5	133.1	19	31.3	0	9.2	9.6	79.5	64.1	91	114.1	
1969	17.3	113.5	134.3	120.1	16.8	55.8	6.2	7.1	19.4	128.7	155.8	134.6	
1970	145.7	43.6	181.2	89.4	38	22.6	4.6	3.6	25.1	126.5	46.3	114.5	
1971	88.9	99.7	233.7	94.5	45.7	20.1	6.4	7.4	47.3	83.4	81.3	129.6	
1972	83.9	88.9	187.5	149.4	48	11.5	2.7	16.1	57.3	25.5	123.4	90.4	
1973	98.2	79.5	164.3	175.3	54.1	8.6	11.9	8.6	53	70.2	119	107.4	
1974	51.4	144.4	152.7	86.3	14.5	26.5	7.2	21.7	45.2	98.3	42.4	68	
1975	91.2	187.2	198.4	115.3	119.1	28.9	24.3	14.6	16.2	66	76	0	
1976	137	61.5	208.8	54.2	75.3	12.7	0	0	36.8	54.8	31.6	63.8	
1977	137.5	139.7	99.8	33.3	69.8	14.4	11.1	2	29.3	46.3	74.3	69.5	
1978	23.7	62.3	86.3	56.2	49.5	8.5	19.4	0	20.5	42.7	54.5	97.3	
1979	86	128.8	264.5	95.2	48.7	3.1	9.1	20.1	89.3	0	57.4	52.5	
1980	56.8	52.9	183.9	73.3	80.4	9.6	2.5	3	0	179.5	195.8	100.6	
1981	88.9	158.3	52.5	77.2	70.2	17.8	11	9.5	25.5	129.1	114.3	135.7	
1982	47.4	95.1	93.8	101	45.4	20.3	0.8	0	92.2	213.5	58.8	129.8	
1983	135.1	24.2	214	113.8	61.5	5.4	4.8	0.9	28.9	42.6	35.5	108.3	
1984	56.8	205.4	151.2	106.3	81.7	30.1	20.7	13.1	16.9	134.4	85.6	121.7	
1985	54.9	60.5	146.4	75	19.5	15.4	3.7	7.9	33.4	46.8	74.8	50.2	
1986	106.5	78	188.6	115.1	57.5	0	3.4	7.6	0	49	63.6	46.5	
1987	149.4	75.2	104.1	102	26.6	14.1	11.5	0.9	24.9	22.1	81.9	91.4	
1988	119.6	144	6.4	129.3	31.4	2.5	8	6.7	45	80.6	79.8	59.3	
1989	75.7	163.1	183.6	98.1	40.9	14.9	7.4	4.5	30.5	104.7	72.5	0.8	
1990	63.1	85	117.7	89.3	47.9	31.2	0	7.1	34.7	103.7	127.9	46.3	
1991	46.3	87.6	241.3	56.7	29.3	3.8	0	7.5	20.7	7.1	53.8	91.1	
1992	63.6	29.8	52.3	67	61.5	34.2	6.4	5.3	64	92.6	19.3	75.8	
1993	60.6	72.9	217.9	124.6	49.1	0	0	9.1	56.9	126.6	100.2	119.4	
1994	148.2	105.4	194.4	198.5	58.4	6	7.3	0	46.2	19	117.7	88.9	
1995	69.8	97	136.8	72.8	24.2	9.8	10.4	1.8	50.5	46.8	83.4	99.6	
1996	65.7	90.2	144.6	102	20	10.5	9.5	7.2	23.7	119.1	37.2	65.9	
1997	59.7	88.3	28.5	91.4	32.6	10.7	2.3	0	4.8	69.9	109.6	129.2	
1998	102.1	104.4	223.3	162.1	71.5	6.2	0.5	4.1	36.3	132.7	71.7	63.7	
1999	115.3	302.2	108.7	119.2	63.2	49.3	11	6.8	125.1	30.3	125.3	143.4	
2000	46.9	155.9	184.7	106.7	53.2	32.7	0.9	8.6	88.1	4.7	50.4	117.4	
2001	238	72.4	263.5	105.1	60.7	0.5	12.8	0.8	30.9	103.3	101.8	86.4	
2002	42.9	89.4	241.1	117.7	49	14.1	14	1.1	28.8	159.2	128.1	114.7	
2003	50.6	80.6	145.5	93	37.8	38.3	0	2.8	41.9	93.8	107.7	85	
2004	50.5	72.5	149.4	91.1	39.8	5.8	13.6	9.3	44.2	112.9	108.5	109.6	
2005	114.7	107.1	260.8	46.3	42	12.4	1.2	7	45.3	205.5	38.2	145.4	
2006	74.6	134.7	292.1	76.6	14.8	25.3	4.1	4.9	65.4	61.2	106.9	91.7	
2007	93.1	44.8	259.4	140.5	44	0	9.4	5.3	26.4	133.1	127.5	92.9	
2008	104.1	149	175.9	151.5	44	15.2	0	17.9	53.7	140.9	119.7	37.7	
2009	222.7	70.9	215.2	122.8	75.2	9.3	12.5	4.1	41.1	90	115.3	100.5	
2010	70	94.8	184.3	75.5	26.1	11.8	7.7	0	35.7	84.4	98.9	94	
2011	123.4	96.8	153.6	139.6	32.9	0.4	13.1	0	51.2	52.1	93.8	149.5	
2012	166.1	101.5	108	108.3	59.7	10.6	0	3.8	1.5	86.5	152.8	56	
2013	72.7	96.9	262	73	115.4	11.2	3.6	13	0	157	39.5	106.9	
2014	90.3	94.1	175.4	95.3	79.8	0	0.3	0.6	44.1	45.4	103.3	109.3	
2015	188.3	71.4	260.7	70.4	104.1	3.3	5.3	0	3	27.8	74.1	61.8	
2016	99.7	95.2	123.7	72.3	3.2	6.2	0.8	0.6	39.8	85.1	8.2	176.6	
2017	92.7	102.2	169.2	99.0	50.3	14.3	6.8	6.0	39.2	85.7	86.5	92.7	

Precipitación media (mm) de la microcuenca Chugurmayo – Mediante el método de las isoyetas.

Se generó mapas de Isoyetas para cada mes desde 1968 - 2017, como se muestra para el mes de marzo de 1999.

Se generan el mapa de Isoyetas con las precipitaciones de las 5 estaciones en estudio en este caso para el mes de marzo.

Figura 19: Mapa de Isoyetas de precipitación para el mes de marzo de 1999.

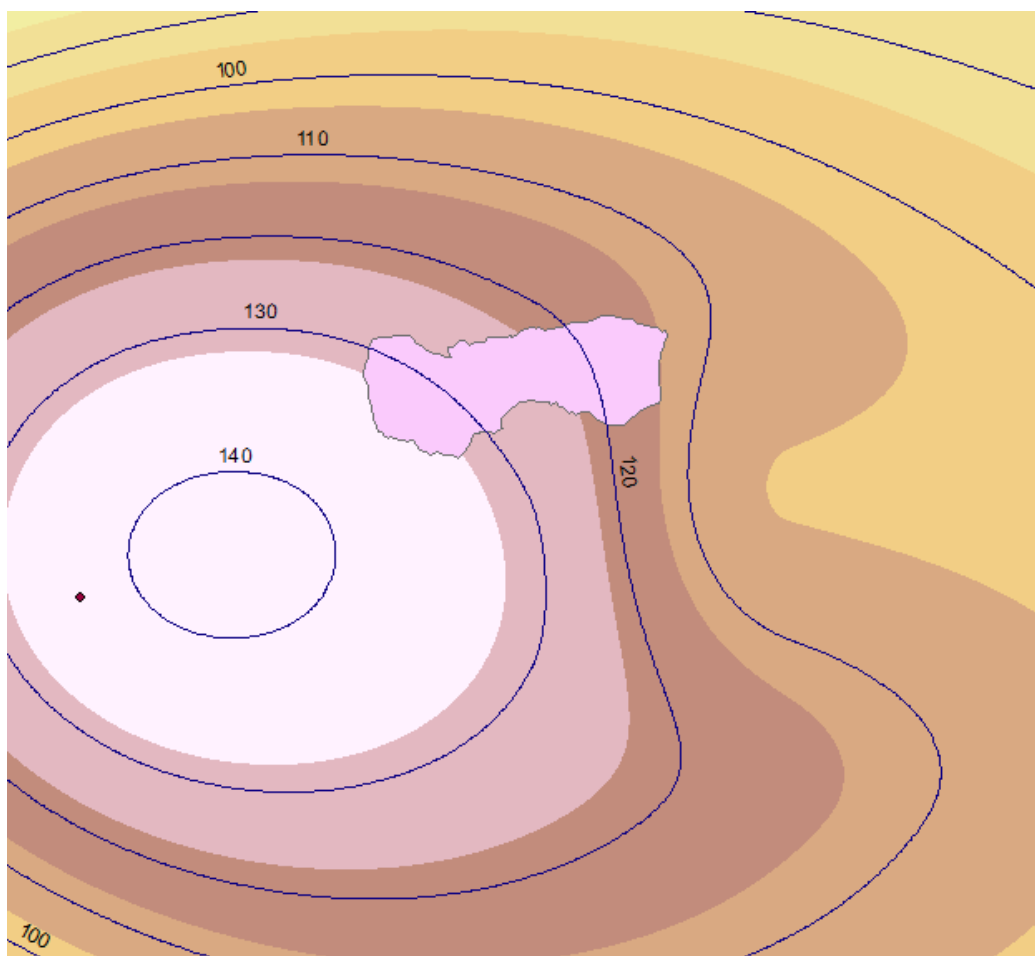


Tabla 31: Precipitación media (mm) de la microcuenca Chugurmayo – Mediante el método de las isoyetas.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1968	66.5	122.5	121.8	53.9	39.9	10.4	6.9	22.0	113.5	87.9	100.2	133.0	878.4
1969	17.1	141.8	133.3	159.6	16.2	74.5	5.3	3.9	50.7	147.8	224.0	236.6	1210.7
1970	153.9	66.1	139.6	87.8	45.0	40.0	8.1	5.4	45.3	164.0	100.4	156.4	1011.8
1971	97.7	128.3	261.4	105.7	52.0	26.3	10.5	7.8	33.1	104.2	90.2	148.4	1065.6
1972	65.9	90.5	206.5	160.0	65.9	9.2	1.5	25.7	71.4	31.4	167.9	90.6	986.2
1973	115.5	81.3	153.2	170.9	47.4	33.3	20.5	16.1	90.8	79.1	109.1	131.8	1048.8
1974	66.4	199.6	179.2	64.3	21.7	46.2	16.4	30.0	40.7	134.9	80.7	97.8	977.8
1975	79.3	207.8	221.7	130.0	108.7	32.9	27.1	24.7	45.0	99.7	74.8	47.4	1099.1
1976	112.5	96.6	207.9	69.5	86.2	38.2	3.7	9.1	25.7	57.2	42.7	91.1	840.4
1977	153.4	176.8	121.3	63.5	48.5	21.9	12.9	1.4	56.6	72.9	118.5	84.1	931.6
1978	41.7	53.2	101.2	85.6	64.0	4.6	25.7	0.9	38.9	83.1	86.2	132.9	718.0
1979	68.8	128.0	261.2	94.5	51.1	1.2	12.1	33.5	102.5	2.5	72.8	58.7	886.7
1980	55.2	66.8	171.9	64.5	81.7	14.9	5.1	7.9	8.1	239.2	247.5	150.4	1113.1
1981	70.7	184.2	103.0	84.2	68.3	33.3	9.0	24.3	20.6	161.8	147.7	197.7	1104.9
1982	66.8	87.9	118.6	90.3	65.0	30.7	8.7	12.5	95.7	246.1	132.2	182.8	1137.3
1983	135.4	54.9	219.8	134.6	59.4	19.4	9.3	8.2	31.2	80.3	68.0	180.1	1000.6
1984	53.4	248.5	158.8	114.9	91.0	47.7	29.5	19.9	5.9	126.8	103.0	136.6	1135.8
1985	53.9	96.3	129.1	93.6	27.7	12.6	11.9	21.3	49.5	35.8	70.6	107.5	710.0
1986	114.1	100.5	151.5	144.6	56.2	4.2	4.6	20.1	2.2	65.2	131.7	103.0	897.9
1987	154.7	96.9	131.5	108.3	27.6	13.2	22.0	8.1	48.1	79.8	146.3	143.4	979.8
1988	144.8	123.6	74.4	127.1	30.6	4.2	4.5	11.2	38.3	70.7	94.2	102.5	826.1
1989	84.4	153.4	187.3	121.5	36.6	16.6	8.5	2.6	49.3	140.3	68.0	39.3	907.8
1990	67.1	109.9	110.7	89.3	51.7	37.7	2.3	13.9	40.5	161.8	204.8	90.4	980.1
1991	50.2	95.6	225.0	84.5	28.6	11.7	5.6	7.8	30.6	29.1	72.1	131.1	771.8
1992	55.6	53.9	76.1	81.7	40.4	41.9	6.0	10.5	76.5	108.0	55.9	100.7	707.0
1993	89.6	103.1	239.6	132.9	41.2	12.8	1.5	9.1	51.0	130.1	118.8	176.4	1105.8
1994	147.7	145.5	182.7	186.0	49.9	10.7	8.1	1.8	35.3	54.4	126.4	135.6	1084.3
1995	44.0	128.0	151.6	82.8	47.8	15.6	14.2	1.8	33.3	67.1	92.3	157.9	836.2
1996	77.6	136.6	139.4	100.8	18.2	17.6	5.5	10.0	28.9	112.2	60.8	30.4	737.8
1997	55.0	116.8	70.6	90.3	27.7	10.5	0.8	3.5	20.9	87.4	140.1	151.2	774.8
1998	123.1	166.5	228.9	162.0	70.6	4.1	0.2	1.6	31.2	176.3	106.9	78.5	1149.8
1999	139.7	359.0	125.0	99.6	91.0	69.2	21.5	8.4	130.8	52.6	152.0	225.5	1474.2
2000	80.7	211.2	219.7	109.5	78.8	48.1	2.7	23.5	120.2	9.0	70.6	171.2	1145.0
2001	248.6	122.9	283.0	90.1	74.2	3.8	19.9	2.0	30.7	116.9	162.3	142.1	1296.5
2002	59.7	109.3	237.5	158.0	46.8	11.5	16.2	1.1	41.8	204.7	164.6	181.3	1232.4
2003	79.3	105.4	140.2	113.1	46.3	77.3	2.3	6.5	61.9	102.7	90.3	114.9	940.1
2004	70.8	64.3	117.6	97.2	56.0	10.7	20.6	9.9	64.3	134.5	190.2	168.9	1004.9
2005	119.9	140.5	277.3	62.2	36.5	12.5	5.0	7.8	42.4	247.0	61.2	209.1	1221.3
2006	100.5	123.8	323.6	80.7	12.4	44.6	12.3	1.6	94.4	101.8	130.6	136.2	1162.2
2007	119.3	27.1	256.1	153.6	55.5	6.4	10.4	11.9	47.2	161.6	178.1	148.8	1176.0
2008	111.6	183.7	190.3	134.8	69.9	44.8	4.3	29.3	50.6	166.7	147.9	46.2	1180.1
2009	242.7	93.7	212.8	155.6	93.6	28.3	13.1	1.3	55.4	154.3	177.6	144.0	1372.2
2010	84.5	123.0	181.1	69.7	70.2	32.5	12.6	2.0	53.9	100.0	130.7	155.2	1015.4
2011	140.1	112.4	171.8	151.4	21.7	6.3	15.2	5.4	69.4	67.3	124.4	231.7	1117.0
2012	207.7	159.6	164.6	128.6	65.8	6.6	1.7	2.9	19.1	143.7	196.3	109.1	1205.8
2013	75.7	116.3	295.3	92.9	104.0	25.6	10.2	25.4	7.4	181.4	28.8	157.0	1120.0
2014	97.0	144.6	164.1	87.4	102.6	8.8	2.4	3.3	48.9	90.6	104.3	156.2	1010.2
2015	200.5	68.8	235.1	106.8	123.5	22.8	4.9	10.5	9.8	43.4	148.7	104.7	1079.4
2016	119.5	137.7	119.0	44.0	15.4	5.5	2.5	1.3	59.7	105.2	39.9	225.4	875.0
2017	151.8	112.3	146.7	63.1	67.2	35.7	4.8	26.8	57.5	171.2	115.2	105.8	1058.0
MEDIA	102.6	125.5	176.8	106.7	56.0	24.0	9.8	11.2	49.5	111.8	117.4	134.7	1026.0
DESV. ES	50.6	56.1	61.1	34.5	26.4	18.9	7.4	9.3	29.3	58.0	49.2	49.7	172.0
MIN	17.1	27.1	70.6	44.0	12.4	1.2	0.2	0.9	2.2	2.5	28.8	30.4	707.0
MAX	248.6	359.0	323.6	186.0	123.5	77.3	29.5	33.5	130.8	247.0	247.5	236.6	1474.2

A.2. Precipitación media efectiva.

Tabla 32: Precipitación media efectiva de la microcuenca Chugurmayo (mm/mes)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1968	36.67	67.56	67.19	29.72	22.00	5.75	3.83	12.13	62.60	48.50	55.26	73.38
1969	9.43	78.23	73.51	88.05	8.96	41.11	2.90	2.13	27.95	81.54	123.57	130.54
1970	84.91	36.44	77.00	48.41	24.83	22.06	4.46	2.99	24.97	90.45	55.38	86.26
1971	53.88	70.79	144.20	58.31	28.70	14.50	5.81	4.31	18.24	57.48	49.78	81.85
1972	36.37	49.91	113.91	88.24	36.34	5.05	0.81	14.19	39.36	17.33	92.61	49.95
1973	63.74	44.83	84.50	94.29	26.13	18.37	11.30	8.90	50.08	43.62	60.18	72.68
1974	36.64	110.12	98.84	35.45	11.98	25.48	9.07	16.54	22.47	74.42	44.50	53.93
1975	43.76	114.63	122.30	71.73	59.97	18.12	14.94	13.62	24.84	55.02	41.25	26.17
1976	62.06	53.28	114.70	38.31	47.58	21.06	2.05	5.03	14.17	31.54	23.55	50.28
1977	84.61	97.56	66.89	35.04	26.77	12.05	7.11	0.77	31.20	40.19	65.35	46.42
1978	23.02	29.35	55.85	47.21	35.30	2.53	14.18	0.49	21.46	45.87	47.54	73.31
1979	37.97	70.59	144.07	52.16	28.16	0.65	6.65	18.46	56.53	1.36	40.16	32.41
1980	30.46	36.84	94.83	35.58	45.07	8.21	2.81	4.37	4.44	131.95	136.55	82.97
1981	39.01	101.63	56.84	46.47	37.68	18.37	4.97	13.40	11.34	89.28	81.49	109.04
1982	36.86	48.47	65.42	49.83	35.85	16.96	4.81	6.91	52.80	135.74	72.91	100.86
1983	74.70	30.30	121.28	74.23	32.76	10.68	5.13	4.53	17.21	44.31	37.54	99.35
1984	29.48	137.06	87.58	63.38	50.17	26.29	16.25	10.99	3.27	69.93	56.81	75.38
1985	29.75	53.15	71.24	51.65	15.29	6.92	6.58	11.76	27.31	19.76	38.95	59.30
1986	62.92	55.45	83.60	79.79	31.01	2.33	2.53	11.07	1.21	35.97	72.63	56.81
1987	85.34	53.46	72.56	59.73	15.22	7.30	12.11	4.45	26.51	44.03	80.70	79.13
1988	79.89	68.17	41.05	70.11	16.85	2.32	2.47	6.20	21.11	39.03	51.98	56.54
1989	46.54	84.62	103.35	67.02	20.16	9.18	4.71	1.45	27.18	77.39	37.53	21.65
1990	37.00	60.63	61.04	49.28	28.51	20.80	1.27	7.69	22.35	89.25	113.00	49.84
1991	27.67	52.75	124.11	46.62	15.78	6.43	3.08	4.30	16.85	16.08	39.79	72.31
1992	30.67	29.72	41.98	45.05	22.27	23.10	3.29	5.76	42.21	59.57	30.82	55.56
1993	49.43	56.86	132.16	73.33	22.71	7.05	0.83	5.01	28.12	71.75	65.51	97.29
1994	81.49	80.29	100.77	102.59	27.55	5.92	4.49	1.00	19.49	30.02	69.75	74.83
1995	24.25	70.59	83.63	45.68	26.38	8.58	7.83	0.99	18.35	37.00	50.94	87.09
1996	42.83	75.37	76.89	55.59	10.02	9.71	3.01	5.50	15.92	61.88	33.54	16.75
1997	30.33	64.42	38.94	49.82	15.30	5.80	0.45	1.91	11.55	48.21	77.29	83.43
1998	67.90	91.87	126.26	89.37	38.95	2.25	0.10	0.88	17.20	97.23	58.98	43.30
1999	77.05	198.07	68.94	54.92	50.17	38.19	11.84	4.66	72.16	29.00	83.83	124.42
2000	44.49	116.54	121.17	60.39	43.47	26.51	1.48	12.98	66.32	4.94	38.95	94.45
2001	137.15	67.82	156.12	49.68	40.93	2.10	10.97	1.12	16.94	64.50	89.55	78.38
2002	32.93	60.31	131.04	87.14	25.82	6.32	8.93	0.59	23.05	112.92	90.80	100.04
2003	43.75	58.12	77.33	62.38	25.55	42.66	1.26	3.57	34.17	56.64	49.80	63.39
2004	39.06	35.49	64.89	53.61	30.88	5.88	11.35	5.43	35.47	74.20	104.94	93.16
2005	66.12	77.51	152.95	34.33	20.13	6.87	2.77	4.33	23.38	136.24	33.73	115.38
2006	55.44	68.32	178.50	44.51	6.82	24.58	6.76	0.86	52.06	56.18	72.02	75.12
2007	65.81	14.96	141.30	84.71	30.60	3.53	5.74	6.56	26.02	89.17	98.26	82.08
2008	61.55	101.32	105.01	74.35	38.57	24.73	2.36	16.16	27.89	91.97	81.60	25.49
2009	133.86	51.66	117.37	85.83	51.61	15.61	7.23	0.73	30.55	85.13	97.97	79.42
2010	46.62	67.86	99.91	38.45	38.73	17.91	6.97	1.13	29.71	55.19	72.11	85.59
2011	77.26	61.99	94.76	83.52	11.99	3.47	8.39	2.96	38.27	37.14	68.62	127.83
2012	114.60	88.02	90.82	70.95	36.30	3.66	0.96	1.61	10.52	79.28	108.28	60.21
2013	41.73	64.16	162.91	51.27	57.39	14.11	5.63	14.03	4.07	100.05	15.90	86.60
2014	53.53	79.78	90.54	48.19	56.62	4.84	1.31	1.79	26.95	50.00	57.54	86.18
2015	110.58	37.96	129.69	58.93	68.15	12.56	2.71	5.79	5.40	23.96	82.02	57.75
2016	65.90	75.95	65.64	24.26	8.51	3.06	1.39	0.73	32.92	58.05	21.98	124.34
2017	83.72	61.93	80.94	34.81	37.06	19.69	2.65	14.77	31.70	94.47	63.55	58.35
MEDIA	56.61	69.25	97.53	58.89	30.87	13.22	5.41	6.15	27.32	61.69	64.75	74.34
DES. E	27.90	30.97	33.71	19.05	14.56	10.41	4.08	5.15	16.16	32.01	27.15	27.41
MIN	9.43	14.96	38.94	24.26	6.82	0.65	0.10	0.49	1.21	1.36	15.90	16.75
MAX	137.15	198.07	178.50	102.59	68.15	42.66	16.25	18.46	72.16	136.24	136.55	130.54

A.3. REGISTRO DE AFOROS REALIZADOS

Aforos del río Chugurmayo.

CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIANTE EL AFORO CON EL CORRENTÓMETRO EN EL “RÍO CHUGURMAYO”

Lugar: Río Chugurmayo
 Ubicación:
 ESTE 803259 m
 NORTE 9239595 m
 ALTITUD 2058 m.s.n.m.
 Fecha de aforo: C/05/02/17
 Hora del aforo: 3:30:00 p. m.
 Clima: Nublado
 Agua: Clara
 Tesista: MARCHENA ESTRADA, Hermán Rober

Fórmula a usar: $Q = V * A$

FORMATO DE AFORO DEL RIO CHUGURMAYO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Altura Total Yi (m)	Vel. máx Vi (m/s)	Vel. med Vi (m/s)	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Marg. derecha	0	0.000	0.200	0.200	0.200	0.000	0.000	0.000
1	0.4	0.400	0.370	0.300	0.300	0.148	0.044	0.044
2	0.4	0.800	0.540	0.400	0.400	0.216	0.086	0.086
3	0.4	1.200	0.560	0.500	0.400	0.224	0.112	0.090
4	0.4	1.600	1.000	1.000	0.800	0.400	0.400	0.320
5	0.4	2.000	0.980	1.000	0.800	0.392	0.392	0.314
6	0.4	2.400	1.180	1.100	0.900	0.472	0.519	0.425
7	0.4	2.800	1.240	1.100	1.000	0.496	0.546	0.496
8	0.4	3.200	0.950	0.900	0.800	0.380	0.342	0.304
9	0.4	3.600	0.820	0.900	0.900	0.328	0.295	0.295
10	0.4	4.000	0.710	0.800	0.700	0.284	0.227	0.199
11	0.4	4.400	0.470	0.700	0.600	0.188	0.132	0.113
12	0.4	4.800	0.580	0.400	0.300	0.232	0.093	0.070
13	0.4	5.200	0.290	0.200	0.200	0.116	0.023	0.023
Marg. izquierda	0.31	5.510	0.120	0.100	0.100	0.037	0.004	0.004
	Total	5.510			Total	3.913	3.215	2.782

A.4. Resumen de aforos de la cuenca Chonta

Tabla 33: Caudales promedio del río Chugurmayo (m³/s) periodo 2017 - 2018.

CAUDALES AFORADOS 2017 -2018				
AÑO	MES	FECHA	Q (m3/s)	Q(m3/s)
2017	FEBRERO	5/02/2017	3.131	2.72
		12/02/2017	2.398	
		19/02/2017	2.653	
		26/02/2017	2.71	
	MARZO	5/03/2017	2.403	2.41
		12/03/2017	2.421	
		19/03/2017	2.322	
		26/03/2017	2.501	
	ABRIL	2/04/2017	2.301	2.08
		9/04/2017	2.21	
		16/04/2017	2.122	
		23/04/2017	2.004	
		30/04/2017	1.787	
	MAYO	7/05/2017	1.553	1.23
		14/05/2017	1.281	
		21/05/2017	0.917	
		28/05/2017	1.172	
	JUNIO	4/06/2017	0.906	0.92
		11/06/2017	1.101	
		18/06/2017	0.972	
		25/06/2017	0.717	
	JULIO	2/07/2017	0.716	0.69
		9/07/2017	0.707	
		16/07/2017	0.672	
		23/07/2017	0.694	
		30/07/2017	0.677	
	AGOSTO	6/08/2017	0.663	0.65
		13/08/2017	0.642	
		20/08/2017	0.639	
		27/08/2017	0.642	
	SETIEMBRE	3/09/2017	0.694	0.77
		10/09/2017	0.698	
17/09/2017		0.795		
24/09/2017		0.891		
OCTUBRE	1/10/2017	1.009	1.17	
	8/10/2017	1.328		
DICIEMBRE	10/12/2017	1.646	1.64	
	17/12/2017	1.566		
	24/12/2017	1.718		

Figura 20: Aforos del rio Chugurmayo.



Figura 21: Aforos del rio Chugurmayo.



A.5. Caudales medios mensuales generados para el río Chugurmayo.

Tabla 34: Número aleatorios para la planilla de precipitación con distribución Normal, con media 0 y desviación estándar 1 (z)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1968	1.788	-0.706	0.378	2.415	1.375	0.838	-1.240	-1.689	1.371	1.489	-0.045	-1.256
1969	0.478	-0.509	0.730	0.498	0.321	-0.520	0.099	-0.239	-0.139	0.787	0.781	-1.462
1970	1.014	0.315	-0.156	0.563	0.573	0.714	-0.444	-0.247	0.573	-1.244	0.298	0.030
1971	0.368	-2.149	-0.110	-0.272	0.054	0.470	2.041	-2.056	0.823	-0.964	-0.526	0.328
1972	0.094	-0.238	0.414	1.169	-1.332	1.344	-0.233	0.188	-1.892	0.019	1.443	-0.071
1973	1.070	1.062	-0.830	-0.825	-0.356	-1.779	-0.894	1.098	2.591	-2.599	0.153	-0.659
1974	-0.722	-1.001	-1.058	-0.334	-0.567	1.018	0.046	-1.270	-1.594	-1.615	-1.480	0.649
1975	0.891	-1.415	-1.251	-0.617	-0.215	-0.095	-0.913	2.390	0.054	1.761	-0.515	0.129
1976	0.553	1.001	-0.931	0.943	1.184	-0.579	-1.153	0.752	1.161	-1.039	1.141	0.586
1977	0.523	1.721	0.921	-0.962	-0.647	-0.658	2.050	0.258	-1.777	-0.652	-0.778	-0.318
1978	0.225	1.969	2.251	-0.957	-0.619	0.379	-0.966	-1.423	-1.238	0.624	-0.868	0.985
1979	-0.687	-0.618	-1.126	-0.676	0.843	1.020	0.988	-0.523	0.288	-1.940	1.217	-1.757
1980	0.701	-0.176	-0.287	0.592	-0.763	-0.463	-0.330	-0.609	0.439	1.575	1.358	0.146
1981	0.490	-0.270	0.290	0.187	-0.172	-0.425	0.311	2.239	-1.543	-0.544	1.007	-1.095
1982	1.220	1.019	-0.006	2.274	0.340	-0.045	0.463	-1.366	0.512	-0.246	-1.492	-1.947
1983	1.069	-1.612	-0.080	-0.025	-0.504	0.423	-0.517	-0.340	-0.242	0.205	0.659	2.299
1984	-1.349	0.451	0.335	-1.966	-0.431	0.231	0.875	-1.670	0.145	-1.023	-1.356	-0.461
1985	-0.262	0.416	-0.167	0.966	0.656	-0.244	0.202	-1.364	-0.092	-1.078	0.517	0.589
1986	0.472	1.024	-0.567	-0.096	-1.475	0.000	1.577	-0.186	-2.114	-0.901	-0.960	-0.375
1987	-1.291	-0.515	1.063	0.672	0.685	-0.922	0.326	-0.011	0.185	0.863	0.458	1.783
1988	-1.237	-1.478	-0.635	-1.093	0.232	-0.928	0.066	0.886	0.014	0.268	0.740	-0.349
1989	-0.331	-0.398	1.124	-1.056	0.489	0.537	1.801	-1.797	-0.192	-0.060	-1.327	-0.970
1990	1.683	0.637	1.391	-0.363	1.098	-1.513	-0.803	-0.488	0.057	-0.141	-0.718	-1.495
1991	0.940	0.419	0.538	0.717	-2.008	-0.101	-0.129	-0.671	-2.027	-0.774	-0.074	0.158
1992	-1.275	-0.044	0.072	0.801	-0.231	-1.525	1.327	-0.309	-0.961	-1.597	0.099	-0.211
1993	3.377	-0.016	-1.162	1.166	-0.657	1.981	-0.247	-0.196	0.778	-2.685	-0.635	0.624
1994	-2.469	-0.427	0.812	1.728	0.739	-1.126	1.907	-0.671	0.807	-0.953	-1.018	2.136
1995	-0.903	1.438	1.935	0.314	1.527	0.702	1.057	0.964	0.654	-1.620	0.764	0.875
1996	-1.258	0.055	-0.142	-0.246	-1.264	0.034	0.030	-1.771	0.721	0.159	-1.619	1.962
1997	-0.266	2.394	1.174	1.547	0.908	0.942	1.372	0.390	1.332	0.938	-0.700	-0.545
1998	-0.438	1.196	-2.415	-0.190	1.225	0.278	0.929	-0.221	-0.258	-0.404	0.932	1.114
1999	-0.080	-0.224	-1.689	-1.047	-1.112	1.193	-0.623	-0.128	0.543	0.318	2.129	0.029
2000	0.774	1.387	0.426	-0.054	0.763	-0.154	1.617	1.524	1.677	1.142	1.430	0.436
2001	-0.632	1.537	-0.880	-1.029	2.840	-1.236	0.807	-0.442	0.213	0.922	0.637	0.493
2002	-0.048	-0.149	-0.679	-0.905	0.113	0.693	-0.380	-2.340	0.853	-0.488	-1.747	0.861
2003	-2.207	-0.406	0.262	-0.646	1.540	0.186	-0.500	0.509	0.590	0.576	-1.368	0.374
2004	-0.538	1.234	-0.340	1.736	-0.871	0.761	0.658	-0.135	0.544	0.792	0.242	0.346
2005	0.783	-2.084	-0.423	0.335	0.109	-0.549	-0.104	0.336	1.138	-2.042	-2.459	-1.161
2006	1.654	-0.706	0.385	-0.553	-1.022	0.089	-2.705	0.442	-0.795	-0.940	-0.349	0.208
2007	-1.545	-0.794	0.006	-0.363	-0.698	1.155	0.484	1.422	-0.456	1.663	0.172	0.613
2008	-0.876	0.091	-1.187	0.282	0.359	1.102	-0.721	0.113	-0.886	0.082	-0.783	1.278
2009	-0.060	1.191	0.570	-1.001	-0.818	1.001	-0.337	0.475	2.532	1.991	0.610	0.055
2010	-1.643	-1.442	0.465	0.900	-1.262	-3.016	1.768	0.899	-0.090	-1.089	2.871	-1.603
2011	0.344	-0.947	0.379	0.525	-0.314	0.044	-1.564	0.310	0.361	-0.995	-0.594	-0.854
2012	-0.641	-0.883	0.680	-0.256	0.933	0.901	-0.192	-0.882	0.313	-1.029	0.039	0.654
2013	-1.361	0.047	0.555	0.138	0.294	0.235	1.081	1.471	-0.826	-1.058	1.189	1.396
2014	0.762	0.435	-2.418	-0.796	0.330	0.440	-2.049	-1.883	1.241	1.367	0.427	0.065
2015	-0.211	-0.284	1.114	0.731	2.180	-0.573	1.389	0.805	-0.608	0.714	-0.550	0.739
2016	-0.184	0.854	-0.686	1.075	0.612	1.250	1.093	0.486	-0.922	1.097	0.457	-1.364
2017	-0.114	0.319	0.162	-1.565	-1.036	-1.155	-1.722	0.038	0.427	-0.655	0.310	0.927

Tabla 35: Caudales medios mensuales (mm/mes) generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1968	50.03	58.35	63.19	47.11	35.62	21.40	10.90	12.32	52.74	53.61	53.50	61.14
1969	28.45	60.58	68.63	78.77	31.73	38.38	18.11	12.03	26.87	66.05	100.94	106.66
1970	87.02	50.57	65.91	53.86	36.58	31.33	15.89	12.03	27.11	65.68	57.34	73.72
1971	58.45	58.06	109.24	67.43	40.55	26.86	22.95	9.17	23.03	45.21	46.80	69.46
1972	45.87	47.87	89.75	85.67	45.39	24.68	12.73	19.49	30.50	24.99	74.38	54.90
1973	62.29	52.28	68.96	78.83	40.37	22.64	16.81	19.81	50.28	38.10	53.58	62.46
1974	42.05	81.95	83.93	47.36	23.83	31.42	20.18	18.39	20.69	53.23	42.59	52.19
1975	48.81	85.06	98.56	72.28	60.18	31.93	21.12	27.48	29.04	53.02	43.34	33.70
1976	54.90	55.63	88.08	53.80	52.39	30.55	12.15	15.34	22.92	28.95	31.76	47.28
1977	71.84	88.94	71.58	42.45	31.61	20.01	22.22	13.57	24.45	35.76	53.52	47.23
1978	32.93	38.66	57.15	46.68	37.92	18.60	17.45	7.40	18.60	41.66	43.61	65.37
1979	43.64	59.02	106.42	61.81	41.24	20.07	18.85	21.45	47.91	13.39	38.68	30.98
1980	35.20	37.54	73.56	47.77	43.78	20.99	12.83	11.12	13.84	96.50	117.59	85.78
1981	52.39	81.20	61.76	50.62	41.60	26.87	17.38	26.05	15.71	64.40	75.24	88.59
1982	53.83	52.47	59.63	58.30	43.71	27.59	17.90	11.63	44.03	100.43	70.87	80.05
1983	74.80	38.36	90.68	73.75	42.87	24.89	14.61	12.42	20.03	39.80	41.46	84.80
1984	40.90	102.56	85.75	60.25	50.76	35.77	28.03	15.58	13.27	50.49	49.92	63.87
1985	39.47	50.32	62.26	56.21	31.46	18.02	16.04	14.21	27.11	22.52	37.97	54.28
1986	59.90	58.18	70.52	72.36	38.64	17.53	17.44	17.55	5.85	28.19	55.76	53.99
1987	68.53	54.43	67.61	61.55	32.73	16.56	19.48	14.44	27.48	43.25	68.32	76.94
1988	70.56	61.16	44.73	57.59	31.51	13.19	12.00	16.43	24.10	37.65	50.13	52.61
1989	47.06	69.11	90.15	66.16	36.26	22.79	20.64	7.63	25.23	60.64	40.42	27.04
1990	41.20	55.98	61.81	50.76	39.67	24.76	11.37	13.19	24.25	67.51	90.36	54.32
1991	39.51	50.08	96.91	60.29	24.92	16.64	12.59	10.84	14.24	18.19	35.78	60.55
1992	36.32	33.79	41.12	46.82	31.04	24.17	18.70	14.20	33.77	47.10	37.35	49.49
1993	58.96	55.80	98.23	78.39	37.28	25.92	12.98	12.76	29.82	50.55	57.41	82.28
1994	69.17	71.40	88.17	95.80	48.32	18.67	19.88	10.47	24.05	28.51	53.88	72.02
1995	36.06	63.29	79.01	54.44	40.45	23.86	20.64	15.41	24.03	30.87	48.00	74.56
1996	47.07	64.72	69.12	56.67	22.71	18.56	13.45	8.57	21.16	50.77	34.85	31.30
1997	32.37	61.43	48.78	53.69	31.63	20.83	16.31	13.31	21.33	44.65	63.15	71.62
1998	64.28	82.17	96.95	84.04	54.09	21.83	15.03	10.60	19.56	70.60	62.53	51.54
1999	66.38	144.08	77.82	55.90	47.77	45.25	23.10	15.05	56.85	39.09	74.18	101.12
2000	60.10	97.00	105.49	68.50	51.99	35.06	20.92	24.51	58.71	27.06	41.68	76.38
2001	107.55	78.20	118.96	62.11	55.02	17.53	20.40	11.33	20.94	54.57	76.89	74.67
2002	44.52	54.24	98.59	80.95	42.03	22.80	16.88	4.66	25.06	81.29	76.80	89.10
2003	48.19	52.98	67.89	59.41	41.11	43.54	16.54	14.74	33.45	51.57	45.81	57.96
2004	43.05	42.62	56.08	58.25	37.10	21.60	21.13	15.06	34.20	63.21	87.21	85.72
2005	69.96	65.03	115.33	55.79	32.76	17.39	12.65	13.81	28.18	91.87	41.90	84.69
2006	65.68	62.40	132.86	63.49	23.00	27.96	9.93	11.36	39.69	48.28	61.75	68.37
2007	59.01	27.67	100.85	81.55	42.75	22.58	17.39	19.45	26.45	73.23	85.17	79.19
2008	60.81	83.99	87.83	74.06	49.05	36.96	15.07	21.02	26.71	70.40	71.45	43.06
2009	99.59	65.39	96.34	79.35	54.88	32.37	18.14	13.25	36.55	73.99	86.44	76.21
2010	48.67	56.08	83.13	52.62	39.52	18.55	20.97	15.38	28.86	44.76	70.40	71.52
2011	72.32	59.30	80.43	78.74	31.74	16.79	11.72	12.68	34.85	35.26	55.96	96.49
2012	98.20	81.47	83.94	69.50	48.28	23.19	12.60	8.56	16.64	57.02	87.27	66.29
2013	44.21	57.12	122.53	67.32	58.94	30.13	20.78	24.98	13.07	68.95	36.31	73.11
2014	59.25	71.34	72.41	51.24	54.90	24.09	7.60	4.61	28.59	48.66	55.16	73.27
2015	91.67	50.82	102.21	69.14	71.51	29.68	19.78	17.72	12.87	27.09	62.50	59.36
2016	60.99	70.59	61.92	39.53	23.34	18.14	15.46	12.67	27.80	52.67	34.21	87.88
2017	78.70	64.42	72.43	40.74	36.43	24.38	9.45	18.66	32.36	71.08	63.65	60.54
PROM	57.45	63.31	81.90	62.59	40.86	24.91	16.74	14.49	27.70	51.05	58.92	66.91
DES.E	18.26	19.60	20.59	13.10	10.50	7.14	4.19	5.06	11.35	19.81	19.29	18.07
MIN	28.45	27.67	41.12	39.53	22.71	13.19	7.60	4.61	5.85	13.39	31.76	27.04
MAX	107.55	144.08	132.86	95.80	71.51	45.25	28.03	27.48	58.71	100.43	117.59	106.66

Tabla 36: Caudales medios mensuales (m³/s) generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1968	1.35	1.75	1.71	1.32	0.96	0.60	0.29	0.33	1.47	1.45	1.49	1.65
1969	0.77	1.81	1.85	2.20	0.86	1.07	0.49	0.32	0.75	1.78	2.82	2.88
1970	2.35	1.51	1.78	1.50	0.99	0.87	0.43	0.32	0.76	1.77	1.60	1.99
1971	1.58	1.74	2.95	1.88	1.10	0.75	0.62	0.25	0.64	1.22	1.31	1.88
1972	1.24	1.43	2.42	2.39	1.23	0.69	0.34	0.53	0.85	0.68	2.08	1.48
1973	1.68	1.56	1.86	2.20	1.09	0.63	0.45	0.54	1.40	1.03	1.50	1.69
1974	1.14	2.45	2.27	1.32	0.64	0.88	0.55	0.50	0.58	1.44	1.19	1.41
1975	1.32	2.54	2.66	2.02	1.63	0.89	0.57	0.74	0.81	1.43	1.21	0.91
1976	1.48	1.66	2.38	1.50	1.42	0.85	0.33	0.41	0.64	0.78	0.89	1.28
1977	1.94	2.66	1.93	1.18	0.85	0.56	0.60	0.37	0.68	0.97	1.49	1.28
1978	0.89	1.16	1.54	1.30	1.02	0.52	0.47	0.20	0.52	1.13	1.22	1.77
1979	1.18	1.77	2.88	1.73	1.11	0.56	0.51	0.58	1.34	0.36	1.08	0.84
1980	0.95	1.12	1.99	1.33	1.18	0.59	0.35	0.30	0.39	2.61	3.28	2.32
1981	1.42	2.43	1.67	1.41	1.12	0.75	0.47	0.70	0.44	1.74	2.10	2.39
1982	1.45	1.57	1.61	1.63	1.18	0.77	0.48	0.31	1.23	2.71	1.98	2.16
1983	2.02	1.15	2.45	2.06	1.16	0.69	0.39	0.34	0.56	1.08	1.16	2.29
1984	1.10	3.07	2.32	1.68	1.37	1.00	0.76	0.42	0.37	1.36	1.39	1.73
1985	1.07	1.50	1.68	1.57	0.85	0.50	0.43	0.38	0.76	0.61	1.06	1.47
1986	1.62	1.74	1.91	2.02	1.04	0.49	0.47	0.47	0.16	0.76	1.56	1.46
1987	1.85	1.63	1.83	1.72	0.88	0.46	0.53	0.39	0.77	1.17	1.91	2.08
1988	1.91	1.83	1.21	1.61	0.85	0.37	0.32	0.44	0.67	1.02	1.40	1.42
1989	1.27	2.07	2.44	1.85	0.98	0.64	0.56	0.21	0.70	1.64	1.13	0.73
1990	1.11	1.67	1.67	1.42	1.07	0.69	0.31	0.36	0.68	1.82	2.52	1.47
1991	1.07	1.50	2.62	1.68	0.67	0.46	0.34	0.29	0.40	0.49	1.00	1.64
1992	0.98	1.01	1.11	1.31	0.84	0.67	0.51	0.38	0.94	1.27	1.04	1.34
1993	1.59	1.67	2.65	2.19	1.01	0.72	0.35	0.34	0.83	1.37	1.60	2.22
1994	1.87	2.14	2.38	2.67	1.31	0.52	0.54	0.28	0.67	0.77	1.50	1.95
1995	0.97	1.89	2.13	1.52	1.09	0.67	0.56	0.42	0.67	0.83	1.34	2.01
1996	1.27	1.94	1.87	1.58	0.61	0.52	0.36	0.23	0.59	1.37	0.97	0.85
1997	0.87	1.84	1.32	1.50	0.85	0.58	0.44	0.36	0.60	1.21	1.76	1.93
1998	1.74	2.46	2.62	2.35	1.46	0.61	0.41	0.29	0.55	1.91	1.75	1.39
1999	1.79	4.31	2.10	1.56	1.29	1.26	0.62	0.41	1.59	1.06	2.07	2.73
2000	1.62	2.90	2.85	1.91	1.40	0.98	0.57	0.66	1.64	0.73	1.16	2.06
2001	2.91	2.34	3.21	1.73	1.49	0.49	0.55	0.31	0.58	1.47	2.15	2.02
2002	1.20	1.62	2.66	2.26	1.14	0.64	0.46	0.13	0.70	2.20	2.14	2.41
2003	1.30	1.58	1.83	1.66	1.11	1.22	0.45	0.40	0.93	1.39	1.28	1.57
2004	1.16	1.27	1.52	1.63	1.00	0.60	0.57	0.41	0.95	1.71	2.43	2.32
2005	1.89	1.94	3.12	1.56	0.88	0.49	0.34	0.37	0.79	2.48	1.17	2.29
2006	1.77	1.87	3.59	1.77	0.62	0.78	0.27	0.31	1.11	1.30	1.72	1.85
2007	1.59	0.83	2.72	2.28	1.15	0.63	0.47	0.53	0.74	1.98	2.38	2.14
2008	1.64	2.51	2.37	2.07	1.33	1.03	0.41	0.57	0.75	1.90	1.99	1.16
2009	2.69	1.96	2.60	2.22	1.48	0.90	0.49	0.36	1.02	2.00	2.41	2.06
2010	1.31	1.68	2.25	1.47	1.07	0.52	0.57	0.42	0.81	1.21	1.97	1.93
2011	1.95	1.77	2.17	2.20	0.86	0.47	0.32	0.34	0.97	0.95	1.56	2.61
2012	2.65	2.44	2.27	1.94	1.30	0.65	0.34	0.23	0.46	1.54	2.44	1.79
2013	1.19	1.71	3.31	1.88	1.59	0.84	0.56	0.67	0.36	1.86	1.01	1.98
2014	1.60	2.13	1.96	1.43	1.48	0.67	0.21	0.12	0.80	1.31	1.54	1.98
2015	2.48	1.52	2.76	1.93	1.93	0.83	0.53	0.48	0.36	0.73	1.74	1.60
2016	1.65	2.11	1.67	1.10	0.63	0.51	0.42	0.34	0.78	1.42	0.95	2.37
2017	2.13	1.93	1.96	1.14	0.98	0.68	0.26	0.50	0.90	1.92	1.78	1.64
PROM	1.55	1.89	2.21	1.75	1.10	0.70	0.45	0.39	0.77	1.38	1.64	1.81
DES.E	0.49	0.59	0.56	0.37	0.28	0.20	0.11	0.14	0.32	0.54	0.54	0.49
MIN	0.77	0.83	1.11	1.10	0.61	0.37	0.21	0.12	0.16	0.36	0.89	0.73
MAX	2.91	4.31	3.59	2.67	1.93	1.26	0.76	0.74	1.64	2.71	3.28	2.88

Tabla 37: Caudales medios mensuales (MMC) generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1968	3.62	4.22	4.57	3.41	2.58	1.55	0.79	0.89	3.82	3.88	3.87	4.42
1969	2.06	4.38	4.97	5.70	2.30	2.78	1.31	0.87	1.94	4.78	7.30	7.72
1970	6.30	3.66	4.77	3.90	2.65	2.27	1.15	0.87	1.96	4.75	4.15	5.33
1971	4.23	4.20	7.90	4.88	2.93	1.94	1.66	0.66	1.67	3.27	3.39	5.03
1972	3.32	3.46	6.49	6.20	3.28	1.79	0.92	1.41	2.21	1.81	5.38	3.97
1973	4.51	3.78	4.99	5.70	2.92	1.64	1.22	1.43	3.64	2.76	3.88	4.52
1974	3.04	5.93	6.07	3.43	1.72	2.27	1.46	1.33	1.50	3.85	3.08	3.78
1975	3.53	6.16	7.13	5.23	4.35	2.31	1.53	1.99	2.10	3.84	3.14	2.44
1976	3.97	4.03	6.37	3.89	3.79	2.21	0.88	1.11	1.66	2.09	2.30	3.42
1977	5.20	6.44	5.18	3.07	2.29	1.45	1.61	0.98	1.77	2.59	3.87	3.42
1978	2.38	2.80	4.14	3.38	2.74	1.35	1.26	0.54	1.35	3.01	3.16	4.73
1979	3.16	4.27	7.70	4.47	2.98	1.45	1.36	1.55	3.47	0.97	2.80	2.24
1980	2.55	2.72	5.32	3.46	3.17	1.52	0.93	0.80	1.00	6.98	8.51	6.21
1981	3.79	5.88	4.47	3.66	3.01	1.94	1.26	1.89	1.14	4.66	5.44	6.41
1982	3.89	3.80	4.31	4.22	3.16	2.00	1.29	0.84	3.19	7.27	5.13	5.79
1983	5.41	2.78	6.56	5.34	3.10	1.80	1.06	0.90	1.45	2.88	3.00	6.14
1984	2.96	7.42	6.21	4.36	3.67	2.59	2.03	1.13	0.96	3.65	3.61	4.62
1985	2.86	3.64	4.51	4.07	2.28	1.30	1.16	1.03	1.96	1.63	2.75	3.93
1986	4.33	4.21	5.10	5.24	2.80	1.27	1.26	1.27	0.42	2.04	4.03	3.91
1987	4.96	3.94	4.89	4.45	2.37	1.20	1.41	1.04	1.99	3.13	4.94	5.57
1988	5.11	4.43	3.24	4.17	2.28	0.95	0.87	1.19	1.74	2.72	3.63	3.81
1989	3.41	5.00	6.52	4.79	2.62	1.65	1.49	0.55	1.83	4.39	2.92	1.96
1990	2.98	4.05	4.47	3.67	2.87	1.79	0.82	0.95	1.75	4.88	6.54	3.93
1991	2.86	3.62	7.01	4.36	1.80	1.20	0.91	0.78	1.03	1.32	2.59	4.38
1992	2.63	2.45	2.98	3.39	2.25	1.75	1.35	1.03	2.44	3.41	2.70	3.58
1993	4.27	4.04	7.11	5.67	2.70	1.88	0.94	0.92	2.16	3.66	4.15	5.95
1994	5.01	5.17	6.38	6.93	3.50	1.35	1.44	0.76	1.74	2.06	3.90	5.21
1995	2.61	4.58	5.72	3.94	2.93	1.73	1.49	1.12	1.74	2.23	3.47	5.40
1996	3.41	4.68	5.00	4.10	1.64	1.34	0.97	0.62	1.53	3.67	2.52	2.26
1997	2.34	4.45	3.53	3.89	2.29	1.51	1.18	0.96	1.54	3.23	4.57	5.18
1998	4.65	5.95	7.02	6.08	3.91	1.58	1.09	0.77	1.42	5.11	4.53	3.73
1999	4.80	10.43	5.63	4.05	3.46	3.27	1.67	1.09	4.11	2.83	5.37	7.32
2000	4.35	7.02	7.63	4.96	3.76	2.54	1.51	1.77	4.25	1.96	3.02	5.53
2001	7.78	5.66	8.61	4.49	3.98	1.27	1.48	0.82	1.52	3.95	5.56	5.40
2002	3.22	3.92	7.13	5.86	3.04	1.65	1.22	0.34	1.81	5.88	5.56	6.45
2003	3.49	3.83	4.91	4.30	2.98	3.15	1.20	1.07	2.42	3.73	3.31	4.19
2004	3.12	3.08	4.06	4.21	2.68	1.56	1.53	1.09	2.47	4.57	6.31	6.20
2005	5.06	4.71	8.35	4.04	2.37	1.26	0.92	1.00	2.04	6.65	3.03	6.13
2006	4.75	4.51	9.61	4.59	1.66	2.02	0.72	0.82	2.87	3.49	4.47	4.95
2007	4.27	2.00	7.30	5.90	3.09	1.63	1.26	1.41	1.91	5.30	6.16	5.73
2008	4.40	6.08	6.36	5.36	3.55	2.67	1.09	1.52	1.93	5.09	5.17	3.12
2009	7.21	4.73	6.97	5.74	3.97	2.34	1.31	0.96	2.64	5.35	6.25	5.51
2010	3.52	4.06	6.02	3.81	2.86	1.34	1.52	1.11	2.09	3.24	5.09	5.18
2011	5.23	4.29	5.82	5.70	2.30	1.22	0.85	0.92	2.52	2.55	4.05	6.98
2012	7.11	5.90	6.07	5.03	3.49	1.68	0.91	0.62	1.20	4.13	6.31	4.80
2013	3.20	4.13	8.87	4.87	4.26	2.18	1.50	1.81	0.95	4.99	2.63	5.29
2014	4.29	5.16	5.24	3.71	3.97	1.74	0.55	0.33	2.07	3.52	3.99	5.30
2015	6.63	3.68	7.40	5.00	5.17	2.15	1.43	1.28	0.93	1.96	4.52	4.30
2016	4.41	5.11	4.48	2.86	1.69	1.31	1.12	0.92	2.01	3.81	2.48	6.36
2017	5.69	4.66	5.24	2.95	2.64	1.76	0.68	1.35	2.34	5.14	4.61	4.38
PROM	4.16	4.58	5.93	4.53	2.96	1.80	1.21	1.05	2.00	3.69	4.26	4.84
DES.E	1.32	1.42	1.49	0.95	0.76	0.52	0.30	0.37	0.82	1.43	1.40	1.31
MIN	2.06	2.00	2.98	2.86	1.64	0.95	0.55	0.33	0.42	0.97	2.30	1.96
MAX	7.78	10.43	9.61	6.93	5.17	3.27	2.03	1.99	4.25	7.27	8.51	7.72

A.6. Prueba de bondad de ajuste del registro de caudales.

MES: ENERO

N = 50 Δ_{max} 0.0937
 \bar{x} = 1.55 α 5%
S= 0.49 Δ_o 0.192
 Δ_{max} < Δ_o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z= (X- \bar{x})/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.77	0.02	-1.5880	0.0561	0.0365
2	0.87	0.04	-1.3736	0.0848	0.0456
3	0.89	0.06	-1.3431	0.0896	0.0308
4	0.95	0.08	-1.2183	0.1116	0.0331
5	0.97	0.10	-1.1716	0.1207	0.0226
6	0.98	0.12	-1.1573	0.1236	0.0059
7	1.07	0.14	-0.9849	0.1623	0.0251
8	1.07	0.16	-0.9825	0.1629	0.0061
9	1.10	0.18	-0.9064	0.1824	0.0059
10	1.11	0.20	-0.8897	0.1868	0.0093
11	1.14	0.22	-0.8432	0.1996	0.0161
12	1.16	0.24	-0.7884	0.2152	0.0201
13	1.18	0.25	-0.7565	0.2247	0.0302
14	1.19	0.27	-0.7252	0.2342	0.0404
15	1.20	0.29	-0.7084	0.2394	0.0548
16	1.24	0.31	-0.6343	0.2629	0.0508
17	1.27	0.33	-0.5690	0.2847	0.0487
18	1.27	0.35	-0.5685	0.2849	0.0681
19	1.30	0.37	-0.5070	0.3061	0.0665
20	1.31	0.39	-0.4811	0.3152	0.0769
21	1.32	0.41	-0.4733	0.3180	0.0937
22	1.35	0.43	-0.4065	0.3422	0.0892
23	1.42	0.45	-0.2775	0.3907	0.0603
24	1.45	0.47	-0.1986	0.4213	0.0493
25	1.48	0.49	-0.1398	0.4444	0.0458
26	1.58	0.51	0.0545	0.5217	0.0119
27	1.59	0.53	0.0823	0.5328	0.0034
28	1.59	0.55	0.0853	0.5340	0.0150
29	1.60	0.57	0.0983	0.5391	0.0295
30	1.62	0.59	0.1339	0.5533	0.0350
31	1.62	0.61	0.1448	0.5576	0.0503
32	1.64	0.63	0.1836	0.5728	0.0546
33	1.65	0.65	0.1934	0.5767	0.0704
34	1.68	0.67	0.2648	0.6044	0.0623
35	1.74	0.69	0.3735	0.6456	0.0407
36	1.77	0.71	0.4502	0.6737	0.0322
37	1.79	0.73	0.4889	0.6875	0.0380
38	1.85	0.75	0.6062	0.7278	0.0173
39	1.87	0.76	0.6415	0.7394	0.0253
40	1.89	0.78	0.6850	0.7533	0.0310
41	1.91	0.80	0.7177	0.7635	0.0404
42	1.94	0.82	0.7878	0.7846	0.0389
43	1.95	0.84	0.8138	0.7921	0.0510
44	2.02	0.86	0.9497	0.8289	0.0339
45	2.13	0.88	1.1634	0.8777	0.0047
46	2.35	0.90	1.6192	0.9473	0.0453
47	2.48	0.92	1.8735	0.9695	0.0479
48	2.65	0.94	2.2312	0.9872	0.0460
49	2.69	0.96	2.3069	0.9895	0.0287
50	2.91	0.98	2.7433	0.9970	0.0166

MES: FEBRERO

N = 50 $\Delta \max$ 0.1440
 \bar{x} = 1.89 α 5%
 S= 0.59 Δo 0.192
 $\Delta \max$ < Δo **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X- \bar{x})/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.83	0.02	-1.8188	0.0345	0.0149
2	1.01	0.04	-1.5065	0.0660	0.0268
3	1.12	0.06	-1.3150	0.0943	0.0354
4	1.15	0.08	-1.2735	0.1014	0.0230
5	1.16	0.10	-1.2579	0.1042	0.0062
6	1.27	0.12	-1.0559	0.1455	0.0279
7	1.43	0.14	-0.7880	0.2153	0.0781
8	1.50	0.16	-0.6750	0.2498	0.0930
9	1.50	0.18	-0.6633	0.2536	0.0771
10	1.51	0.20	-0.6505	0.2577	0.0616
11	1.52	0.22	-0.6377	0.2618	0.0461
12	1.56	0.24	-0.5630	0.2867	0.0514
13	1.57	0.25	-0.5534	0.2900	0.0351
14	1.58	0.27	-0.5272	0.2990	0.0245
15	1.62	0.29	-0.4629	0.3217	0.0276
16	1.63	0.31	-0.4535	0.3251	0.0114
17	1.66	0.33	-0.3919	0.3476	0.0142
18	1.67	0.35	-0.3836	0.3506	0.0023
19	1.67	0.37	-0.3743	0.3541	0.0184
20	1.68	0.39	-0.3692	0.3560	0.0362
21	1.71	0.41	-0.3158	0.3761	0.0357
22	1.74	0.43	-0.2683	0.3942	0.0371
23	1.74	0.45	-0.2620	0.3967	0.0543
24	1.75	0.47	-0.2531	0.4001	0.0705
25	1.77	0.49	-0.2191	0.4133	0.0769
26	1.77	0.51	-0.2048	0.4189	0.0909
27	1.81	0.53	-0.1393	0.4446	0.0848
28	1.83	0.55	-0.1098	0.4563	0.0927
29	1.84	0.57	-0.0962	0.4617	0.1069
30	1.87	0.59	-0.0468	0.4813	0.1069
31	1.89	0.61	-0.0012	0.4995	0.1083
32	1.93	0.63	0.0564	0.5225	0.1050
33	1.94	0.65	0.0718	0.5286	0.1185
34	1.94	0.67	0.0874	0.5348	0.1319
35	1.96	0.69	0.1062	0.5423	0.1440
36	2.07	0.71	0.2957	0.6163	0.0896
37	2.11	0.73	0.3711	0.6447	0.0808
38	2.13	0.75	0.4093	0.6589	0.0862
39	2.14	0.76	0.4125	0.6600	0.1047
40	2.34	0.78	0.7595	0.7762	0.0081
41	2.43	0.80	0.9126	0.8193	0.0153
42	2.44	0.82	0.9265	0.8229	0.0006
43	2.45	0.84	0.9509	0.8292	0.0140
44	2.46	0.86	0.9622	0.8320	0.0307
45	2.51	0.88	1.0549	0.8543	0.0281
46	2.54	0.90	1.1098	0.8665	0.0355
47	2.66	0.92	1.3078	0.9045	0.0170
48	2.90	0.94	1.7190	0.9572	0.0160
49	3.07	0.96	2.0026	0.9774	0.0166
50	4.31	0.98	4.1212	1.0000	0.0196

MES: MARZO

N = 50 Δ max 0.0890
 □ = 2.21 α 5%
 S = 0.56 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	1.11	0.02	-1.9806	0.0238	0.0042
2	1.21	0.04	-1.8050	0.0355	0.0037
3	1.32	0.06	-1.6087	0.0538	0.0050
4	1.52	0.08	-1.2539	0.1049	0.0265
5	1.54	0.10	-1.2018	0.1147	0.0167
6	1.61	0.12	-1.0817	0.1397	0.0220
7	1.67	0.14	-0.9783	0.1640	0.0267
8	1.67	0.16	-0.9758	0.1646	0.0077
9	1.67	0.18	-0.9703	0.1659	0.0105
10	1.68	0.20	-0.9539	0.1701	0.0260
11	1.71	0.22	-0.9088	0.1817	0.0340
12	1.78	0.24	-0.7768	0.2186	0.0166
13	1.83	0.25	-0.6943	0.2437	0.0112
14	1.83	0.27	-0.6807	0.2480	0.0265
15	1.85	0.29	-0.6446	0.2596	0.0345
16	1.86	0.31	-0.6285	0.2649	0.0489
17	1.87	0.33	-0.6209	0.2673	0.0660
18	1.91	0.35	-0.5527	0.2903	0.0627
19	1.93	0.37	-0.5015	0.3080	0.0645
20	1.96	0.39	-0.4610	0.3224	0.0698
21	1.96	0.41	-0.4600	0.3228	0.0890
22	1.99	0.43	-0.4052	0.3427	0.0887
23	2.10	0.45	-0.1984	0.4214	0.0296
24	2.13	0.47	-0.1404	0.4442	0.0264
25	2.17	0.49	-0.0715	0.4715	0.0187
26	2.25	0.51	0.0594	0.5237	0.0139
27	2.27	0.53	0.0985	0.5392	0.0098
28	2.27	0.55	0.0990	0.5394	0.0096
29	2.32	0.57	0.1869	0.5741	0.0055
30	2.37	0.59	0.2876	0.6132	0.0249
31	2.38	0.61	0.3000	0.6179	0.0101
32	2.38	0.63	0.3044	0.6196	0.0079
33	2.42	0.65	0.3809	0.6484	0.0013
34	2.44	0.67	0.4005	0.6556	0.0110
35	2.45	0.69	0.4263	0.6650	0.0212
36	2.60	0.71	0.7012	0.7584	0.0525
37	2.62	0.73	0.7289	0.7670	0.0415
38	2.62	0.75	0.7306	0.7675	0.0224
39	2.65	0.76	0.7927	0.7860	0.0213
40	2.66	0.78	0.8089	0.7907	0.0064
41	2.66	0.80	0.8101	0.7911	0.0129
42	2.72	0.82	0.9202	0.8213	0.0023
43	2.76	0.84	0.9861	0.8380	0.0052
44	2.85	0.86	1.1453	0.8740	0.0112
45	2.88	0.88	1.1905	0.8831	0.0007
46	2.95	0.90	1.3276	0.9078	0.0059
47	3.12	0.92	1.6230	0.9477	0.0261
48	3.21	0.94	1.7994	0.9640	0.0228
49	3.31	0.96	1.9727	0.9757	0.0149
50	3.59	0.98	2.4745	0.9933	0.0129

MES: ABRIL

N = 50 Δ max 0.0832
 □ = 1.75 α 5%
 S = 0.37 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	1.10	0.02	-1.7603	0.0392	0.0196
2	1.14	0.04	-1.6680	0.0477	0.0084
3	1.18	0.06	-1.5377	0.0621	0.0032
4	1.30	0.08	-1.2144	0.1123	0.0339
5	1.31	0.10	-1.2043	0.1142	0.0162
6	1.32	0.12	-1.1821	0.1186	0.0009
7	1.32	0.14	-1.1631	0.1224	0.0149
8	1.33	0.16	-1.1316	0.1289	0.0280
9	1.41	0.18	-0.9141	0.1803	0.0039
10	1.42	0.20	-0.9034	0.1832	0.0129
11	1.43	0.22	-0.8663	0.1932	0.0225
12	1.47	0.24	-0.7609	0.2233	0.0119
13	1.50	0.25	-0.6796	0.2484	0.0065
14	1.50	0.27	-0.6711	0.2511	0.0234
15	1.50	0.29	-0.6667	0.2525	0.0416
16	1.52	0.31	-0.6224	0.2668	0.0469
17	1.56	0.33	-0.5197	0.3016	0.0317
18	1.56	0.35	-0.5107	0.3048	0.0482
19	1.57	0.37	-0.4875	0.3130	0.0596
20	1.58	0.39	-0.4525	0.3255	0.0667
21	1.61	0.41	-0.3821	0.3512	0.0606
22	1.63	0.43	-0.3317	0.3701	0.0613
23	1.63	0.45	-0.3280	0.3715	0.0795
24	1.66	0.47	-0.2431	0.4040	0.0666
25	1.68	0.49	-0.1789	0.4290	0.0612
26	1.68	0.51	-0.1760	0.4301	0.0797
27	1.72	0.53	-0.0793	0.4684	0.0610
28	1.73	0.55	-0.0600	0.4761	0.0729
29	1.73	0.57	-0.0365	0.4854	0.0832
30	1.77	0.59	0.0681	0.5271	0.0611
31	1.85	0.61	0.2724	0.6073	0.0005
32	1.88	0.63	0.3606	0.6408	0.0134
33	1.88	0.65	0.3693	0.6440	0.0030
34	1.91	0.67	0.4505	0.6738	0.0072
35	1.93	0.69	0.4995	0.6913	0.0050
36	1.94	0.71	0.5272	0.7010	0.0049
37	2.02	0.73	0.7390	0.7700	0.0445
38	2.02	0.75	0.7457	0.7721	0.0270
39	2.06	0.76	0.8513	0.8027	0.0380
40	2.07	0.78	0.8755	0.8093	0.0250
41	2.19	0.80	1.2058	0.8861	0.0821
42	2.20	0.82	1.2327	0.8912	0.0676
43	2.20	0.84	1.2345	0.8915	0.0484
44	2.20	0.86	1.2396	0.8924	0.0297
45	2.22	0.88	1.2791	0.8996	0.0172
46	2.26	0.90	1.4010	0.9194	0.0174
47	2.28	0.92	1.4470	0.9261	0.0045
48	2.35	0.94	1.6370	0.9492	0.0080
49	2.39	0.96	1.7612	0.9609	0.0001
50	2.67	0.98	2.5348	0.9944	0.0140

MES: MAYO

N = 50 $\Delta \max$ 0.0767
 \square = 1.10 α 5%
S = 0.28 Δo 0.192
 $\Delta \max$ < Δo **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X- \square)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.61	0.02	-1.7274	0.0420	0.0224
2	0.62	0.04	-1.7000	0.0446	0.0054
3	0.63	0.06	-1.6679	0.0477	0.0112
4	0.64	0.08	-1.6216	0.0524	0.0260
5	0.67	0.10	-1.5172	0.0646	0.0334
6	0.84	0.12	-0.9347	0.1750	0.0573
7	0.85	0.14	-0.8944	0.1856	0.0483
8	0.85	0.16	-0.8901	0.1867	0.0298
9	0.85	0.18	-0.8807	0.1892	0.0128
10	0.85	0.20	-0.8784	0.1899	0.0062
11	0.86	0.22	-0.8690	0.1924	0.0233
12	0.86	0.24	-0.8679	0.1927	0.0426
13	0.88	0.25	-0.7741	0.2194	0.0355
14	0.88	0.27	-0.7712	0.2203	0.0542
15	0.96	0.29	-0.4983	0.3091	0.0150
16	0.98	0.31	-0.4377	0.3308	0.0171
17	0.98	0.33	-0.4212	0.3368	0.0035
18	0.99	0.35	-0.4076	0.3418	0.0112
19	1.00	0.37	-0.3582	0.3601	0.0124
20	1.01	0.39	-0.3409	0.3666	0.0256
21	1.02	0.41	-0.2800	0.3897	0.0220
22	1.04	0.43	-0.2112	0.4164	0.0150
23	1.07	0.45	-0.1272	0.4494	0.0016
24	1.07	0.47	-0.1128	0.4551	0.0155
25	1.09	0.49	-0.0465	0.4815	0.0087
26	1.09	0.51	-0.0390	0.4845	0.0253
27	1.10	0.53	-0.0294	0.4883	0.0412
28	1.11	0.55	0.0243	0.5097	0.0393
29	1.11	0.57	0.0361	0.5144	0.0542
30	1.12	0.59	0.0700	0.5279	0.0603
31	1.14	0.61	0.1115	0.5444	0.0634
32	1.15	0.63	0.1802	0.5715	0.0560
33	1.16	0.65	0.1913	0.5758	0.0712
34	1.18	0.67	0.2716	0.6070	0.0596
35	1.18	0.69	0.2782	0.6096	0.0767
36	1.23	0.71	0.4309	0.6667	0.0391
37	1.29	0.73	0.6582	0.7448	0.0193
38	1.30	0.75	0.7066	0.7601	0.0150
39	1.31	0.76	0.7104	0.7613	0.0034
40	1.33	0.78	0.7800	0.7823	0.0020
41	1.37	0.80	0.9421	0.8269	0.0230
42	1.40	0.82	1.0592	0.8553	0.0317
43	1.42	0.84	1.0979	0.8639	0.0207
44	1.46	0.86	1.2596	0.8961	0.0333
45	1.48	0.88	1.3344	0.9090	0.0266
46	1.48	0.90	1.3365	0.9093	0.0073
47	1.49	0.92	1.3480	0.9112	0.0104
48	1.59	0.94	1.7213	0.9574	0.0162
49	1.63	0.96	1.8391	0.9670	0.0063
50	1.93	0.98	2.9174	0.9982	0.0178

MES: JUNIO

N = 50 Δ max 0.1283
 □ = 0.70 α 5%
 S = 0.20 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.37	0.02	-1.6397	0.0505	0.0309
2	0.46	0.04	-1.1679	0.1214	0.0822
3	0.46	0.06	-1.1573	0.1236	0.0648
4	0.47	0.08	-1.1357	0.1280	0.0496
5	0.49	0.10	-1.0516	0.1465	0.0484
6	0.49	0.12	-1.0330	0.1508	0.0332
7	0.49	0.14	-1.0320	0.1510	0.0138
8	0.50	0.16	-0.9638	0.1676	0.0107
9	0.51	0.18	-0.9472	0.1718	0.0047
10	0.52	0.20	-0.8897	0.1868	0.0093
11	0.52	0.22	-0.8887	0.1871	0.0286
12	0.52	0.24	-0.8828	0.1887	0.0466
13	0.52	0.25	-0.8722	0.1916	0.0633
14	0.56	0.27	-0.6851	0.2466	0.0279
15	0.56	0.29	-0.6771	0.2492	0.0449
16	0.58	0.31	-0.5707	0.2841	0.0296
17	0.59	0.33	-0.5486	0.2916	0.0417
18	0.60	0.35	-0.4903	0.3120	0.0410
19	0.60	0.37	-0.4631	0.3216	0.0509
20	0.61	0.39	-0.4311	0.3332	0.0589
21	0.63	0.41	-0.3249	0.3726	0.0391
22	0.63	0.43	-0.3174	0.3755	0.0559
23	0.64	0.45	-0.2963	0.3835	0.0675
24	0.64	0.47	-0.2949	0.3840	0.0866
25	0.65	0.49	-0.2407	0.4049	0.0853
26	0.67	0.51	-0.1469	0.4416	0.0682
27	0.67	0.53	-0.1148	0.4543	0.0751
28	0.67	0.55	-0.1027	0.4591	0.0899
29	0.68	0.57	-0.0739	0.4705	0.0981
30	0.69	0.59	-0.0313	0.4875	0.1007
31	0.69	0.61	-0.0202	0.4919	0.1159
32	0.69	0.63	-0.0021	0.4992	0.1283
33	0.72	0.65	0.1422	0.5565	0.0905
34	0.75	0.67	0.2735	0.6078	0.0589
35	0.75	0.69	0.2754	0.6085	0.0778
36	0.77	0.71	0.3763	0.6467	0.0592
37	0.78	0.73	0.4273	0.6654	0.0601
38	0.83	0.75	0.6685	0.7481	0.0030
39	0.84	0.76	0.7311	0.7677	0.0029
40	0.85	0.78	0.7900	0.7852	0.0009
41	0.87	0.80	0.8991	0.8157	0.0118
42	0.88	0.82	0.9111	0.8189	0.0046
43	0.89	0.84	0.9830	0.8372	0.0059
44	0.90	0.86	1.0443	0.8518	0.0109
45	0.98	0.88	1.4217	0.9224	0.0401
46	1.00	0.90	1.5210	0.9359	0.0339
47	1.03	0.92	1.6870	0.9542	0.0326
48	1.07	0.94	1.8860	0.9704	0.0292
49	1.22	0.96	2.6087	0.9955	0.0347
50	1.26	0.98	2.8473	0.9978	0.0174

MES: JULIO

N = 50 Δ max 0.0901

\square = 0.45 α 5%

S = 0.11 Δ o 0.192

Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X- \square)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.21	0.02	-2.1828	0.0145	0.0051
2	0.26	0.04	-1.7421	0.0407	0.0015
3	0.27	0.06	-1.6260	0.0520	0.0069
4	0.29	0.08	-1.3944	0.0816	0.0032
5	0.31	0.10	-1.2836	0.0996	0.0016
6	0.32	0.12	-1.1992	0.1152	0.0024
7	0.32	0.14	-1.1316	0.1289	0.0084
8	0.33	0.16	-1.0970	0.1363	0.0205
9	0.34	0.18	-0.9907	0.1609	0.0155
10	0.34	0.20	-0.9897	0.1612	0.0349
11	0.34	0.22	-0.9769	0.1643	0.0514
12	0.34	0.24	-0.9584	0.1689	0.0664
13	0.35	0.25	-0.9333	0.1753	0.0796
14	0.35	0.27	-0.8986	0.1844	0.0901
15	0.36	0.29	-0.7856	0.2160	0.0781
16	0.39	0.31	-0.5090	0.3054	0.0084
17	0.41	0.33	-0.4085	0.3415	0.0081
18	0.41	0.35	-0.4006	0.3443	0.0086
19	0.42	0.37	-0.3059	0.3798	0.0073
20	0.43	0.39	-0.2046	0.4189	0.0268
21	0.43	0.41	-0.1688	0.4330	0.0212
22	0.44	0.43	-0.1038	0.4587	0.0273
23	0.45	0.45	-0.0495	0.4803	0.0293
24	0.45	0.47	0.0151	0.5060	0.0354
25	0.46	0.49	0.0331	0.5132	0.0230
26	0.47	0.51	0.1524	0.5606	0.0508
27	0.47	0.53	0.1534	0.5610	0.0316
28	0.47	0.55	0.1661	0.5660	0.0170
29	0.47	0.57	0.1689	0.5671	0.0015
30	0.48	0.59	0.2751	0.6084	0.0201
31	0.49	0.61	0.3271	0.6282	0.0204
32	0.49	0.63	0.3340	0.6308	0.0033
33	0.51	0.65	0.4669	0.6797	0.0326
34	0.51	0.67	0.5023	0.6923	0.0256
35	0.53	0.69	0.6537	0.7433	0.0571
36	0.53	0.71	0.7245	0.7656	0.0597
37	0.54	0.73	0.7483	0.7729	0.0474
38	0.55	0.75	0.8204	0.7940	0.0489
39	0.55	0.76	0.8731	0.8087	0.0440
40	0.56	0.78	0.9312	0.8241	0.0398
41	0.56	0.80	0.9312	0.8241	0.0202
42	0.56	0.82	0.9642	0.8325	0.0090
43	0.57	0.84	0.9960	0.8404	0.0028
44	0.57	0.86	1.0093	0.8436	0.0192
45	0.57	0.88	1.0459	0.8522	0.0302
46	0.57	0.90	1.0475	0.8526	0.0494
47	0.60	0.92	1.3069	0.9044	0.0172
48	0.62	0.94	1.4820	0.9308	0.0103
49	0.62	0.96	1.5172	0.9354	0.0254
50	0.76	0.98	2.6947	0.9965	0.0161

MES: AGOSTO

N = 50 Δ max 0.1202
 □ = 0.39 α 5%
 S = 0.14 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.12	0.02	-1.9528	0.0254	0.0058
2	0.13	0.04	-1.9440	0.0259	0.0133
3	0.20	0.06	-1.4017	0.0805	0.0217
4	0.21	0.08	-1.3559	0.0876	0.0091
5	0.23	0.10	-1.1716	0.1207	0.0226
6	0.23	0.12	-1.1709	0.1208	0.0032
7	0.25	0.14	-1.0510	0.1466	0.0094
8	0.28	0.16	-0.7949	0.2133	0.0565
9	0.29	0.18	-0.7682	0.2212	0.0447
10	0.29	0.20	-0.7208	0.2355	0.0394
11	0.30	0.22	-0.6653	0.2529	0.0373
12	0.31	0.24	-0.6246	0.2661	0.0308
13	0.31	0.25	-0.6183	0.2682	0.0133
14	0.31	0.27	-0.5645	0.2862	0.0117
15	0.32	0.29	-0.4871	0.3131	0.0190
16	0.32	0.31	-0.4865	0.3133	0.0004
17	0.33	0.33	-0.4292	0.3339	0.0005
18	0.34	0.35	-0.4098	0.3410	0.0120
19	0.34	0.37	-0.3586	0.3599	0.0126
20	0.34	0.39	-0.3576	0.3603	0.0318
21	0.34	0.41	-0.3421	0.3661	0.0456
22	0.36	0.43	-0.2564	0.3988	0.0326
23	0.36	0.45	-0.2445	0.4034	0.0476
24	0.36	0.47	-0.2326	0.4081	0.0625
25	0.37	0.49	-0.1812	0.4281	0.0621
26	0.37	0.51	-0.1340	0.4467	0.0631
27	0.38	0.53	-0.0572	0.4772	0.0522
28	0.38	0.55	-0.0551	0.4780	0.0710
29	0.39	0.57	-0.0100	0.4960	0.0726
30	0.40	0.59	0.0497	0.5198	0.0684
31	0.41	0.61	0.1105	0.5440	0.0638
32	0.41	0.63	0.1125	0.5448	0.0827
33	0.41	0.65	0.1692	0.5672	0.0799
34	0.42	0.67	0.1766	0.5701	0.0966
35	0.42	0.69	0.1829	0.5726	0.1137
36	0.42	0.71	0.2164	0.5857	0.1202
37	0.44	0.73	0.3837	0.6494	0.0761
38	0.47	0.75	0.6052	0.7275	0.0176
39	0.48	0.76	0.6383	0.7384	0.0264
40	0.50	0.78	0.7711	0.7797	0.0046
41	0.50	0.80	0.8252	0.7954	0.0086
42	0.53	0.82	0.9809	0.8367	0.0132
43	0.53	0.84	0.9889	0.8386	0.0045
44	0.54	0.86	1.0532	0.8539	0.0089
45	0.57	0.88	1.2925	0.9019	0.0196
46	0.58	0.90	1.3762	0.9156	0.0137
47	0.66	0.92	1.9819	0.9763	0.0547
48	0.67	0.94	2.0749	0.9810	0.0398
49	0.70	0.96	2.2871	0.9889	0.0281
50	0.74	0.98	2.5696	0.9949	0.0145

MES: SEPTIEMBRE

N = 50 Δ max 0.1391
 □ = 0.77 α 5%
 S = 0.32 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.16	0.02	-1.9238	0.0272	0.0076
2	0.36	0.04	-1.3058	0.0958	0.0566
3	0.36	0.06	-1.2880	0.0989	0.0401
4	0.37	0.08	-1.2708	0.1019	0.0235
5	0.39	0.10	-1.2209	0.1111	0.0130
6	0.40	0.12	-1.1856	0.1179	0.0002
7	0.44	0.14	-1.0553	0.1456	0.0084
8	0.46	0.16	-0.9742	0.1650	0.0081
9	0.52	0.18	-0.8014	0.2115	0.0350
10	0.55	0.20	-0.7171	0.2367	0.0406
11	0.56	0.22	-0.6756	0.2497	0.0340
12	0.58	0.24	-0.6172	0.2685	0.0332
13	0.58	0.25	-0.5953	0.2758	0.0209
14	0.59	0.27	-0.5757	0.2824	0.0079
15	0.60	0.29	-0.5606	0.2875	0.0066
16	0.64	0.31	-0.4211	0.3369	0.0231
17	0.64	0.33	-0.4111	0.3405	0.0072
18	0.67	0.35	-0.3230	0.3734	0.0204
19	0.67	0.37	-0.3211	0.3741	0.0015
20	0.67	0.39	-0.3169	0.3757	0.0165
21	0.68	0.41	-0.3033	0.3808	0.0309
22	0.68	0.43	-0.2862	0.3874	0.0440
23	0.70	0.45	-0.2323	0.4081	0.0428
24	0.70	0.47	-0.2170	0.4141	0.0565
25	0.74	0.49	-0.1101	0.4562	0.0340
26	0.75	0.51	-0.0871	0.4653	0.0445
27	0.75	0.53	-0.0729	0.4709	0.0585
28	0.76	0.55	-0.0516	0.4794	0.0696
29	0.76	0.57	-0.0515	0.4795	0.0892
30	0.77	0.59	-0.0190	0.4924	0.0958
31	0.78	0.61	0.0090	0.5036	0.1042
32	0.79	0.63	0.0430	0.5171	0.1103
33	0.80	0.65	0.0787	0.5314	0.1157
34	0.81	0.67	0.1029	0.5410	0.1257
35	0.81	0.69	0.1185	0.5472	0.1391
36	0.83	0.71	0.1868	0.5741	0.1318
37	0.85	0.73	0.2472	0.5976	0.1279
38	0.90	0.75	0.4105	0.6593	0.0858
39	0.93	0.76	0.5072	0.6940	0.0707
40	0.94	0.78	0.5351	0.7037	0.0806
41	0.95	0.80	0.5729	0.7167	0.0873
42	0.97	0.82	0.6301	0.7357	0.0878
43	1.02	0.84	0.7798	0.7822	0.0609
44	1.11	0.86	1.0564	0.8546	0.0081
45	1.23	0.88	1.4382	0.9248	0.0425
46	1.34	0.90	1.7808	0.9625	0.0606
47	1.40	0.92	1.9890	0.9767	0.0551
48	1.47	0.94	2.2057	0.9863	0.0451
49	1.59	0.96	2.5676	0.9949	0.0341
50	1.64	0.98	2.7320	0.9969	0.0165

MES: OCTUBRE

N = 50 Δ max 0.0764
 □ = 1.38 α 5%
 S = 0.54 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.36	0.02	-1.9005	0.0287	0.0091
2	0.49	0.04	-1.6585	0.0486	0.0094
3	0.61	0.06	-1.4400	0.0749	0.0161
4	0.68	0.08	-1.3150	0.0943	0.0158
5	0.73	0.10	-1.2104	0.1131	0.0150
6	0.73	0.12	-1.2093	0.1133	0.0044
7	0.76	0.14	-1.1536	0.1243	0.0129
8	0.77	0.16	-1.1373	0.1277	0.0291
9	0.78	0.18	-1.1155	0.1323	0.0441
10	0.83	0.20	-1.0181	0.1543	0.0418
11	0.95	0.22	-0.7968	0.2128	0.0029
12	0.97	0.24	-0.7713	0.2203	0.0150
13	1.02	0.25	-0.6759	0.2495	0.0054
14	1.03	0.27	-0.6535	0.2567	0.0178
15	1.06	0.29	-0.6037	0.2730	0.0211
16	1.08	0.31	-0.5676	0.2852	0.0286
17	1.13	0.33	-0.4737	0.3179	0.0155
18	1.17	0.35	-0.3933	0.3470	0.0059
19	1.21	0.37	-0.3230	0.3733	0.0008
20	1.21	0.39	-0.3172	0.3755	0.0166
21	1.22	0.41	-0.2946	0.3841	0.0276
22	1.27	0.43	-0.1991	0.4211	0.0103
23	1.30	0.45	-0.1398	0.4444	0.0066
24	1.31	0.47	-0.1203	0.4521	0.0184
25	1.36	0.49	-0.0279	0.4889	0.0013
26	1.37	0.51	-0.0253	0.4899	0.0199
27	1.37	0.53	-0.0138	0.4945	0.0349
28	1.39	0.55	0.0263	0.5105	0.0385
29	1.42	0.57	0.0818	0.5326	0.0360
30	1.43	0.59	0.0994	0.5396	0.0486
31	1.44	0.61	0.1102	0.5439	0.0640
32	1.45	0.63	0.1295	0.5515	0.0759
33	1.47	0.65	0.1780	0.5706	0.0764
34	1.54	0.67	0.3014	0.6185	0.0482
35	1.64	0.69	0.4844	0.6859	0.0003
36	1.71	0.71	0.6140	0.7304	0.0245
37	1.74	0.73	0.6740	0.7498	0.0243
38	1.77	0.75	0.7386	0.7699	0.0248
39	1.78	0.76	0.7574	0.7756	0.0109
40	1.82	0.78	0.8308	0.7969	0.0126
41	1.86	0.80	0.9034	0.8168	0.0129
42	1.90	0.82	0.9768	0.8357	0.0121
43	1.91	0.84	0.9866	0.8381	0.0050
44	1.92	0.86	1.0110	0.8440	0.0188
45	1.98	0.88	1.1195	0.8685	0.0138
46	2.00	0.90	1.1582	0.8766	0.0254
47	2.20	0.92	1.5265	0.9366	0.0150
48	2.48	0.94	2.0605	0.9803	0.0391
49	2.61	0.96	2.2944	0.9891	0.0283
50	2.71	0.98	2.4922	0.9937	0.0133

MES: NOVIEMBRE

N = 50 Δ max 0.0997
 □ = 1.64 α 5%
 S = 0.54 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.89	0.02	-1.4079	0.0796	0.0600
2	0.95	0.04	-1.2808	0.1001	0.0609
3	0.97	0.06	-1.2474	0.1061	0.0473
4	1.00	0.08	-1.1995	0.1152	0.0367
5	1.01	0.10	-1.1719	0.1206	0.0226
6	1.04	0.12	-1.1181	0.1318	0.0141
7	1.06	0.14	-1.0855	0.1388	0.0016
8	1.08	0.16	-1.0491	0.1471	0.0098
9	1.13	0.18	-0.9587	0.1689	0.0076
10	1.16	0.20	-0.9047	0.1828	0.0133
11	1.16	0.22	-0.8936	0.1858	0.0299
12	1.17	0.24	-0.8818	0.1889	0.0464
13	1.19	0.25	-0.8464	0.1987	0.0562
14	1.21	0.27	-0.8071	0.2098	0.0647
15	1.22	0.29	-0.7935	0.2137	0.0804
16	1.28	0.31	-0.6795	0.2484	0.0653
17	1.31	0.33	-0.6282	0.2649	0.0684
18	1.34	0.35	-0.5656	0.2858	0.0671
19	1.39	0.37	-0.4661	0.3206	0.0520
20	1.40	0.39	-0.4554	0.3244	0.0677
21	1.49	0.41	-0.2805	0.3895	0.0222
22	1.49	0.43	-0.2799	0.3898	0.0416
23	1.50	0.45	-0.2765	0.3911	0.0599
24	1.50	0.47	-0.2609	0.3971	0.0735
25	1.54	0.49	-0.1946	0.4229	0.0673
26	1.56	0.51	-0.1638	0.4349	0.0749
27	1.56	0.53	-0.1534	0.4391	0.0904
28	1.60	0.55	-0.0817	0.4675	0.0816
29	1.60	0.57	-0.0780	0.4689	0.0997
30	1.72	0.59	0.1468	0.5584	0.0299
31	1.74	0.61	0.1857	0.5737	0.0342
32	1.75	0.63	0.1876	0.5744	0.0530
33	1.76	0.65	0.2196	0.5869	0.0602
34	1.78	0.67	0.2455	0.5970	0.0697
35	1.91	0.69	0.4873	0.6870	0.0007
36	1.97	0.71	0.5954	0.7242	0.0183
37	1.98	0.73	0.6199	0.7323	0.0068
38	1.99	0.75	0.6496	0.7420	0.0031
39	2.07	0.76	0.7911	0.7856	0.0209
40	2.08	0.78	0.8016	0.7886	0.0043
41	2.10	0.80	0.8462	0.8013	0.0027
42	2.14	0.82	0.9272	0.8231	0.0004
43	2.15	0.84	0.9318	0.8243	0.0188
44	2.38	0.86	1.3611	0.9133	0.0505
45	2.41	0.88	1.4269	0.9232	0.0408
46	2.43	0.90	1.4667	0.9288	0.0268
47	2.44	0.92	1.4698	0.9292	0.0076
48	2.52	0.94	1.6302	0.9485	0.0073
49	2.82	0.96	2.1785	0.9853	0.0245
50	3.28	0.98	3.0417	0.9988	0.0184

MES: DICIEMBRE

N = 50 Δ max 0.0712
 □ = 1.81 α 5%
 S = 0.49 Δ o 0.192
 Δ max < Δ o **BUEN AJUSTE**

m	Q=X (m3/s)	P(X) m/n+1	Z=(X-□)/S	F(Z)	F(Z)-P(X)
1	0.73	0.02	-2.2066	0.0137	0.0059
2	0.84	0.04	-1.9885	0.0234	0.0158
3	0.85	0.06	-1.9710	0.0244	0.0345
4	0.91	0.08	-1.8379	0.0330	0.0454
5	1.16	0.10	-1.3203	0.0934	0.0047
6	1.28	0.12	-1.0896	0.1380	0.0203
7	1.28	0.14	-1.0865	0.1386	0.0014
8	1.34	0.16	-0.9641	0.1675	0.0106
9	1.39	0.18	-0.8507	0.1975	0.0210
10	1.41	0.20	-0.8149	0.2076	0.0115
11	1.42	0.22	-0.7914	0.2144	0.0013
12	1.46	0.24	-0.7154	0.2372	0.0019
13	1.47	0.25	-0.6991	0.2422	0.0127
14	1.47	0.27	-0.6969	0.2429	0.0316
15	1.48	0.29	-0.6650	0.2530	0.0411
16	1.57	0.31	-0.4952	0.3102	0.0035
17	1.60	0.33	-0.4180	0.3380	0.0046
18	1.64	0.35	-0.3525	0.3622	0.0093
19	1.64	0.37	-0.3519	0.3625	0.0101
20	1.65	0.39	-0.3198	0.3746	0.0176
21	1.69	0.41	-0.2464	0.4027	0.0091
22	1.73	0.43	-0.1684	0.4331	0.0018
23	1.77	0.45	-0.0854	0.4660	0.0150
24	1.79	0.47	-0.0345	0.4863	0.0157
25	1.85	0.49	0.0804	0.5320	0.0418
26	1.88	0.51	0.1408	0.5560	0.0462
27	1.93	0.53	0.2550	0.6006	0.0712
28	1.93	0.55	0.2603	0.6027	0.0537
29	1.95	0.57	0.2824	0.6112	0.0426
30	1.98	0.59	0.3429	0.6342	0.0459
31	1.98	0.61	0.3520	0.6376	0.0297
32	1.99	0.63	0.3766	0.6467	0.0193
33	2.01	0.65	0.4234	0.6640	0.0170
34	2.02	0.67	0.4293	0.6662	0.0005
35	2.06	0.69	0.5147	0.6966	0.0103
36	2.06	0.71	0.5240	0.6999	0.0060
37	2.08	0.73	0.5549	0.7105	0.0150
38	2.14	0.75	0.6796	0.7516	0.0065
39	2.16	0.76	0.7270	0.7664	0.0017
40	2.22	0.78	0.8503	0.8024	0.0181
41	2.29	0.80	0.9839	0.8374	0.0335
42	2.29	0.82	0.9899	0.8389	0.0153
43	2.32	0.84	1.0410	0.8511	0.0079
44	2.32	0.86	1.0444	0.8518	0.0109
45	2.37	0.88	1.1601	0.8770	0.0053
46	2.39	0.90	1.1996	0.8849	0.0171
47	2.41	0.92	1.2277	0.8902	0.0313
48	2.61	0.94	1.6368	0.9492	0.0080
49	2.73	0.96	1.8933	0.9708	0.0101
50	2.88	0.98	2.1997	0.9861	0.0057

A.7. PANEL FOTOGRÁFICO.

Figura 22: Características del suelo de la cuenca baja.



Figura 23: Características del suelo de la cuenca media.



Figura 24: Características del suelo de la cuenca alta.



Figura 25: Cobertura y vegetación.

(a) Cultivos de papa en zona media y alta



(b) cultivos de maíz en zona media



Figura 26: Cobertura cuenca media.



Figura 27: Cobertura cuenca alta.



Figura 28: Cobertura cuenca alta, superior a los 3000 msnm.

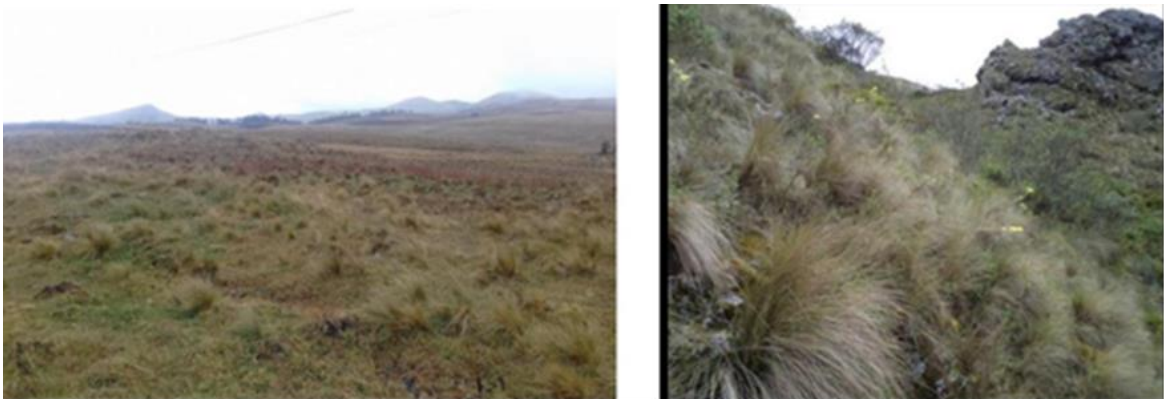


Figura 29: Vista quebrada Chorro Blanco



Figura 30: Vista de la quebrada Pachachaca



Figura 31: Vista río Chugurmayo a la altura del distrito Sorochuco

