

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

COMPARACIÓN ENTRE UN MODELO HIDROLÓGICO EMPÍRICO Y UNO  
DIRECTO DE ESCURRIMIENTO, PARA EL RÍO DULCEPAMBA, CANTÓN  
CHILLANES, PROVINCIA DE BOLÍVAR

AUTORES:

ESPÍN VELÁSQUEZ KENNY STEPHEN

ORTEGA VÁSQUEZ JORGE DAVID

DIRECTOR:

ING. EDDY FERNANDO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

QUITO-ECUADOR

FEBRERO 2023

## Resumen

En el presente trabajo de titulación se comparará un modelo hidrológico empírico y un modelo hidrológico directo de escurrimiento, para el río Dulcepamba, cantón Chillanes, Provincia de Bolívar. El mismo busca realizar un análisis hidrológico mediante métodos numéricos y gráficos. La evaluación necesita parámetros como: precipitación-escurrimiento, datos de estaciones meteorológicas, topografía y caudal de río Dulcepamba. Con los resultados obtenidos se comparó el modelo empírico y el directo usando el software libre HEC-HMS. El cual nos permite simular precipitación-escurrimiento y calcular caudales dentro de la cuenca del río Dulcepamba.

**Palabras claves:** modelo hidrológico, precipitación, escurrimiento, modelo empírico, modelo directo, caudal, cuenca, comparación.

## **Abstract**

In this academic degree work, an empirical hydrological model and a direct runoff hydrological model will be compared for the Dulcepamba river, Chillanes canton, Bolivar province. It seeks to perform hydrological analysis using numerical and graphical methods. The evaluation needs parameters such as rainfall-runoff, weather station data, topography and flow of the Dulcepamba river. The empirical and direct model was compared with the results obtained using the free software HEC-HMS. Which allows us to simulate precipitation-runoff and calculate flows within the Dulcepamba river basin.

**Keywords:** hydrological model, precipitation, runoff, empirical model, direct model, flow, basin, comparison.

## TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Justificación.....	10
1.2. Planteamiento de problema .....	11
1.3. Objetivos .....	12
1.3.1. Objetivo general .....	12
1.3.2. Objetivo específico.....	12
1.4. Marco teórico y conceptual .....	12
1.5. Alcance .....	13
CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	14
2.1. Hidrología básica.....	14
2.1.1. Concepto de Cuenca .....	14
2.1.2. Cuenca hidrográfica .....	14
2.2. Ciclo hidrológico.....	15
2.2.1. Fases del ciclo hidrológico .....	17
2.3. Modelación hidrológica.....	27
2.3.1. Modelo hidrológico empírico .....	27
2.3.2. Modelo hidrológico directo .....	34
2.4. Modelación matemática .....	35
2.4.1. Modelos estadísticos.....	35
2.4.2. Modelos de optimización.....	36
CAPITULO III: INFORMACIÓN GENERAL DE LA ZONA.....	37
3.1 Ubicación y descripción del área de estudio .....	37
3.1.1. Descripción de la cuenca .....	38
3.3. Geología.....	39
3.3.1. Morfología .....	40
3.3.2. Unidades litológicas y edafológicas .....	40
3.4. Climatología e Hidrología .....	42

3.4.1.	Precipitación.....	42
3.4.2.	Temperatura.....	42
3.4.3.	Humedad.....	44
CAPITULO IV: MODELO HIDROLÓGICO .....		45
4.1.	Trabajo en campo .....	45
4.1.1.	Ubicación para el trabajo en campo .....	45
4.2.	Ubicación estaciones automáticas .....	47
4.3.	Topografía del cauce del río Dulcepamba.....	48
4.3.1.	Método de levantamiento topográfico. ....	48
4.4.	Recopilación de datos para el modelo empírico.....	51
4.4.1.	Precipitación en zona de estudio .....	51
4.4.2.	Área de la Cuenca .....	54
4.4.2.1.	Área de la Cuenca - Sicoto .....	54
4.4.2.2.	San Pablo de Amalí .....	55
4.4.3.	Longitud del río principal .....	55
4.4.3.1.	Longitud del río principal - Sicoto .....	56
4.4.3.2.	San Pablo de Amalí .....	58
4.4.4.	Curvas de nivel .....	60
4.4.4.1.	Curvas de nivel Sicoto .....	60
4.4.4.2.	Curvas de nivel San Pablo de Amalí.....	61
4.5.	Recopilación de datos para el modelo directo.....	61
4.5.1.	Curva de Descarga .....	66
4.6.	Caudal de río vs precipitación .....	72
4.7.	Definición del modelo empírico de escurrimiento de la cuenca.....	74
4.7.1.	Cobertura vegetal.....	75
4.7.2.	Textura del suelo.....	76
4.7.3.	Selección del número de escurrimiento N.....	77
4.7.4.	Precipitación máxima (Atípica).....	78
4.7.5.	Corrección del número de escurrimiento N.....	78
4.7.6.	Simulación de modelo hidrológico de escurrimiento empírico.....	78

4.7.6.1. Primera simulación.....	78
4.7.6.2. Segunda Simulación .....	84
4.7.6.3. Tercera Simulación .....	87
4.8. Definición del modelo directo de escurrimiento de la cuenca usando HEC-HMS	90
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>93</b>
5.1. Análisis de resultados .....	93
5.1.1. Modelación empírica .....	93
5.1.2. Modelación directa .....	94
5.2. Comparación entre el modelo empírico y directo .....	97
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>101</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>103</b>

### **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Ciclo hidrológico .....	16
Figura 2. Selección del tipo de suelo .....	20
Figura 3. Tipo del suelo .....	21
Figura 4. Correcciones para valores de escurrimiento N (A y B).....	21
Figura 5. Curva número CN.....	22
Figura 6. Dependencia de caudales en función de la altura .....	26
Figura 7. Hidrograma.....	28
Figura 8. Partes del Hidrograma.....	29
Figura 9. Hidrograma triangular .....	31
Figura 10. Mapa de ubicación de estudio – San Pablo de Amalí .....	37
Figura 11. Ubicación del área de estudio .....	38
Figura 12. Mapa geológico- cantón Chillanes, Bolívar .....	40
Figura 13. Textura del suelo .....	41
Figura 14. Ubicación del levantamiento topográfico – Sicoto .....	45
Figura 15. Ubicación del levantamiento topográfico – San Pablo de Amalí.....	46

Figura 16. Ubicación estación automática – San Pablo de Atenas .....	47
Figura 17. Área de Sicoto .....	54
Figura 18. Área de San Pablo de Amalí .....	55
Figura 19. Longitud del río de Sicoto .....	56
Figura 20. Longitud del río de San Pablo de Amalí .....	58
Figura 21. Curvas de nivel de Sicoto .....	60
Figura 22. Curvas de nivel de San Pablo de Amalí .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1 Coordenadas de ubicación del área de estudio.....	38
Tabla. 2. Coordenadas de ubicación del levantamiento topográfico – Sicoto.....	45
Tabla 3. Levantamiento topográfico- Sicoto, 17 septiembre del 2022 .....	49
Tabla 4. Levantamiento topográfico- San Pablo de Amalí 17 de Septiembre del 2022 .....	50
Tabla 5. Precipitaciones marzo y abril 2020 .....	52
Tabla. 6. Precipitaciones marzo y abril 2021 .....	53
Tabla. 7 Longitud de río principal - Sicoto (m).....	57
Tabla 8. Longitud de río principal - San Pablo de Amalí (m) .....	59
Tabla 9. Lecturas limnigrafo Marzo 2020.....	62
Tabla 10. Lecturas limnigrafo Abril 2020 .....	63
Tabla 11. Lecturas limnigrafo Marzo 2021.....	64
Tabla 12. Lecturas limnigrafo Abril 2021 .....	65
Tabla 13. Curva de Descarga - Estación de Sicoto .....	66
Tabla 14. Caudales marzo 2020.....	68
Tabla 15. Caudales abril 2020.....	69
Tabla 16. Caudales marzo 2021.....	70
Tabla 17. Caudales abril 2021 .....	71
Tabla 18. Cobertura vegetal de la cuenca Dulcepamba .....	75
Tabla 19. Área de Bosque Natural .....	76
Tabla 20. Área de Pasto Cultivado .....	76
Tabla 21. Área Total .....	76

Tabla 22. Descripción de suelos del Cantón Chillanes.....	77
Tabla 23. Precipitación acumulada - Primera simulación .....	78
Tabla 24. N corrección B .....	79
Tabla 25. N Promedio.....	79
Tabla 26. N Ajustado .....	80
Tabla 27. Precipitación acumulada - Segunda simulación .....	84
Tabla 28. N Promedio- Segunda simulación .....	84
Tabla 29. N Ajustado .....	85
Tabla 30. Resumen simulación 8 de marzo- Sicoto .....	85
Tabla 31. Resumen parámetros de cálculo simulación 8 de marzo- Sicoto .....	85
Tabla 32. Resumen simulación 8 de marzo- San Pablo de Amalí.....	86
Tabla 33. Resumen parámetros de cálculo simulación 8 de marzo- San Pablo de Amalí .....	86
Tabla 34. Precipitación acumulada - Tercera simulación .....	87
Tabla 35. N Promedio- Tercera simulación .....	87
Tabla 36. Resumen simulación 3 de abril- Sicoto.....	88
Tabla 37. Resumen parámetros de cálculo simulación 3 de abril- Sicoto .....	88
Tabla 38. Resumen simulación 3 de abril- San Pablo Amalí.....	88
Tabla 39. Resumen parámetros de cálculo simulación 3 de abril- Sicoto .....	89
Tabla 40. Resumen Caudales HEC-HMS para Sicoto .....	91
Tabla 41. Resumen Caudales HEC-HMS para San Pablo de Amalí.....	92
Tabla 42. Resumen modelación empírica .....	94
Tabla 43. Tabla resumen- Modelación Directa HEC-HMS .....	96
Tabla 44. Análisis entre el caudal simulado del modelo empírico y modelo directo (Observado)- Sicoto .....	97
Tabla 45. Comparación entre modelo empírico y directo .....	98

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto Marzo 2020.....	72
Gráfico 2. Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto Abril 2020 .....	73
Gráfico 3. Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto marzo 2021.....	73
Gráfico 4.Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto - abril 2021.....	74
Gráfico 5. Simulación HEC-HMS para Sicoto.....	95
Gráfico 6. Simulación HEC-HMS para San Pablo de Amalí .....	96

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación tiempo de concentración .....	31
Ecuación 2. Duración de exceso .....	32
Ecuación 3. Tiempo pico .....	32
Ecuación 4. Cálculo de tiempo base .....	32
Ecuación 5. Tiempo de retraso.....	33
Ecuación 6. Lluvia en exceso .....	22
Ecuación 7. Coeficiente de escurrimiento.....	23
Ecuación 8. Caudal de diseño hidráulico – Pico.....	33

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

En esta disertación se pretende fomentar el análisis técnico y la comparación de los resultados de la modelación hidrológica empírica y directa para la cuenca del río Dulcepamba, con el objetivo de simplificar los análisis para el cálculo del caudal máximo.

### **1.1. Justificación**

El propósito de la presente investigación es realizar un modelo hidrológico, el mismo que necesita parámetros como: precipitación-escorrentía, datos de estaciones meteorológicas particulares, topografía y caudal del río Dulcepamba en la zona de estudio.

Para justificar este tema se debe conocer datos históricos de la cuenca hidrográfica del río Dulcepamba está localizada en la zona central del Ecuador, en la provincia de Bolívar. La cuenca se extiende desde la zona montañosa del altiplano andino hasta las faldas de estas montañas en la costa; la mayor parte de la precipitación anual tiene lugar de diciembre a abril y oscila normalmente desde aproximadamente 1.500 mm a 2.000 mm a lo largo de la cuenca. Una tormenta e inundación tuvo lugar entre los días 19 y 20 de marzo de 2015 provocando muertes, daños a propiedades y erosión, que tuvieron lugar en el pueblo de San Pablo de Amalí, que está localizado a lo largo del margen sur del río Dulcepamba; en 2012, Hidrotambo S.A. empezó a construir las instalaciones de captación de agua para una central hidroeléctrica de pasada. Las instalaciones de captación de agua del proyecto Hidrotambo están localizadas en el margen opuesto al pueblo, y directamente sobre el cauce original del río Dulcepamba, por cual; según fotografías y declaraciones de testigos se produjo un bloqueo completo o casi completo de la instalación de captación de agua por la acumulación de sedimentos gruesos y otros escombros durante el evento de marzo de 2015 y comprendió el cambio de sitio del cauce del río frente a San Pablo de Amalí, afectándolo irreversiblemente (GAD Chillanes, 2015).

Por lo antes expuesto se realizará un análisis entre modelos para asociar modelos hidrológicos, mediante métodos gráficos, para un modelo hidrológico que

proporcione un valor de las precipitaciones máximas y que sirva de base para el cálculo de los caudales y descargas de los cauces. Se debe tomar en cuenta estos parámetros técnicos como: tipo de suelo, climatológica, precipitaciones y escorrentía, necesarios para la construcción del modelo hidrológico de escorrentía.

## **1.2. Planteamiento de problema**

La presencia de altas precipitaciones durante el invierno dentro de la cuenca del río Dulcepamba ha causado impactos en la comunidad de San Pablo de Amalí como: pérdida de cultivos, erosión del suelo, modificación de la trayectoria del río por parte de la hidroeléctrica. Por esta razón, además de la falta de estudios en la zona se tomó como referencia de estudio esta cuenca para el análisis de caudales máximos durante la época invernal comprendida entre marzo y abril.

Para este trabajo de disertación se han seleccionado dos modelos hidrológicos de escurrimiento, un modelo empírico basado en el hidrograma triangular y un modelo directo el cual simula los caudales dentro de la cuenca con la ayuda del software HEC-HMS. Estos calcularán caudales máximos de diseño, hidrogramas de caudales – hietogramas, con el fin de verificar los parámetros de estudio entre los modelos hidrológicos seleccionados. Para esto se recopilarán datos: climatológicas, geológicas, hidrológicas, cobertura vegetal y topográficas, con el fin de definir los modelos hidrológicos de escurrimiento para la cuenca del río Dulcepamba.

Finalmente, con la definición de los modelos hidrológicos se analizarán y compararán los resultados, siendo este el principal objetivo de esta disertación, la comparación entre el modelo empírico y directo usando el software HEC-HMS; el cual nos permite simular caudales con la entrada de datos de precipitaciones obtenidas de una estación automática ubicada dentro de la cuenca en estudio. Esto beneficiará la simplificación de los cálculos de caudales máximos de diseño con el fin verificar el margen de error entre ambos modelos.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Comparar un modelo hidrológico empírico y uno directo de escurrimiento usando HEC-HMS, para el río Dulcepamba.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Describir los aspectos teóricos de modelamiento hidrológico de escurrimiento.
- Delimitar la línea base del proyecto, en lo relacionado con características: climatológicas, geológicas, hidrológicas, topográficas y cobertura vegetal.
- Definir un modelo hidrológico de escurrimiento empírico y un modelo hidrológico de escurrimiento directo para el río Dulcepamba.

### **1.4. Marco teórico y conceptual**

Para el marco teórico y conceptual de este tema de disertación engloba características generales tal como el ciclo hidrológico y sus fases las cuales son: evapotranspiración, precipitación, infiltración, escorrentía. Además, se encuentra teoría de la modelación matemática esto engloba modelos estadísticos y de optimización. Por otro lado, la teoría de hidrología básica comprende conceptos de cuenca, cuenca hidrográfica y modelación hidrológica en este último punto entran los modelos hidrológicos de escurrimiento empírico y directo.

## **1.5. Alcance**

Con esta disertación se pretende comparar un modelo hidrológico empírico y uno directo para el río Dulcepamba en el cantón Chillanes, provincia de Bolívar; para esto se recopilarán datos: climatológicas, geológicas, hidrológicas y topográficas con el fin de definir un modelo hidrológico de escurrimiento de la cuenca.

Se realizará la recopilación de datos de meteorológicos e hidrológicos mediante un trabajo de campo durante el período de invierno, en donde la zona de estudio presenta máximas precipitaciones, que permitan recopilar los datos precipitación-escurrimiento requeridos para la construcción de los modelos hidrológicos, que se lo desarrollará con la ayuda de estaciones meteorológicas proporcionadas por el Instituto de estudios ecologistas (IEETM).

Por otro lado, con la ayuda del software HEC-HMS se analizará el estudio de la cuenca que conforma el río Dulcepamba con la información desarrollada anteriormente, y así comparar los datos y gráficos obtenidos entre los dos modelos hidrológicos: el modelo empírico y modelo el directo.

Finalmente, con esta comparación de ambos modelos hidrológicos se analizará los resultados, siendo el principal objetivo de esta disertación la comparación entre el modelo empírico y el directo usando el programa HEC-HMS.

## **CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1.Hidrología básica**

La hidrología es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación son eventos imprescindibles que están basados en un análisis empírico y relacionados con la estadística; el estudio hidrológico es importante para la determinación de la escorrentía superficial en la zona, la textura del suelo, pendiente, climatología, topografía son parámetros importantes para el estudio de la hidrología (INSIVUMEH, 2019).

#### **2.1.1. Concepto de Cuenca**

Para Aparicio, 1992; 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.

Esta refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. 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 (Aparicio, F. 1992).

#### **2.1.2. Cuenca hidrográfica**

Según Harbaugh, 1972; la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado.

### ➤ **Características físicas de una cuenca hidrográfica**

Para Aparicio, 1992; dentro de las características físicas de una hoya hidrográfica, se puede mencionar las siguientes:

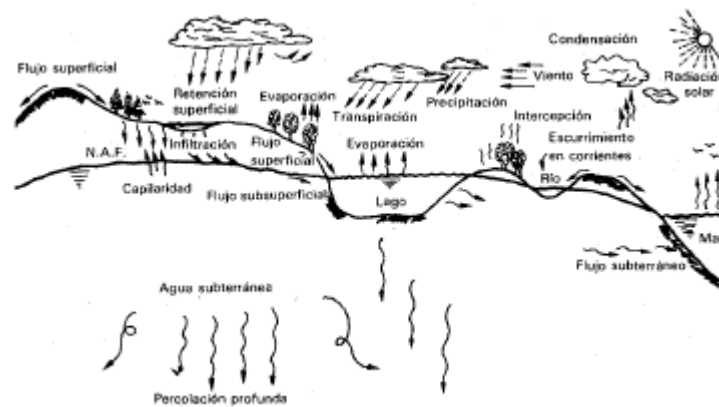
- a) **Área (A):** Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica.
- b) **Longitud Axial (L):** Es la longitud del curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la hoya.
- c) **Forma:** La forma de una subcuenca se lo puede definir en base al índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) o al factor de forma ( $K_f$ ).
- d) **Índice de Gravelius ( $K_c$ ):** Es la relación entre el perímetro ( $P$ ) de la hoya y la longitud de la circunferencia ( $2\pi r$ ; donde  $r$ : radio de la circunferencia) de un círculo de área ( $A$ ) igual a la de la hoya.
- e) **Factor de Forma ( $K_f$ ):** Es la relación entre el ancho medido ( $B$ ) y la longitud axial ( $L$ ) de la hoya.
- f) **Elevación media ( $H_m$ ):** Es el promedio de las elevaciones en una subcuenca, a través de un análisis espacial y estadístico. Está estrechamente relacionada con las temperaturas medias, evapotranspiración, y con el relieve de la hoya hidrográfica.
- g) **Pendiente media ( $P_m$ ):** Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las hoyas.
- h) **Pendiente del Río:** Está íntimamente relacionado con la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua.

### **2.2.Ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico ver figura 1, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización (Aparicio, F. 1992).

Este ciclo se hace visible empezando con la evaporación de las aguas de los océanos, el vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento, en forma de nubes las cuales ocasionan precipitaciones. Una parte de esta se precipita y regresa al mar, la otra que no llega abajo se vuelve a evaporar durante el camino y una tercera cae en el suelo. El agua que llega a la superficie puede seguir varios caminos, una parte se evapora directamente a la atmosfera, otra puede infiltrarse dentro del perfil del suelo. En el caso que la intensidad de la lluvia exceda a la tasa de evaporación e infiltración se forman charcos sobre las irregularidades del terreno, los cuales se los conoce como almacenamientos en depresiones. (Gutiérrez, C. 2014).

**Figura 1. Ciclo hidrológico**



**Fuente:** Aparicio, 1992

Se ha identificado en el ciclo hidrológico los siguientes componentes:

- ❖ Evaporación y evapotranspiración
- ❖ Precipitación
- ❖ Interceptación
- ❖ Escorrentía superficial
- ❖ Infiltración
- ❖ Escorrentía subterránea
- ❖ Transpiración

### **2.2.1. Fases del ciclo hidrológico**

Para esta disertación se tomarán en cuenta los siguientes componentes:

- **Evapotranspiración**

Según Aparicio, 1992; el proceso de evapotranspiración es un fenómeno combinado de pérdida de agua por transpiración y evaporación directa del agua del suelo. Corresponde al fenómeno físico del pasaje de agua del estado líquido al gaseoso en condiciones naturales, dependiendo de la disponibilidad de agua para la vegetación y necesitando una importante cantidad de energía para que el proceso ocurra.

Pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada por evaporación y transpiración de las plantas” (Manosalve Saénz, 2002), así podemos tener evapotranspiración real (condiciones reinantes atmosféricas y de humedad del suelo) y potencial (en el caso en que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento).

La evapotranspiración puede ser determinada a través de métodos de medida y de métodos de estimación. Existen muchos métodos de estimación para la evapotranspiración siendo el más usado el método de Thorntwaite. La evapotranspiración constituye un importante componente del ciclo y balance del agua. Se estima que un 80% del total de agua recibida por una zona (precipitación) es devuelto a la atmósfera a través del proceso, mientras que el 20% restante constituye la escorrentía superficial y subterránea. Junto con ser un componente del ciclo hidrológico, la evapotranspiración interviene en el balance calorífico y en la redistribución de energía mediante los traspasos que de ella se producen con los cambios de estado del agua, permitiendo así un equilibrio entre la energía recibida y la pérdida. El conocimiento de las pérdidas de agua mediante el proceso permite tener un acercamiento a las disponibilidades del recurso y consecuentemente puede realizarse una mejor distribución y manejo del mismo. (Manosalve Saénz, 2002).

## ▪ **Precipitación**

La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la Tierra. La mayor parte de la precipitación cae como lluvia (Gutiérrez, C. 2014).

Según Aparicio, 1992. Toma en cuenta, la precipitación como la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. En este capítulo se estudiarán dos aspectos fundamentales de la precipitación: por un lado, la manera en que se produce y algunos métodos con que se puede predecir dadas ciertas condiciones atmosféricas, para lo cual será necesario revisar algunos aspectos básicos de meteorología y, por otro, la manera en que se mide la precipitación y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos.

## ▪ **Infiltración**

Es el proceso en el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo con factores que influyen en la tasa de infiltración son la condición de la superficie del terreno, la cobertura vegetal, las propiedades del suelo como son la conductividad hidráulica y la porosidad, y el contenido de humedad que presenta el suelo (Ven te Chow, 1994).

### **Distribución de la precipitación en el suelo**

La lluvia que cae se consume totalmente en intercepción, detención superficial o almacenamiento en depresiones, humedad del suelo, precipitación directa sobre la corriente de agua que sirve de drenaje al área considerada, agua subterránea, como flujo y escorrentía superficial (Monsalve, 1999).

### **Factores que afectan la capacidad de infiltración**

Para Aparicio, 1992. La forma precisa en que se realiza el proceso descrito depende de un gran número de factores, entre los que destacan:

- a) Textura del suelo.
- b) Contenido de humedad inicial.
- c) Contenido de humedad de saturación.
- d) Cobertura vegetal.

- e) Uso del suelo.
- f) Aire atrapado.
- g) Lavado de material fino.
- h) Compactación.
- i) Temperatura, sus cambios y diferencias.

Según Aparicio, F (1992) El parámetro que cuantifica la Infiltración es la capacidad de infiltración. La capacidad de infiltración de un suelo es la tasa máxima con la cual puede penetrar agua en un suelo en un sitio particular y dada una serie de condiciones, o, lo que es lo mismo, la intensidad máxima de agua de lluvia que puede absorber el suelo. La capacidad de infiltración se puede expresar en mm/h o mm/min.

$$\textit{Precipitacion} - \textit{Infiltracion} = \textit{Lluvia en exceso}$$

En la siguiente figura 2 se muestra los valores de N para algunas condiciones, para tomar en cuenta las condiciones iniciales de humedad del suelo se realiza una corrección al número de escurrimiento obtenidos (Aparicio, F. 1992).

**Figura 2. Selección del tipo de suelo**

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno, en %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	—	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
	Surcos rectos	< 1	63	75	83	87
	Contorneo	> 1	63	74	82	85
	Contorneo	< 1	61	73	81	84
	Terrazas	> 1	61	72	79	82
	Terrazas	> 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	80	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89
	-----	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	-----	< 1	30	58	71	78
Bosques naturales	Muy ralo	-----	56	75	86	91
	Ralo	-----	46	68	78	84
	Normal	-----	36	60	70	77
	Espeso	-----	26	52	62	69
	Muy espeso	-----	15	44	54	61
Caminos	De terracería	-----	72	82	87	89
	Con superficie dura	-----	74	84	90	92

**Fuente:** Aparicio, F. (1992)

La selección del número de escurrimiento está directamente proporcional relacionado con el tipo de suelo descrito en la siguiente figura 3.

**Figura 3. Tipo del suelo**

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Textura del suelo</i>
A	Arenas con poco limo y arcilla; Suelos muy permeables.
B	Arenas finas y limos.
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla.
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana; suelos muy impermeables.

**Fuente:** Aparicio, F. (1992)

Según la altura de precipitación acumulada cinco días antes de la fecha en cuestión de la siguiente manera: Si  $LL_5 < 2.5 \text{ cm}$ , hacer corrección A, Si  $2.5 < LL_5 < 5 \text{ cm}$ , no hacer corrección, Si  $LL_5 > 5 \text{ cm}$ , hacer corrección B (Aparicio, F. 1992). Las correcciones mencionadas A y B se muestran en la siguiente figura 4.

**Figura 4. Correcciones para valores de escurrimiento N (A y B)**

<i>N</i>	<i>N con corrección A</i>	<i>N con corrección B</i>
0	0	0
10	4	22
20	9	37
30	15	50
40	22	60
50	31	70
60	40	78
70	51	85
80	63	91
90	78	96
100	100	100

**Fuente:** Aparicio, F. (1992)

- **Lluvia en exceso**

Aparicio, F. (1992), menciona que, “Para el cálculo de la lluvia en exceso se toma en cuenta la altura de lluvia total P que se relaciona con la altura de lluvia efectiva Pe mediante las curvas mostradas en la figura 5 de métodos curva número SCS con estas curvas se pueden expresar algebraicamente mediante la siguiente ecuación”.

$$Pe = \frac{\left[ P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

*Ecuación 1. Lluvia en exceso*

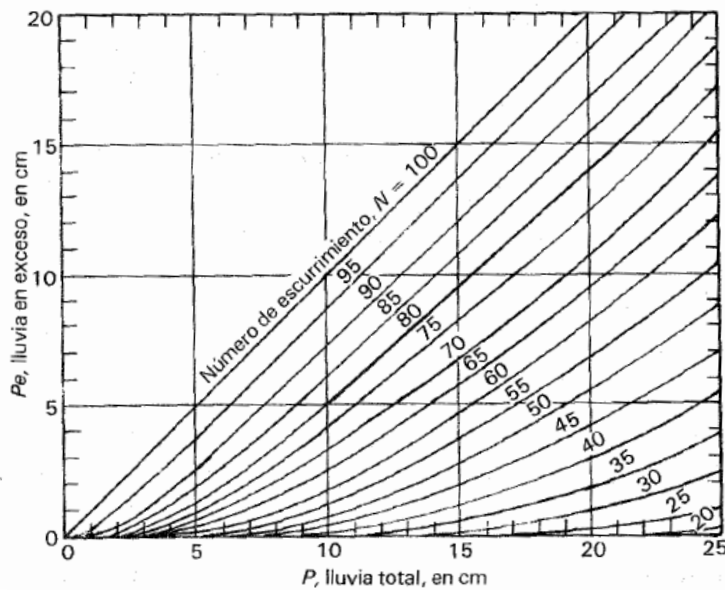
Donde:

Pe: lluvia en exceso

P: Tormenta

N: número de escurrimiento

**Figura 5. Curva número CN**



**Fuente:** Aparicio, F. (1992)

Para mayor detalle de la información antes expuesta se abordará en el siguiente tema de escorrentía

- **Escorrentía**

Para Aparicio, 1992 dice que la escorrentía o escurrimiento superficial se define como parte de las aguas lluvia no infiltrada en el suelo y que circula interna y externamente en la superficie terrestre dependiendo de las características existen tipos de escorrentías.

**a) Escorrentía superficial:** es la más rápida ya que no llega a infiltrarse en la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Además, la

escorrentía superficial o directa suele ser la que lleva a mares y océanos. Este tipo de escorrentía suelen verse afectadas por la acción humana ya que el flujo de esta agua puede transportar basuras, químicos y otros contaminantes que afectan de forma negativa a la calidad del agua y del medio ambiente.

- b) Escorrentía hipodérmica:** hace referencia a una parte de la precipitación que se infiltra en el terreno llegando a circular por el subsuelo a poca profundidad y en una corta distancia. Una vez encuentra un canal de flujo pasa a convertirse en escorrentía superficial poco después de la lluvia sin llegar a ser nunca subterránea.
- c) Escorrentía subterránea:** el agua llega a infiltrarse hasta alcanzar el nivel freático. La humedad del suelo, la intensidad de la precipitación o las características geológicas son algunos de los factores que influyen en la creación de este tipo de escorrentía.

❖ **Factores para tener en cuenta en este proceso hidrológico**

- 1) Factores meteorológicos:** precipitación y temperatura.
- 2) Factores geográficos:** localización geográfica de la cuenca que engloba tanto la latitud y longitud como la altitud. Además, también influye la morfología.
- 3) Factores hidrogeológicos:** comprende aquellos factores como la permeabilidad del suelo o la profundidad de las capas de éste. Geomorfológicas de la cuenca (Lincango & López, 2018, p.22).

**Coeficiente de escurrimiento**

Según Aparicio, F. (1992), para la fórmula de coeficiente de escurrimiento el cual es una constante de proporcionalidad  $C_e$ , sin unidades y toma en cuenta el volumen de escurrimiento y el volumen de lluvia para el cálculo.

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{11}}$$

*Ecuación 2. Coeficiente de escurrimiento*

Donde:

$V_{ed}$ : Volumen de escurrimiento directo

$V_{LL}$ : Volumen de lluvia

### Volumen de escurrimiento directo

$$V_{ed} = \frac{tb \times Qp}{2}$$

Ecuación 7.1. Volumen de escurrimiento directo

Donde:

$tb$ : tiempo base, en hr

$Qp$ : Caudal de diseño hidraulico, en  $\frac{m^3}{s}$

### Volumen de lluvia

$$V_{LL} = h_{LL} \times A$$

Ecuación 7.2. Volumen de lluvia

Donde:

$h_{LL}$ : Altura de lluvia de la tormenta, en m

$A$ : Área de la cuenca, en  $m^2$

#### ▪ Medición de caudal

El caudal es uno de los datos que se obtiene y no es más que la determinación del volumen del agua que pasa por una sección transversal de una corriente (río, canal, acequia) en la unidad de tiempo. Este caudal se expresa por la formula  $Q = A \cdot V$ , donde:  $Q$ = caudal que se mide en  $m^3/s$ , cuando la cantidad es grande (Gutiérrez, 2014).

Donde:

$A$ = área de la sección transversal ( $m^2$ )

$V$ = velocidad de la corriente de agua ( $m/s$ )

- **Aforo**

Según Gutiérrez, C (2014) Se llama aforo al conjunto de operaciones realizadas en el río, para calcular el caudal circulante en un momento determinado, anotando al mismo tiempo la altura en la escala limnimétrica, obteniendo así valores (h,Q) de niveles y caudales correspondientes a lo largo del tiempo, define la curva de descarga o de correspondencia entre niveles y caudales.

Existen varios métodos para medir el caudal en un río siendo los más conocidos los siguientes:

- **Mediciones de aforos directos**

- 1. Aforos directos con molinetes**

El molinete es un aparato de presión que mide la velocidad del agua en los puntos de una sección transversal.

- 2. Aforo volumétrico**

Consiste en medir el tiempo que tarda el agua en llenar un recipiente de volumen conocido para lo cual el caudal es fácilmente calculable con la siguiente ecuación  $Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$  es funcional para pequeños caudales.

- 3. Aforo con vertederos**

Se utiliza principalmente para la medición de caudales con pequeñas corrientes, en caudales artificiales y de laboratorio; su uso en corrientes naturales es muy restringido. Frecuentemente son utilizados los vertederos rectangulares sin contracción, con contracción, triangulares y tipo Parshall.

- 4. Aforo con flotadores**

Son los más sencillos de realizar pero también los más imprecisos; por lo tanto su uso queda limitado a situaciones donde no se requiera mayor precisión. Con este método se pretende conocer la velocidad media de la sección para ser multiplicada

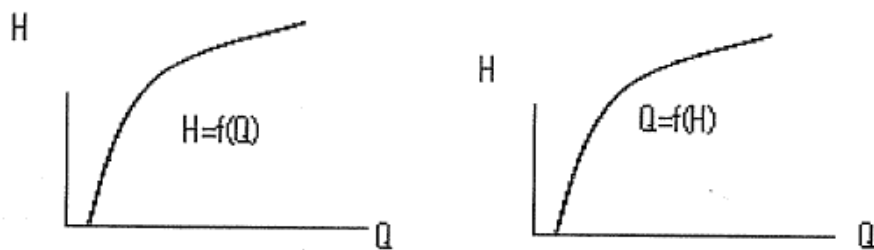
por el área y conocer el caudal según la ecuación de continuidad. Para medir la velocidad se utiliza un flotador con el cual se mide la velocidad del agua de la superficie.

- **Mediciones de aforos indirectos**

- 1. Curva de descarga**

La curva de descarga se obtiene al graficar los valores de caudal  $Q$  vs nivel  $H$  de todos los aforos realizados en la estación hidrométrica para la determinación de ecuación de la curva de descarga se ha tomado la relación  $Q=f(H)$ , es decir la dependencia de los caudales en función de los niveles a pesar de que el gráfico adoptado, la variable física independiente corresponde al caudal y el nivel a la función.

*Figura 6. Dependencia de caudales en función de la altura*



**Fuente:** Gutiérrez, C (2014)

Para la medición del caudal máximo se tomó en cuenta la ecuación de la curva de descarga por parte del INAMHI el cual se lo detalla en el capítulo 4.

## **2.3.Modelación hidrológica**

Un modelo hidrológico es una aproximación al sistema hidrológico real, sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y salidas (Ven Te Chow, 1994).

Un modelo es la representación simplificada de un sistema, por lo cual debe necesariamente considerar variables del sistema real en función del objetivo para el cual fue o será creado, y está compuesto por variables o elementos interrelacionados en un intervalo de tiempo, que actúan sobre una entrada de manera controlada bajo ciertas restricciones para producir una salida (Gaspari F.J., 2009).

### **2.3.1. Modelo hidrológico empírico**

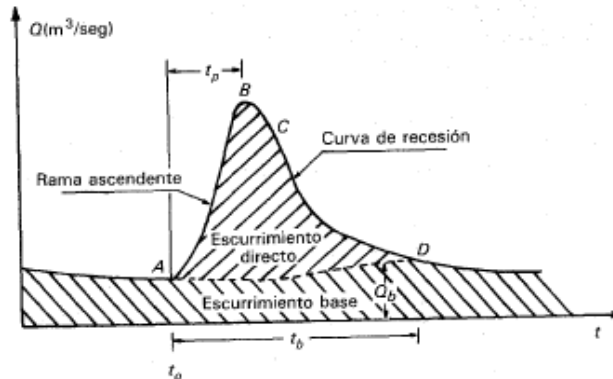
Es un modelo que pretende obtener conocimiento a partir de la observación de la realidad. Por ende, está basado en la experiencia. En este modelo, la observación de la realidad es el punto de partida para formular hipótesis, las cuales deben ser sometidas a prueba mediante la experimentación por esta razón el modelo funciona como una relación calibrada entre entradas y salidas, recibe el nombre de modelo empírico o de regresión.

Estos modelos se basan en relaciones entrada-salida, sin ningún intento de describir el comportamiento causado por procesos individuales los cuales se apoyan en ecuaciones físicas que representan todos los procesos involucrados en el fenómeno a simular y haciendo innecesario el proceso de calibración; sin embargo, la falta de suficiente información relativa a los procesos que se desarrollan en el suelo, en el subsuelo y en la vegetación esto generan incertidumbre y la calibración se hace necesaria (Molnar, 2011).

## **Hidrograma**

Aparicio, 1992; menciona que si se mide el gasto, el cual se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se pueden obtener el siguiente gráfico. Ver figura 7.

**Figura 7. Hidrograma**



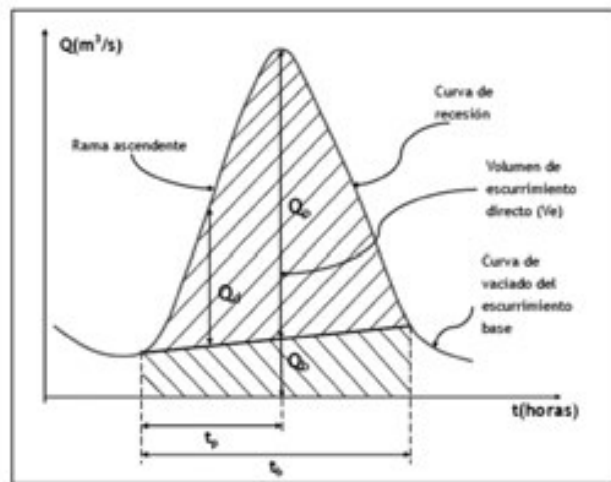
**Fuente:** Aparicio, 1992

Según Aparicio, 1992; el tiempo base de un hidrograma aislado puede ser desde algunos minutos hasta varios días, y el pico puede tener valores del orden de unos cuantos litros por segundo hasta miles de metros cúbicos por segundo. El área bajo el hidrograma es el volumen total escurrido; el área bajo el hidrograma y arriba de la línea de separación entre gasto base y directo, es el volumen de escurrimiento directo. Debido a que el escurrimiento directo proviene de la precipitación, casi siempre aporta un componente del gasto total en un hidrograma mucho mayor que el que genera el escurrimiento base.

## Partes del hidrograma

A continuación, se presenta el marco conceptual de las partes características de un hidrograma ver figura 8.

**Figura 8.** Partes del Hidrograma



**Fuente:** Villón, 2014

- **Curva de concentración:** Es la parte ascendente del hidrograma en la cual se observa que se incrementa al caudal de escorrentía a medida que transcurre el tiempo.
- **Pico del hidrograma:** Corresponde al caudal máximo de escorrentía superficial registrada en la zona del proyecto.
- **Curva de descenso:** Es la parte descendente del hidrograma en la cual se observa el descenso del caudal de escorrentía a medida que transcurre el tiempo.
- **Punto de inicio de la curva de agotamiento:** Este punto representa que la escorrentía superficial ha terminado y el volumen de agua de escorrentía tiene su origen en la escorrentía subterránea.
- **Curva de agotamiento:** el volumen de agua de escorrentía tiene su origen en la escorrentía subterránea.

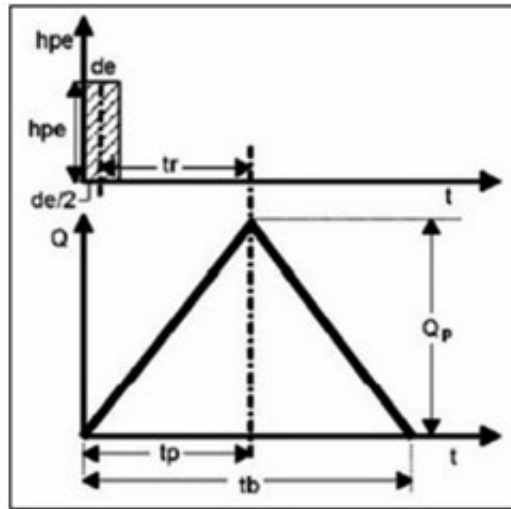
- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que demora el viaje de una gota de agua desde la parte más alejada de la cuenca hidrográfica hasta el sitio de medida de caudal o punto de aforo.

### **Hidrograma Triangular**

Para este modelo hidrológico empírico, ver figura 9; se utilizará el hidrograma triangular el cual fue desarrollado su por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos de Norte América, se utiliza en el estudio hidrológico de cuencas hidrográfica pequeñas (Villon, 2012).

- ❖ **Primer principio:** Al momento que se presenta la precipitación en la cuenca hidrográfica, base del estudio, se supone que la escorrentía superficial que se genera tiene igual duración y distribución espacial que la precipitación efectiva, no se considera la duración de la precipitación en el período de tiempo comprendido entre el  $1/3$  y  $1/5$  del tiempo de concentración que se calcule en la cuenca hidrográfica.
- ❖ **Segundo principio:** Las ordenadas de los hidrogramas que se presentan en la cuenca hidrográfica corresponden a precipitaciones unitarias, las mismas que tienen distribución temporal y espacial idénticas son directamente proporcionales a sus intensidades.
- ❖ **Tercer principio:** Al momento que se presenta la precipitación en la cuenca hidrográfica se supone que las precipitaciones de larga duración se pueden obtener como una sucesión de precipitaciones unitarias y sumando las ordenadas correspondientes a las mismas.

**Figura 9. Hidrograma triangular**



**Fuente:** Villon, 2012

**Tiempo de concentración**

Según Kirpich, Z.P. (1940), el tiempo de concentración  $t_c$ , se puede estimar con la ecuación de: kirpich.

$$t_c = 0.000325x \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

*Ecuación 3. Ecuación tiempo de concentración*

Donde:

Tc: Tiempo de concentración

L: Longitud del río principal

S: Pendiente del río principal

**Duración en exceso**

Según Kirpich, Z.P. (1940), se puede calcular la duración de exceso con el mayor caudal máximo es representado con la siguiente fórmula.

$$D_e = 2\sqrt{t_c}$$

*Ecuación 4. Duración de exceso*

Donde:

De: Duración en exceso

Tc: Tiempo de concentración

### **Tiempo pico**

Según Kirpich, Z.P. (1940), para el cálculo del tiempo pico se reemplaza la duración en exceso y el tiempo de concentración en la ecuación para tiempo pico.

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6 \times t_c$$

*Ecuación 5. Tiempo pico*

Donde:

Tp: Tiempo pico

Tc: Tiempo de concentración

### **Cálculo del tiempo base**

Según Kirpich, Z.P. (1940), para el tiempo base se multiplica por la constante de 2.67 por el tiempo pico.

$$t_b = 2.67 \times t_p$$

*Ecuación 6. Cálculo de tiempo base*

Donde:

Tb: Tiempo base

Tp: Tiempo pico

### **Tiempo de retraso**

Según Ven te Chow. (1994), menciona que el tiempo de retraso se lo estima en horas, tomando en cuenta la longitud del cauce del río y su pendiente, presentando así la siguiente ecuación.

$$t_r = 0.005 \times \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

*Ecuación 7. Tiempo de retraso*

Donde:

Tr: Tiempo de retraso, (h)

L: Longitud del cauce principal, en m

S: Pendiente del cauce, en %

### **Caudal de diseño hidráulico máximo**

Según Kirpich, Z.P. (1940), toma en cuenta para el cálculo de caudal de diseño máximo: el volumen de agua escurrido y el área de la cuenca. Así tendríamos la altura de precipitación y el tiempo base quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$Qp = 0.208 \times \frac{h_{pe} \times A}{t_p}$$

*Ecuación 8. Caudal de diseño hidráulico – Pico*

Donde:

Qp: Caudal de diseño hidráulico máximo

$h_{pe}$ : Lluvia en exceso, en cm

A: Área de la cuenca de estudio, en  $Km^2$

Tp: Tiempo pico, en hora

### **2.3.2. Modelo hidrológico directo**

Respecto a este modelo hidrológico directo se utilizará el programa HEC-HMS el cual se lo puede realizar con diferentes tipos de software para el análisis. El modelo de escurrimiento directo es el efecto integrado de la lluvia, interceptación, evapotranspiración, infiltración y el escurrimiento en lámina sobre el terreno, en un punto específico de una cuenca; la conversión de las lluvias a escurrimiento es un proceso complejo, que depende tanto de la distribución espacial y temporal de las lluvias como de las características físicas de la cuenca. (McColl y Agget, 2007).

Para este tipo de análisis hidrológico, se establece un estándar de clasificación de los suelos definidos en cuatro grupos, los cuales pueden ser A, B, C o D, donde el grupo A considera suelos de mínimo potencial de escurrimiento y el D con potencial de escurrimiento más alto. Para poder definir al suelo, su clasificación, se toma en cuenta su composición, su textura y la profundidad del nivel freático. El factor CN (número de curva que define la precipitación efectiva de una tormenta) (McColl y Agget, 2007).

### **HEC- HMS**

El Sistema de Modelado Hidrológico (Hydrologic Modeling System, HMS), conocido como Hec-Hms, es una poderosa aplicación para el modelado hidrológico desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (US Army Corps), con el que se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial como resultado de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos; cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca, comúnmente llamada subcuenca, y puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o un embalse, y su representación requiere un conjunto de parámetros que especifiquen sus características particulares y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico, siendo el resultado del proceso de modelaje el cálculo de los hidrogramas del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río (Villón, 2014, p.24).

El Hec-Hms está diseñado para simular el proceso de precipitación-escurrimiento en cuencas y se puede aplicar en una diversidad de regiones geográficas para solucionar un rango general de problemas, aunque también se lo puede utilizar en pequeñas cuencas urbanas o en grandes cuencas sin intervención, y cuyos resultados se pueden aplicar a estudios sobre disponibilidad de agua, drenaje urbano, observación de flujo, impacto de intervenciones en cuencas o reducción del daño por inundaciones (Villón, 2014, p.25).

## **2.4.Modelación matemática**

La modelación matemática, el análisis de datos y la creación y mantenimiento de bases de datos digitales, son actividades que desarrollan capacidades técnicas que permiten dicha gestión (Fattorelli y Fernández, 2011).

### **2.4.1. Modelos estadísticos**

Son modelos en los cuales, las relaciones entre las variables están gobernadas por leyes de probabilidad, tanto en relación con su magnitud (correlaciones) como en su secuencia en el tiempo (Fattorelli y Fernández, 2011).

#### **a) Determinísticos**

Es un modelo matemático donde las mismas entradas o condiciones iniciales producirán invariablemente las mismas salidas o resultados, no contemplándose la existencia de azar, o incertidumbre en el proceso modelada mediante dicho modelo (Fattorelli y Fernández, 2011).

#### **b) Estocásticos**

Un modelo estocástico representa una situación donde la incertidumbre está presente. En otras palabras, es un modelo para un proceso que tiene algún tipo de aleatoriedad. (Fattorelli y Fernández, 2011).

### **2.4.2. Modelos de optimización**

Son modelos que optimizan una función objetivo, sujeto a un cierto número de restricciones o condiciones de borde de los cuales los más usados en hidrología son los de programación lineal y programación dinámica así se puede identificar un modelo de simulación hidrológica, se debe enmarcar el mismo en todo lo expresado: así por ejemplo el modelo hidrológico HEC-1 o el HMS (Fattorelli y Fernández, 2011).

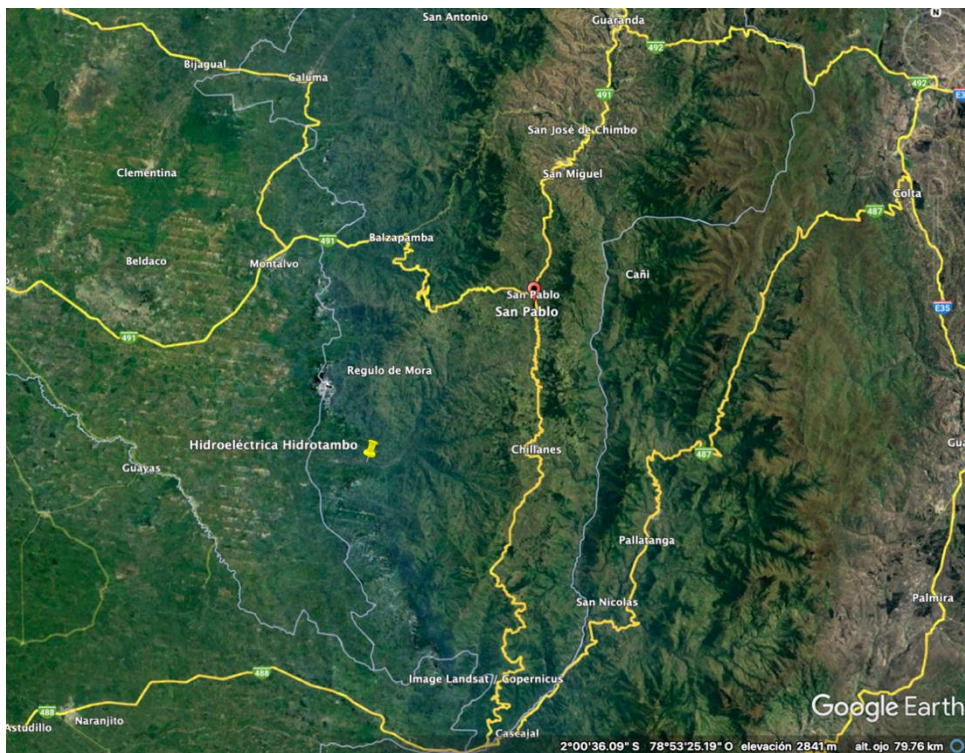


### 3.1.1. Descripción de la cuenca

La cuenca Dulcepamba cuenta con cerca de  $500 \text{ km}^2$  de extensión y varía en elevación desde los 100 m hasta los 3.200 m sobre el nivel del mar; las zonas norte y este son particularmente escarpadas, montañosas y cubiertas ampliamente por selva o por matorrales al igual que en zonas más llanas y de menor elevación, el uso del suelo está dominado por una variedad de usos agrícolas (GAD Chillanes, 2015).

El río Dulcepamba fluye en dirección suroeste, existiendo varios afluentes que se van juntando al cauce principal, a causa de la desembocadura de la cuenca se encuentra en las llanuras de la región costera (GAD Chillanes, 2015). Ver figura 11.

**Figura 11.** Ubicación del área de estudio



**Fuente:** Google Earth

Las coordenadas geográficas que identifican la cuenca del río Dulcepamba se muestran en la tabla 1.

**Tabla. 1** Coordenadas de ubicación del área de estudio

LATITUD	LONGITUD
1° 57' 13.497" S	79° 10' 58.182" W

**Fuente:** Google Earth

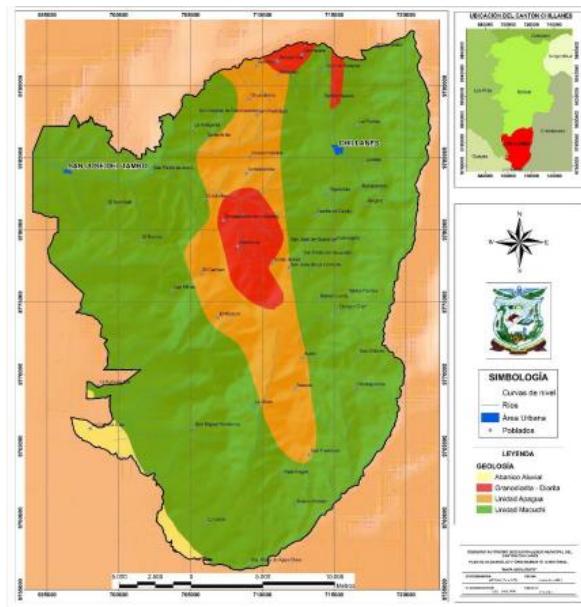
### **3.2. Clima**

El clima dentro del cantón Chillanes tiene una gran variedad de clima que va desde el frío del páramo, hasta el cálido de las zonas subtropicales de entre 20°C a 23°C en promedio anual lo que permite la aparición de varios microclimas por lo que cambia la temperatura y precipitación en distancias cotas. Los factores climáticos más importante son la precipitación, evapo-traspiración, temperatura, humedad del aire y viento (GAD Chillanes, 2015).

### **3.3. Geología**

La formación Macuchi domina gran parte de la Cordillera Occidental; (ver figura 12), ésta corresponde a una secuencia de arco submarino, volcánico-clástica, predominantemente sedimentaria, con volcánicos intercalados, posiblemente lavas u hojas subvolcánicas; litológicamente está compuesta por arenas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limonitas volcánicas, micro-gabros diabasas, basaltos sub porfiríticos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas; geoquímicamente, la Unidad Macuchi muestra características definitivas de arco de islas y comprende desde basaltos, andesitas basálticas sub-alcalinos de afinidad toleítica a alcalina con características geoquímicas relacionadas a subducción (IEE, 2013).

**Figura 12.** Mapa geológico- cantón Chillanes, Bolívar



**Fuente:** GAD CHILLANES, 2015

Respecto a las fallas geológicas locales en el territorio provincial se observan muchas fracturas y fallas longitudinales y transversales, generalmente tienen rumbos Noreste-Suroeste y Noroeste - Sureste, en ambos casos con pequeños ángulos de inclinación. Existe un fracturamiento local, fuerte y prolongado en dirección norte en el Cantón Chillanes que es probablemente una falla considerable (IEE, 2013).

### 3.3.1. Morfología

De conformidad a la geología del cantón Chillanes, la composición litológica es diversa ha dado origen a variedad de tipos de suelos, cuya composición física – química y textura está caracterizada por los factores climáticos, entre los que se encuentran aluviales, suelos arcillosos, arcillo-arenosos, arenosos y pedregosos (GAD Chillanes, 2015).

### 3.3.2. Unidades litológicas y edafológicas

#### a) Aluviales

- Identificación, siglas taxonómicas T3
- Clasificación taxonómica (tropofluvents) caracterizados por ser suelos

aluviales, profundos, de textura variable pudiendo ser ésta limosa, arcillosa o pedregosa. Este tipo de suelos son encontrados en la zona tropical.

#### **b) Suelos arcillosos**

Son suelos rojos, profundos a moderadamente profundos, localizados en las comunidades, San Gabriel, Santa Rita, La Elena, El Destierro Bajo y Fortuna Alta (GAD Chillanes, 2015).

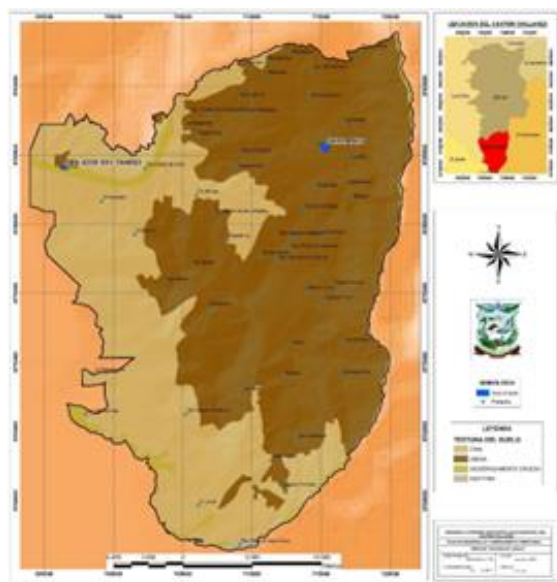
#### **c) Suelos arcillo-arenosos**

Son suelos rojizos, profundos a moderadamente profundos, localizados en Dulcepamba, Chontayacu, Guayacán, Naranjal, La Colombia Alta, Bermejál y El Recreo (GAD Chillanes, 2015).

#### **d) Suelos arenosos y pedregosos**

Localizados principalmente en pequeñas terrazas aledañas a los cauces de los ríos Chimbo y Sicoto; ver figura 13. La mayor parte del Cantón Chillanes se encuentra constituida por suelos francos mientras que la Parroquia San José del Tambo, cuenta con suelos arcillosos a arcillo-arenosos y suelos francos (GAD Chillanes, 2015).

**Figura 13.** Textura del suelo



**Fuente:** GAD CHILLANES, 2015

### 3.4. Climatología e Hidrología

#### 3.4.1. Precipitación

En la Parroquia Chillanes, llueve una media anual de 928.5 milímetros. Desde enero hasta abril es la época lluviosa. De mayo a diciembre son meses de transición, tanto a la época seca como lluviosa, respectivamente. El aire relativamente cálido y húmedo produce en la cima de la cordillera lluvias, lloviznas, niebla o nubes que impiden la visibilidad a corta distancia especialmente para los sectores de La Miran, Achín, San Francisco de Azapi y Vista Alegre. Hacia la parroquia de San José del Tambo y alrededores, el total anual de agua de lluvia es de 2275 milímetros, que significa alrededor de 2 veces y media más agua de lluvia que en la Parroquia Chillanes. Los meses donde se distribuye la lluvia son principalmente de diciembre hasta junio. En el extremo sur del Cantón, en Santa Rosa de Agua Clara, el total anual de agua lluvia es de 2180 milímetros, con precipitaciones concentradas de diciembre a junio (GAD Chillanes, 2015).

#### 3.4.2. Temperatura

La temperatura de Chillanes es varía entre cálida, templada y fría, que corresponde a una altura que oscila desde los 100 hasta los 2680 m.s.n.m. sujeto a las masas de aire que ascienden por los flancos de las cordilleras. La temperatura promedio de la Parroquia Chillanes es de 13°C; hacia el sur del cantón la temperatura es 20 - 23°C mientras que en la Parroquia San José del Tambo, la temperatura media anual es de 24°C (GAD Chillanes, 2015).

El territorio del cantón tiene cuatro pisos climáticos bien diferenciados:

- **Primero:** Piso tropical, que recibe la influencia de los vientos del Pacífico y corresponde a las estribaciones de la Cordillera Occidental hasta una altura de 1500 metros sobre el nivel del mar y con temperaturas sobre 19°C. Esta zona es montañosa, abrupta, con abundante pluviosidad y presenta algunos encañonados que van a perderse en la planicie del litoral. Los recintos que se

encuentran en este piso lateral de la cordillera son: Santa Rosa de Agua Clara; San José del Tambo; San Pablo de Amalí, Dulce Pamba, Pacay, La Envidia, Tablaspamba, El Tigrillo, Luz Elvira, La Colobia Alta, Colombia Baja, Rosa Elvira, Bermejil, Changuil Medio, Changuil de Vainillas, San Gabriel, La Angélica, El Recreo, Las Minas, Adolfo Kler, La Elena, Tendal, Fortuna Alta, Fortuna Baja, El Destierro, San Francisco del Destierro, Cooperativa Santa Rita, San José del Edén, Estero de la Plata, El Recreo, Naranjal, Cangasambi y Cabecera del Malpote.

- **Segundo:** Piso templado subtropical, que está comprendido entre los 1500 y 2000 metros sobre el nivel del mar con temperaturas de 15 a 19°C, está determinado por una escasa pluviosidad. Esta franja corresponde a las partes bajas de las altiplanicies del valle de Chillanes, y corresponde a los recintos: Naranjaloma, Cerritos, Mamasara; Mirador - San Francisco de Azapi, La Mirán Baja y La Mirán Alta.
- **Tercero:** Piso templado sub-andino, que corresponde a la franja entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar con temperaturas entre los 10 y 15 grados centígrados y con escasa pluviosidad. Aquí se encuentran los recintos: San Francisco, San Vicente, Arrayampamba, Jashi, Tiquibuzo, Achín, San Pedro de Guayabal, San José de Guayabal, San José y Pacay, San Juan Pamba, Zumbe y Florida, Ensilado, Bola de Oro, Tablaspamba, Azanloma, Torreloma, Nuevo Porvenir, Cruz de Perezán, Santa Teresita, Alto Loma, Río de Oro, Alto Loma, Jarungo, Urco Corral, La Mirán, Balacelo, Guacalgoto, San José de Azapi, Chaguangoto, Vista Alegre, Cerro Negro, El Carmen, Chontapamba, San José de La Mirán, Mangashpa, La Laura, Algodón Loma, Mamasara de Cerritos, Ramosloma, San Ramón, La Comuna, Tambanal, Sanabanán, San Antonio y Undushí.
- **Cuarto:** piso frío andino, está en las alturas del monte Puntzucama, La Florida, Cuchicagua, el Tigre Urco y una pequeña parte de loma de Pivitan, que sobrepasan los 3000 metros sobre el nivel del mar; encontramos un clima bastante frío con una temperatura que fluctúa entre de 4 y 8°C. Aquí observamos una zona de transición del piso templado sub-andino al piso andino o páramo. La vegetación predominante son las gramíneas: (holco, cola

de zorro, grama, festuca, kikuyo y rastreras); arbustos entre los que destacan el (Gualicón, Pujín, Cucharillo, Pungal). La producción agrícola es muy escasa, pues las áreas están destinadas a praderas naturales. Por la ubicación estratégica deben valorizarse como miradores naturales a través del impulso de un corredor ecoturístico (cerros: Puntzucama 3.130m, Cuchicagua 3.000 m, Tigre Urco 2.980m)

### **3.4.3. Humedad**

La mayor humedad relativa ocurre durante los meses lluviosos entre diciembre y junio, con un valor medio del 90%; mientras que hacia el sur del cantón, por ser una zona lluviosa, la humedad relativa del 91% es constante durante todo el año (GAD Chillanes, 2015).

## CAPITULO IV: MODELO HIDROLÓGICO

### 4.1. Trabajo en campo

#### 4.1.1. Ubicación para el trabajo en campo

En el presente tema de disertación se realizó el siguiente trabajo en campo con el objetivo de realizar el levantamiento del perfil del río; ver figura 14 y 15, para las coordenadas ver tabla 2 y 3. Para la ubicación del levantamiento topográfico ir anexo 3 y 7

**Figura 14.** Ubicación del levantamiento topográfico – Sicoto



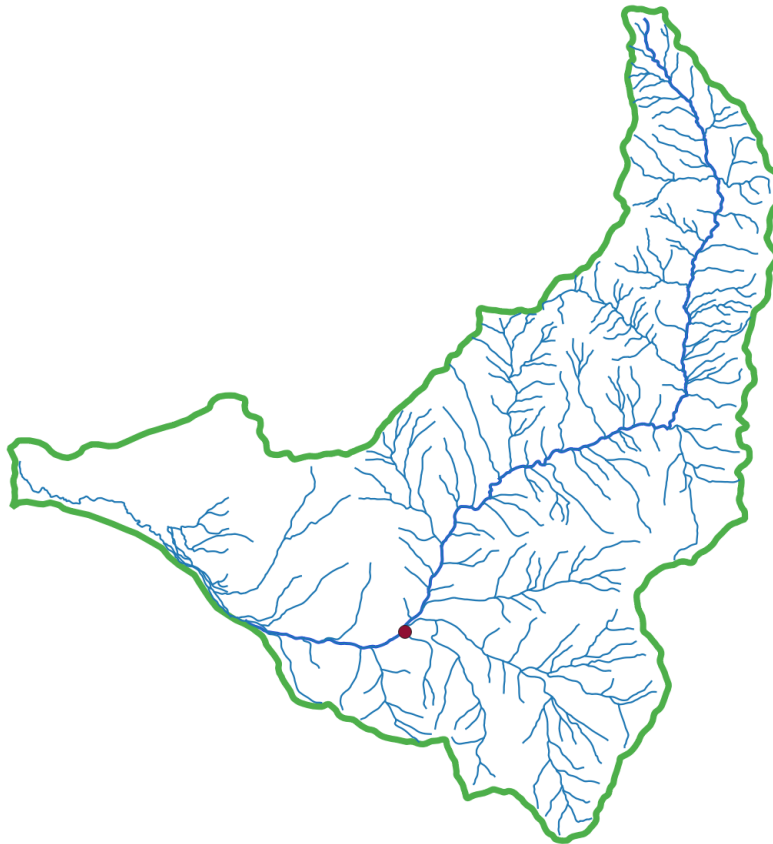
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla. 2.** Coordenadas de ubicación del levantamiento topográfico – Sicoto

LATITUD	LONGITUD	COTA
714496	9794272	2070

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 15.** Ubicación del levantamiento topográfico – San Pablo de Amalí



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.** Coordenadas de ubicación del levantamiento topográfico – San Pablo de Amalí

LATITUD	LONGITUD	COTA
702169	9784122	414

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2. Ubicación estaciones automáticas

En la zona de estudio se recopiló información de datos de precipitación proporcionado por la estación automática de San Pablo de Atenas ubicado en la cuenca del río Dulcepamba. Ver figura 16 y tabla 4.

**Figura 16.** Ubicación estación automática – San Pablo de Atenas



**Fuente:** Google Earth

**Tabla 4.** Coordenadas de ubicación estación automática – San Pablo de Atenas

LATITUD	LONGITUD	COTA
-1.818602612	-79.067439187	2750

**Fuente:** Google Earth

La estación automática presente en San Pablo de Atenas tiene características para registrar 5 tipos de datos autónomos los cuales son: radiación solar, humedad, temperatura, velocidad de viento y precipitación. la precipitación se registra cada 5 minutos.

### 4.3. Topografía del cauce del río Dulcepamba

Se realizó el levantamiento topográfico en las 2 ubicaciones señaladas anteriormente con el objetivo de obtener el perfil del cauce del río. Para esto fue necesario la utilización del equipo de topografía como: el nivel (Leica), mira y trípode. Para más detalle de los instrumentos observar anexo 1.

#### 4.3.1. Método de levantamiento topográfico.

Para el levantamiento de campo ver anexo 2, en los lugares de estudio del río Dulcepamba se realizó el método que determina directamente el desnivel entre dos puntos de un plano horizontal. Para encontrar la diferencia del nivel entre el punto A y B siguiendo el siguiente procedimiento:

- Ubicarse en un lugar plano y que no obstaculice la vista para el operador del nivel.
- Clavar estacas en los extremos del río y pasar una línea de referencia con una cuerda o sogá por medio de las estacas.
- Instalar el nivel con el trípode en un lugar que se fácil de operar y observar la mira.
- Con la ayuda de otra persona que sostenga la mira lo más vertical posible sobre el punto de cota, hasta que el operador del nivel observe las medidas.
- Inmediatamente el operador del nivel leerá el valor que resulte del hilo medio, así fijando la graduación de la medición.
- Se tomará mediciones primero mirada atrás Punto B y el resto serán miradas adelante Punto A.

Para esto se aplicará la fórmula de *Matrás – Madel = Diferencia de cotas*

- Las mediciones se las realizaron cada 30 cm con esto aseguramos la exactitud de las medidas para el perfil del río.

A continuación, se muestra el levantamiento topográfico realizado el 17 de septiembre del 2022; ver tabla 3 y 4. En las ubicaciones señaladas para el estudio del modelamiento hidrológico que se encuentra en los objetivos de esta disertación. Ver el plano de perfil longitudinal para el río Dulcepamba en anexo 17.

**Tabla 3. Levantamiento topográfico- Sicoto, 17 septiembre del 2022**

ESTACIÓN	.- + (Atras)	A	.- (Adelante)	COTA	HILO SUPERIOR	HILO INFERIOR	DIFERENCIA	DISTANCIA
BM-A	1.331	101.331	1.585	100.000	1.600	1.57	0.030	0.300
1	1.331	101.331	2.673	99.746	2.688	2.658	0.030	0.300
2	1.331	101.331	2.682	98.658	2.697	2.667	0.030	0.300
3	1.331	101.331	2.695	98.649	2.71	2.68	0.030	0.300
4	1.331	101.331	2.658	98.636	2.673	2.643	0.030	0.300
5	1.331	101.331	2.741	98.673	2.757	2.726	0.031	0.310
6	1.331	101.331	2.768	98.590	2.783	2.753	0.030	0.300
7	1.331	101.331	2.854	98.563	2.869	2.838	0.031	0.310
8	1.331	101.331	2.955	98.477	2.970	2.939	0.031	0.310
9	1.331	101.331	2.945	98.376	2.960	2.93	0.030	0.300
10	1.331	101.331	2.942	98.386	2.958	2.927	0.031	0.310
11	1.331	101.331	2.938	98.389	2.954	2.923	0.031	0.310
12	1.331	101.331	2.916	98.393	2.931	2.901	0.030	0.300
13	1.331	101.331	2.861	98.415	2.876	2.846	0.030	0.300
14	1.331	101.331	2.895	98.470	2.91	2.88	0.030	0.300
15	1.331	101.331	2.922	98.436	2.937	2.907	0.030	0.300
16	1.331	101.331	2.924	98.409	2.939	2.909	0.030	0.300
17	1.331	101.331	3.067	98.407	3.082	3.051	0.031	0.310
18	1.331	101.331	3.146	98.264	3.162	3.13	0.032	0.320
19	1.331	101.331	3.165	98.185	3.181	3.151	0.030	0.300
20	1.331	101.331	3.187	98.166	3.203	3.173	0.030	0.300
21	1.331	101.331	3.262	98.144	3.277	3.247	0.030	0.300
22	1.331	101.331	3.300	98.069	3.314	3.285	0.029	0.290
23	1.331	101.331	3.368	98.031	3.383	3.352	0.031	0.310
24	1.331	101.331	3.362	97.963	3.377	3.346	0.031	0.310
25	1.331	101.331	3.408	97.969	3.423	3.394	0.029	0.290
26	1.331	101.331	3.335	97.923	3.35	3.32	0.030	0.300
27	1.331	101.331	3.388	97.996	3.403	3.373	0.030	0.300
28	1.331	101.331	1.761	97.943	1.776	1.746	0.030	0.300
B				99.570				8.780

**Fuente: Trabajo en campo**

El levantamiento de Sicoto del 17 de septiembre del 2022 muestra una longitud total de 8.78 m y una longitud de río de 6.72 m. Con esto se puede observar las profundidades del cauce, el pico más alto con referencia al nivel Nv+ 0.00 m es de -0.77m. Ver anexos 8 y 9 de levantamiento topográfico en Sicoto.

**Tabla 4. Levantamiento topográfico- San Pablo de Amalí 17 de Septiembre del 2022**

ESTACIÓN	.+ (Atras)	A	-. (Adelante)	COTA	HILO SUPERIOR	HILO INFERIOR	DIFERENCIA	DISTANCIA
BM-A	1.259	101.259	1.745	100.000	1.760	1.73	0.030	0.300
1	1.259	101.259	1.842	99.514	1.857	1.827	0.030	0.300
2	1.259	101.259	1.872	99.417	1.887	1.856	0.031	0.310
3	1.259	101.259	1.898	99.387	1.912	1.882	0.030	0.300
4	1.259	101.259	1.967	99.361	1.982	1.952	0.030	0.300
5	1.259	101.259	2.022	99.292	2.038	2.007	0.031	0.310
6	1.259	101.259	2.048	99.237	2.063	2.033	0.030	0.300
7	1.259	101.259	2.115	99.211	2.132	2.1	0.032	0.320
8	1.259	101.259	2.167	99.144	2.182	2.151	0.031	0.310
9	1.259	101.259	2.265	99.092	2.281	2.25	0.031	0.310
10	1.259	101.259	2.337	98.994	2.352	2.322	0.030	0.300
11	1.259	101.259	2.372	98.922	2.387	2.357	0.030	0.300
12	1.259	101.259	2.439	98.887	2.454	2.424	0.030	0.300
13	1.259	101.259	2.466	98.820	2.481	2.45	0.031	0.310
14	1.259	101.259	2.549	98.793	2.565	2.534	0.031	0.310
15	1.259	101.259	2.566	98.710	2.58	2.551	0.029	0.290
16	1.259	101.259	2.632	98.693	2.646	2.617	0.029	0.290
17	1.259	101.259	2.731	98.627	2.746	2.716	0.030	0.300
18	1.259	101.259	2.815	98.528	2.83	2.8	0.030	0.300
19	1.259	101.259	2.917	98.444	2.933	2.902	0.031	0.310
20	1.259	101.259	2.938	98.342	2.953	2.922	0.031	0.310
21	1.259	101.259	2.920	98.321	2.936	2.904	0.032	0.320
22	1.259	101.259	2.857	98.339	2.872	2.841	0.031	0.310
23	1.259	101.259	2.884	98.402	2.9	2.868	0.032	0.320
24	1.259	101.259	2.875	98.375	2.891	2.861	0.030	0.300
25	1.259	101.259	2.881	98.384	2.895	2.866	0.029	0.290
26	1.259	101.259	2.895	98.378	2.911	2.88	0.031	0.310
27	1.259	101.259	2.939	98.364	2.953	2.924	0.029	0.290
28	1.259	101.259	2.917	98.320	2.932	2.902	0.030	0.300
29	1.259	101.259	2.881	98.342	2.896	2.866	0.030	0.300
30	1.259	101.259	2.954	98.378	2.97	2.939	0.031	0.310
31	1.259	101.259	2.835	98.305	2.851	2.82	0.031	0.310
32	1.259	101.259	2.712	98.424	2.728	2.696	0.032	0.320
33	1.259	101.259	2.415	98.547	2.43	2.399	0.031	0.310
34	1.259	101.259	2.481	98.844	2.496	2.465	0.031	0.310
35	1.259	101.259	2.385	98.778	2.401	2.369	0.032	0.320
36	1.259	101.259	2.367	98.874	2.383	2.352	0.031	0.310
37	1.259	101.259	2.265	98.892	2.283	2.253	0.030	0.300
38	1.259	101.259	2.268	98.994	2.28	2.25	0.030	0.300
39	1.259	101.259	2.241	98.991	2.255	2.226	0.029	0.290
40	1.259	101.259	2.135	99.018	2.149	2.12	0.029	0.290
41	1.259	101.259	2.120	99.124	2.135	2.105	0.030	0.300
42	1.259	101.259	1.982	99.139	1.997	1.967	0.030	0.300
43	1.259	101.259	1.893	99.277	1.908	1.878	0.030	0.300
44	1.259	101.259	1.991	99.366	2.006	1.976	0.030	0.300
45	1.259	101.259	2.000	99.268	2.014	1.985	0.029	0.290
46	1.259	101.259	2.019	99.259	2.034	2.004	0.030	0.300
47	1.259	101.259	2.038	99.240	2.053	2.022	0.031	0.310
48	1.259	101.259	1.930	99.221	1.944	1.914	0.030	0.300
49	1.259	101.259	1.950	99.329	1.964	1.934	0.030	0.300
50	1.259	101.259	1.920	99.309	1.935	1.905	0.030	0.300
B				99.339				15.490

**Fuente:** Trabajo en campo

El levantamiento de San Pablo de Amalí del 17 de septiembre del 2022, muestra una longitud total de 15.50 m y una longitud de río de 10.80 m. Con esto se puede observar las profundidades del cauce al pico más alto con referencia al nivel Nv+ 0.00m es de -0.70m. Ver anexos 4 ,5 y 6 de levantamiento topográfico en San Pablo de Amalí.

#### **4.4. Recopilación de datos para el modelo empírico**

El método empírico se caracteriza por el uso de fórmulas empíricas para el cálculo de caudales máximos de diseño, coeficiente de escorrentía basando en una serie de datos ingresados para que los resultados sean fiables y lo más cercanos a la realidad de la zona de estudio (Villon, 2012).

En la parte alta de la cuenca del río Dulcepamaba se encuentra un limnigrafo el cual es de propiedad del INMAHI y se ha logrado obtener datos de los aforos de años recientes es decir del 2020 y 2021, los cuales permiten realizar la comparación entre el método hidrológico empírico y directo, puesto que se tiene información real de la zona de estudio y por otra parte la información hidrológica que se obtiene por parte del Software HEC-HMS.

A continuación, se presentan las siguientes fórmulas utilizadas para el modelamiento empírico.

##### **4.4.1. Precipitación en zona de estudio**

Con la ayuda de las estaciones automáticas de Sicoto y San Pablo de Amalí se recopilaron datos de precipitación en mm. Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua (Aparicio, F. 1992, p.113)

Estos datos referentes a precipitaciones se presentan simplificados cada 24 horas ver tabla 5 y 6. Los cuales se utilizará para el cálculo de caudales por medio del HEC-HMS.

**Tabla 5. Precipitaciones marzo y abril 2020**

FECHA	Estacion San Pablo de Atenas	FECHA	Estacion San Pablo de Atenas
	Precipitaciones (mm) 24H		Precipitaciones (mm) 24H
1/3/20	2.00	1/4/20	5.60
2/3/20	5.60	2/4/20	5.60
3/3/20	8.80	3/4/20	6.00
4/3/20	6.20	4/4/20	4.40
5/3/20	7.00	5/4/20	7.80
6/3/20	20.60	6/4/20	6.00
7/3/20	21.80	7/4/20	3.80
8/3/20	7.60	8/4/20	4.60
9/3/20	3.60	9/4/20	0.20
10/3/20	6.40	10/4/20	8.40
11/3/20	19.60	11/4/20	12.00
12/3/20	21.20	12/4/20	18.20
13/3/20	14.00	13/4/20	15.00
14/3/20	20.40	14/4/20	36.20
15/3/20	5.20	15/4/20	19.80
16/3/20	11.00	16/4/20	0.00
17/3/20	17.60	17/4/20	3.00
18/3/20	0.60	18/4/20	35.80
19/3/20	0.60	19/4/20	18.00
20/3/20	11.60	20/4/20	3.60
21/3/20	5.60	21/4/20	0.20
22/3/20	0.20	22/4/20	0.60
23/3/20	0.00	23/4/20	3.60
24/3/20	3.20	24/4/20	4.80
25/3/20	0.40	25/4/20	3.60
26/3/20	0.00	26/4/20	2.40
27/3/20	1.80	27/4/20	0.20
28/3/20	1.00	28/4/20	8.40
29/3/20	1.60	29/4/20	5.60
30/3/20	7.40	30/4/20	6.60
31/3/20	5.40		

**Fuente:** Zentra cloud

**Tabla. 6. Precipitaciones marzo y abril 2021**

FECHA	Estacion San Pablo de Atenas	FECHA	Estacion San Pablo de Atenas
	Precipitaciones (mm) 24H		Precipitaciones (mm) 24H
1/3/21	23	1/4/21	4
2/3/21	42	2/4/21	29.6
3/3/21	5.4	3/4/21	23
4/3/21	15	4/4/21	2
5/3/21	1.8	5/4/21	5.2
6/3/21	1.8	6/4/21	5.4
7/3/21	8.4	7/4/21	11.4
8/3/21	31.4	8/4/21	2
9/3/21	17.2	9/4/21	11.4
10/3/21	4.2	10/4/21	0.6
11/3/21	4.4	11/4/21	0.8
12/3/21	3.2	12/4/21	1
13/3/21	10.2	13/4/21	1.2
14/3/21	8.4	14/4/21	5.8
15/3/21	5.4	15/4/21	3.4
16/3/21	4.8	16/4/21	11
17/3/21	9.8	17/4/21	10.4
18/3/21	0.2	18/4/21	11.8
19/3/21	0.2	19/4/21	3.8
20/3/21	12.2	20/4/21	7.2
21/3/21	0	21/4/21	1.4
22/3/21	0	22/4/21	2.2
23/3/21	0	23/4/21	15.4
24/3/21	0.4	24/4/21	1
25/3/21	0	25/4/21	1.2
26/3/21	3	26/4/21	18.6
27/3/21	1.2	27/4/21	22.8
28/3/21	1	28/4/21	1.8
29/3/21	5.8	29/4/21	3.2
30/3/21	2.4	30/4/21	4.2
31/3/21	0.6		

**Fuente:** Zentra cloud

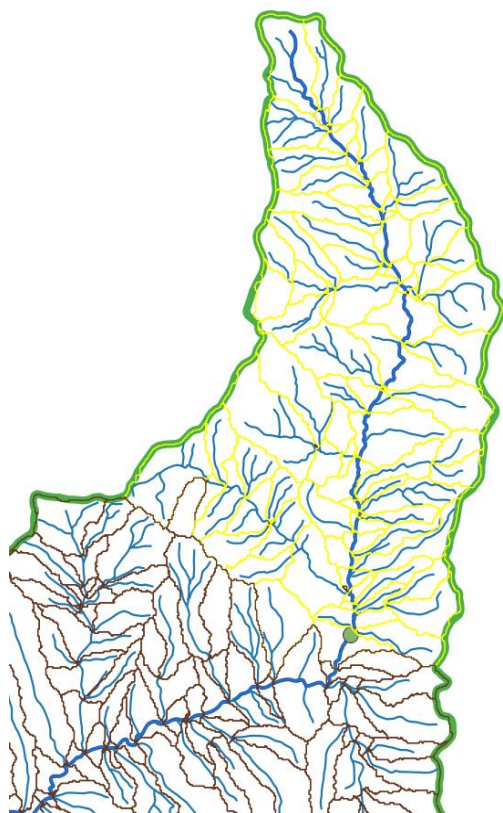
#### 4.4.2. Área de la Cuenca

Para la modelación hidrológica de la cuenca del río Dulcepamba se toma en cuenta dos grandes áreas de estudio Sicoto y San Pablo de Amalí, cabe recalcar que se dividió la cuenca a manera de ejercicio para poder tener como referencia los datos de caudales reales en Sicoto y proyectar a San Pablo de Amalí como se establece a continuación:

##### 4.4.2.1. Área de la Cuenca - Sicoto

Para más información de los datos de área de la cuenca según la figura 17 proporcionado por el programa QGIS, incluye el área de la subcuenca de Sicoto se debe observar el anexo 11.

**Figura 17.** Área de Sicoto

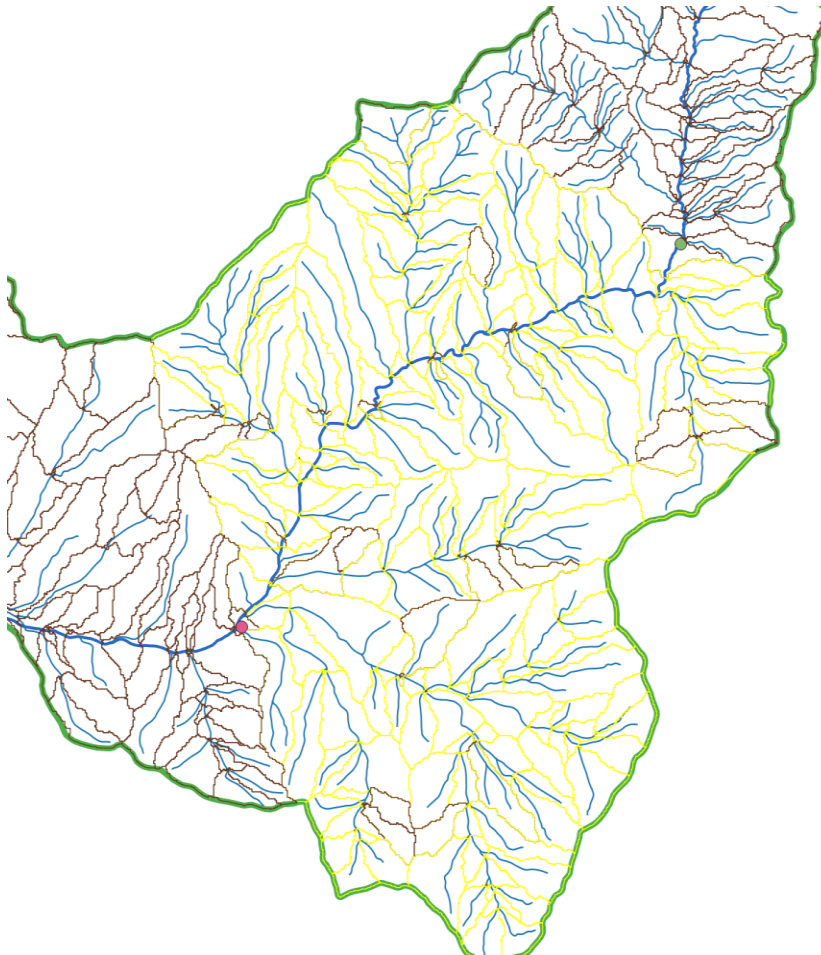


**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4.2.2. San Pablo de Amalí

Para más información de los datos de área de la cuenca según la figura 18 proporcionado por el programa QGIS, incluye el área de la subcuenca de San Pablo de Amalí se debe observar el anexo 12.

**Figura 18.** Área de San Pablo de Amalí



**Fuente:** Elaboración propia

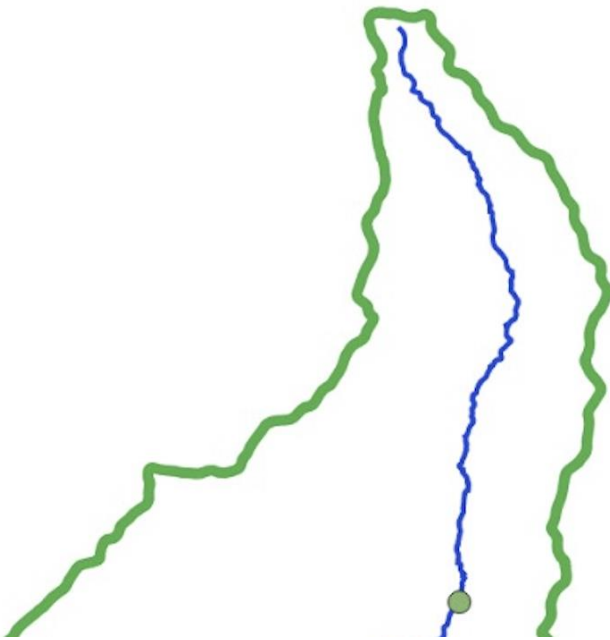
#### 4.4.3. Longitud del río principal

La longitud del río es fundamental para el cálculo de la pendiente de cada ubicación de estudio.

#### 4.4.3.1. Longitud del río principal - Sicoto

Para la longitud del río de Sicoto se tomó en cuenta aguas arriba hasta el límite de la cuenca Dulcepamba. Ver figura 19 y tabla 7.

**Figura 19.** Longitud del río de Sicoto



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla. 7** Longitud de río principal - Sicoto (m)

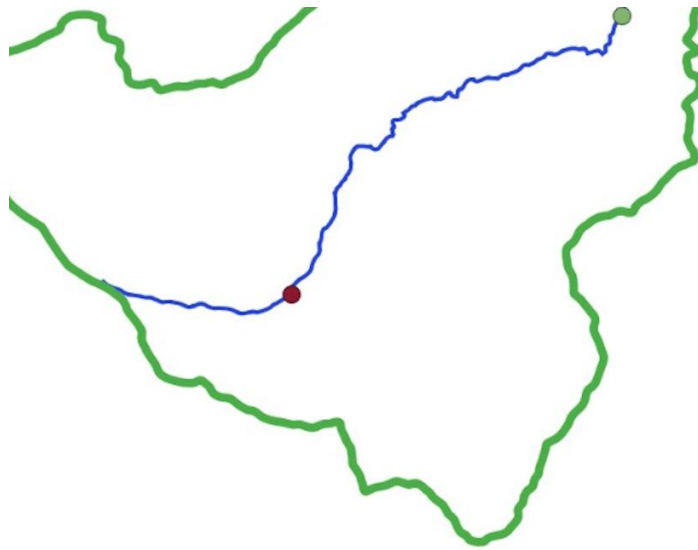
id	Longitud de río principal - Sicoto (m)
1	48
2	43
3	211
4	544
5	174
6	1314
7	541
8	108
9	601
10	344
11	521
12	414
13	162
14	605
15	250
16	987
17	96
18	576
19	163
20	1129
21	390
22	1632
23	177
24	1864
25	556
26	785
27	570
28	722
29	854
30	1233
31	812
32	109
33	406
34	1033
TOTAL	19974

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4.3.2. San Pablo de Amalí

Para la longitud del río de San Pablo de Amalí se tomó en cuenta aguas arriba hasta el punto de ubicación de Sicoto. Ver figura 20 y tabla 8.

**Figura 20.** Longitud del río de San Pablo de Amalí



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 8.** Longitud de río principal - San Pablo de Amalí (m)

id	Longitud del río principal - San Pablo de Amalí (m)
1	57
2	601
3	1258
4	697
5	821
6	340
7	598
8	36
9	171
10	396
11	405
12	630
13	384
14	201
15	617
16	1918
17	922
18	338
19	719
20	655
21	664
22	680
23	580
24	795
25	677
26	158
27	681
28	507
29	654
30	603
31	392
32	459
33	320
34	298
35	842
TOTAL	20074

**Fuente:** Elaboración propia

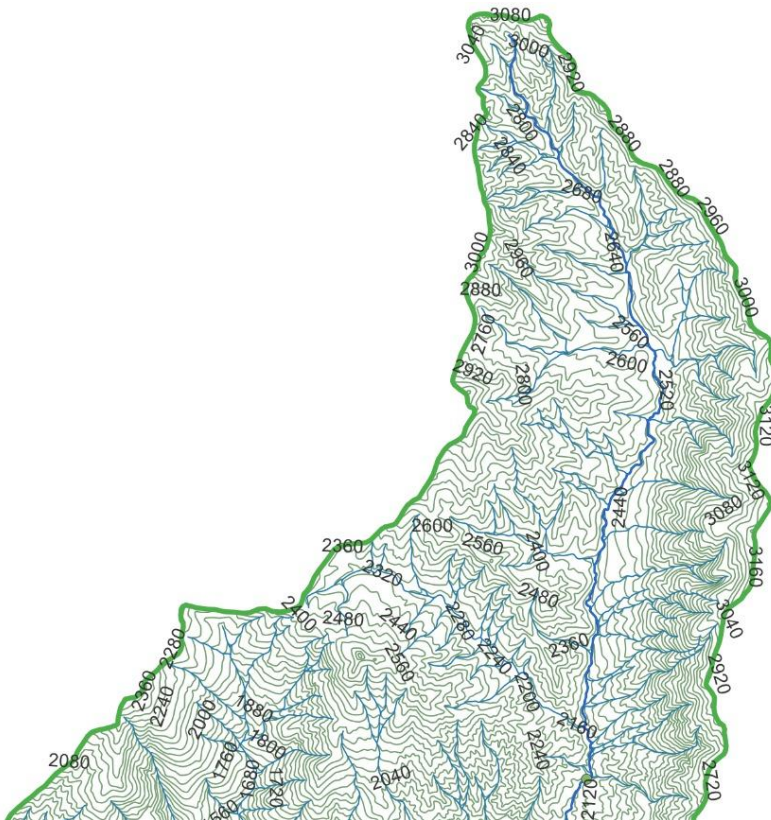
#### 4.4.4. Curvas de nivel

Con el modelo digital de elevación de curvas de nivel recopilado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) se puede representar de la siguiente manera para las 2 ubicaciones.

##### 4.4.4.1. Curvas de nivel Sicoto

Para la pendiente de Sicoto se tomó en cuenta la curva de nivel de 2070-3070 m.s.n.m. Ver figura 21.

**Figura 21.** Curvas de nivel de Sicoto

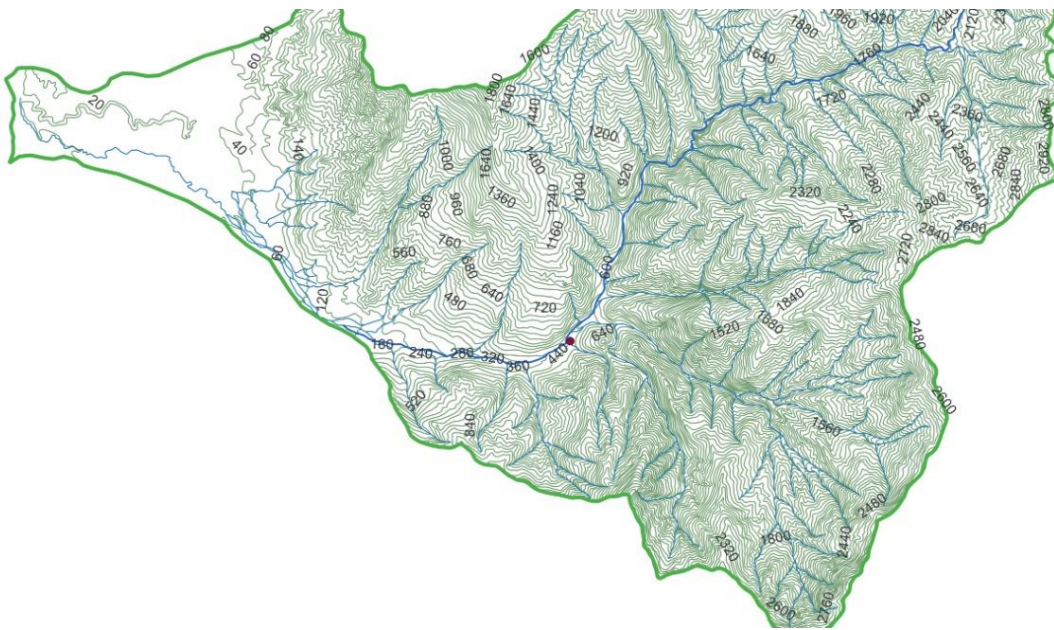


**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4.4.2. Curvas de nivel San Pablo de Amalí

Para la pendiente de San Pablo de Amalí se tomó en cuenta la curva de nivel de 2060-400 m.s.n.m. Ver figura 22.

**Figura 22.** Curvas de nivel de San Pablo de Amalí



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.5. Recopilación de datos para el modelo directo

Se recopiló las lecturas del limnigrafo por parte del INAMHI de los meses de marzo y abril en los años 2020-2021; tabla 9, 10, 11 y 12. Los cuales son datos requeridos para la modelación hidrológica empírica. Se obtuvieron en la presente estación hidrológica, H334 DE CHIMA AJ LAS PESQ. (SICOTO AJ) ubicada en las siguientes coordenadas, longitud: 79° 4' 10" W, Latitud: 1° 51' 25" S, Zona: 17, hemisferio: S. para ver los datos tomado por el INAMHI ver anexos 13, 14, 15 y 16.

**Tabla 9. Lecturas limnigrafo Marzo 2020**

FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES
1	07:00	120	17:00	120	Nublado-lluvia
2	07:00	120	17:00	120	Oscuro-llovisna
3	07:00	120	17:00	120	Oscuro-llovisna
4	07:00	116	17:00	116	Sol-llovisna
5	07:00	116	17:00	116	Nublado-llovisna
6	07:00	120	17:00	140	Llovisna-lluvia
7	07:00	130	17:00	130	Nublado-lluvia
8	07:00	131	17:00	132	Nublado-lluvia
9	07:00	132	17:00	132	Nublado-llovisna
10	07:00	132	17:00	132	Llovisna-lluvia
11	07:00	135	17:00	140	Llovisna-lluvia
12	07:00	132	17:00	140	Llovisna-lluvia
13	07:00	138	17:00	145	Oscuro-lluvia
14	07:00	140	17:00	145	Nublado-lluvia
15	07:00	145	17:00	145	Nublado-lluvia
16	07:00	145	17:00	145	Nublado-lluvia
17	07:00	145	17:00	145	Oscuro-nublado
18	07:00	145	17:00	145	Sol-oscuro
19	07:00	145	17:00	145	Sol-llovisna
20	07:00	150	17:00	140	Sol-sol
21	07:00	139	17:00	135	Sol-sol
22	07:00	132	17:00	128	Sol-sol
23	07:00	128	17:00	124	Sol-sol
24	07:00	124	17:00	124	Sol-oscuro
25	07:00	122	17:00	122	Oscuro-oscuro
26	07:00	121	17:00	121	Oscuro-oscuro
27	07:00	116	17:00	114	Sol-oscuro
28	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna
29	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna
30	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna
31	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 10. Lecturas limnigrafo Abril 2020**

FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES
1	07:00	112	17:00	110	Oscuro-Ilovisna
2	07:00	110	17:00	110	Oscuro-Ilovisna
3	07:00	110	17:00	110	Sol-Ilovisna
4	07:00	106	17:00	106	Sol-Ilovisna
5	07:00	106	17:00	106	Nublado-Ilovisna
6	07:00	104	17:00	104	Nublado-Ilovisna
7	07:00	104	17:00	104	Sol-Ilovisna
8	07:00	104	17:00	104	Oscuro-Ilovisna
9	07:00	102	17:00	104	Oscuro-lluvia
10	07:00	104	17:00	104	Llovisna-oscuro
11	07:00	104	17:00	104	Sol-lluvia
12	07:00	108	17:00	108	Nublado-Ilovisna
13	07:00	108	17:00	108	Nublado-lluvia
14	07:00	110	17:00	110	Nublado-lluvia
15	07:00	140	17:00	135	Llovisna-oscuro
16	07:00	130	17:00	130	Sol-oscuro
17	07:00	128	17:00	170	Sol-lluvia
18	07:00	137	17:00	137	Sol-lluvia
19	07:00	137	17:00	139	Sol-lluvia
20	07:00	139	17:00	136	Sol-oscuro
21	07:00	136	17:00	136	Sol-oscuro
22	07:00	136	17:00	135	Sol-Ilovisna
23	07:00	133	17:00	133	Sol-Ilovisna
24	07:00	133	17:00	130	Sol-Ilovisna
25	07:00	130	17:00	126	Sol-Ilovisna
26	07:00	124	17:00	124	Sol-oscuro
27	07:00	122	17:00	120	Sol-oscuro
28	07:00	118	17:00	118	Sol-Ilovisna
29	07:00	116	17:00	114	Sol-Ilovisna
30	07:00	114	17:00	112	Sol-Ilovisna

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 11. Lecturas limnigrafo Marzo 2021**

FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES
1	07:00	126	17:00	117	lluvia-llovisna
2	07:00	117	17:00	210	oscuro-lluvia
3	07:00	140	17:00	140	llovisna-lluvia
4	07:00	145	17:00	140	oscuro-lluvia
5	07:00	140	17:00	135	oscuro-llovisna
6	07:00	135	17:00	135	oscuro-llovisna
7	07:00	132	17:00	132	oscuro-llovisna
8	07:00	132	17:00	150	nublado-lluvia
9	07:00	132	17:00	170	llovisna-lluvia
10	07:00	135	17:00	135	nublado-llovisna
11	07:00	140	17:00	138	oscuro-llovisna
12	07:00	138	17:00	140	sol-lluvia
13	07:00	140	17:00	140	oscuro-llovisna
14	07:00	138	17:00	136	sol-llovisna
15	07:00	136	17:00	134	sol-llovisna
16	07:00	134	17:00	132	sol-llovisna
17	07:00	130	17:00	130	sol-llovisna
18	07:00	128	17:00	126	oscuro-oscuro
19	07:00	126	17:00	126	sol-lluvia
20	07:00	130	17:00	126	sol-oscuro
21	07:00	124	17:00	122	sol-oscuro
22	07:00	122	17:00	120	sol-oscuro
23	07:00	114	17:00	112	sol-oscuro
24	07:00	110	17:00	108	sol-oscuro
25	07:00	108	17:00	108	sol-oscuro
26	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna
27	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna
28	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna
29	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna
30	07:00	104	17:00	102	oscuro-oscuro
31	07:00	102	17:00	101	oscuro-nublado

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 12. Lecturas limnigrafo Abril 2021**

FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES
1	07:00	101	17:00	101	oscuro-llovisna
2	07:00	101	17:00	101	oscuro-llovisna
3	07:00	150	17:00	105	nublado-llovisna
4	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna
5	07:00	105	17:00	105	nublado-llovisna
6	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna
7	07:00	105	17:00	105	sol-llovisna
8	07:00	107	17:00	107	nublado-llovisna
9	07:00	105	17:00	120	sol-lluvia
10	07:00	107	17:00	107	oscuro-llovisna
11	07:00	107	17:00	107	sol-nublado
12	07:00	107	17:00	107	sol-llovisna
13	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna
14	07:00	105	17:00	108	oscuro-lluvia
15	07:00	108	17:00	108	oscuro-llovisna
16	07:00	108	17:00	108	nublado-llovisna
17	07:00	108	17:00	110	oscuro-lluvia
18	07:00	106	17:00	110	oscuro-llovisna
19	07:00	110	17:00	108	oscuro-llovisna
20	07:00	108	17:00	108	sol-llovisna
21	07:00	110	17:00	108	oscuro-llovisna
22	07:00	105	17:00	105	sol-llovisna
23	07:00	105	17:00	110	nublado-lluvia
24	07:00	108	17:00	105	sol-llovisna
25	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna
26	07:00	105	17:00	108	nublado-lluvia
27	07:00	106	17:00	106	oscuro-llovisna
28	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna
29	07:00	106	17:00	106	nublado-lluvia
30	07:00	130	17:00	130	lluvia-lluvia

**Fuente:** Elaboración propia

La recopilación de datos para el modelo directo fue proporcionada por el INAMHI (cita), es decir desde enero del 2020 hasta diciembre del 2021 con una lectura diaria de cotas en la ubicación de Sicoto. Se evaluó el período del invierno del 2021, analizando algunas comprobaciones del modelo directo mediante varias simulaciones con el software HEC-HMS.

#### 4.5.1. Curva de Descarga

La estación De Chima AJ las Pesq. (Sicoto AJ) presenta datos significativos desde 1968 hasta 2017, es decir la cantidad de información importante para la determinación de las curvas de descarga, las cuales tienen una fecha de validez, debido al cambio frecuente de la sección transversal del río, erosión, transporte de sedimentos entre otros factores.

A continuación, se presentará la tabla 13 con las diferentes ecuaciones para el cálculo de caudales tomando en cuenta con el cálculo de la curva de descarga proporcionado por INAMHI:

**Tabla 13.** Curva de Descarga - Estación de Sicoto

Curva No.	Ecuación	Período de validez	Rango	Observaciones
Q1	$Q_1 = 9.129(H)^{4.88}$	5/ Abril/1968 – 30/ Septiembre/ 1973	$0.00 \leq H \leq$ 0.76	Para H> 0.76 use Q3
		14/Marzo/1981 – 31/ Diciembre/ 1983	$0.00 \leq H \leq$ 0.76	Para H> 0.76 use Q3
		1/ Enero/ 1984 – 22/ Enero/ 1992	$0.00 \leq H \leq$ 0.76	Para H> 0.76 use Q3
Q2	$Q_2 = 5.32(H)^{3.01}$	5/ Abril/ 1968 - 30/ Septiembre/1973	$0.765 \leq H \leq$ 1.90	Para H> 1.90 use Q4
		14/ Marzo/ 1981- 31/ Diciembre/1983	$0.765 \leq H \leq$ 1.90	Para H> 1.90 use Q4
		1/ Enero/ 1984 – 22/ Enero/ 1992	$0.765 \leq H \leq$ 1.90	Para H> 1.90 use Q4

Q3	$Q_3 = 7.429(H)^{3.716}$	1/ Octubre/ 1973 – 13/ Marzo/ 1981	$0.00 \leq H \leq$ $0.82$	Para $H >$ $0.82$ use $Q_4$
Q4	$Q_4 = 6.18(H)^{2.77}$	5/ Abril/1968 – 30/ Septiembre/ 1973	$1.905 \leq H$ $\leq 2.50$	
		1/ Octubre/ 1973 – 13/ Marzo/ 1981	$0.825 \leq H$ $\leq 2.50$	
		14/Marzo/1981 – 31/ Diciembre/ 1983	$1.905 \leq H$ $\leq 2.50$	
		1/ Enero/ 1984 – 22/ Enero/ 1992	$1.905 \leq H$ $\leq 2.50$	
Q5	$Q_5 = 5.36(H - 0.15)^{3.07}$	23/ Enero/ 1992 – 18/ Enero/ 1994	$0.15 \leq H$ $\leq 2.00$	Para $H >$ $2.00$ use $Q_6$
Q6	$Q_6 = 2.90(H - 0.10)^{3.90}$	23/ Enero/ 1992 – 18/ Enero/ 1994	$2.005 \leq H$ $\leq 2.50$	
		19/ Enero/ 1994- 23/ Julio/ 2002	$0.10 \leq H$ $\leq 2.50$	
		24/ Julio/ 2002 – 13/ Febrero/ 2017	$1.735 \leq H$ $\leq 2.50$	
Q7	$Q_7$ $= 7.2602(H$ $- 0.40)^{3.4664}$	24/ Julio/ 2002- 13/ Febrero/ 2017	$0.40 \leq H$ $\leq 1.73$	Para $H >$ $1.73$ use $Q_6$

**Fuente:** INAMHI

Como se puede observar para determinar el cálculo de caudales se utiliza la ecuación (Q6 y Q7). Dependiendo de las alturas del río y que estén dentro del rango permitido, es decir para  $H > 1.73$  m se utiliza la ecuación (Q6); por otro lado, para  $H$  entre  $0.40 \leq H \leq 1.73$  se utiliza la ecuación (Q7).

Con los datos de alturas del limnigrafo ubicado en la estación de Chima AJ las Pesq. (Sicoto AJ) (H0334) que fueron proporcionados por parte del INAMHI dentro de los años 2020 y 2021, se calculó el caudal con ecuación de curva de descarga. Se puede representar todos los datos necesarios en las siguientes tablas: 14, 15, 16 y 17.

**Tabla 14. Caudales marzo 2020**

FECHA	HORA	LECT,LIMN	HORA	LECT,LIMN	OBSERVACIONES	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
1	07:00	120	17:00	120	Nublado-lluvia	3.350
2	07:00	120	17:00	120	Oscuro-llovisna	3.350
3	07:00	120	17:00	120	Oscuro-llovisna	3.350
4	07:00	116	17:00	116	Sol-llovisna	2.804
5	07:00	116	17:00	116	Nublado-llovisna	2.804
6	07:00	120	17:00	140	Llovisna-lluvia	7.260
7	07:00	130	17:00	130	Nublado-lluvia	5.039
8	07:00	131	17:00	132	Nublado-lluvia	5.438
9	07:00	132	17:00	132	Nublado-llovisna	5.438
10	07:00	132	17:00	132	Llovisna-lluvia	5.438
11	07:00	135	17:00	140	Llovisna-lluvia	7.260
12	07:00	132	17:00	140	Llovisna-lluvia	7.260
13	07:00	138	17:00	145	Oscuro-lluvia	8.598
14	07:00	140	17:00	145	Nublado-lluvia	8.598
15	07:00	145	17:00	145	Nublado-lluvia	8.598
16	07:00	145	17:00	145	Nublado-lluvia	8.598
17	07:00	145	17:00	145	Oscuro-nublado	8.598
18	07:00	145	17:00	145	Sol-oscurio	8.598
19	07:00	145	17:00	145	Sol-llovisna	8.598
20	07:00	150	17:00	140	Sol-sol	7.260
21	07:00	139	17:00	135	Sol-sol	6.078
22	07:00	132	17:00	128	Sol-sol	4.661
23	07:00	128	17:00	124	Sol-sol	3.967
24	07:00	124	17:00	124	Sol-oscurio	3.967
25	07:00	122	17:00	122	Oscuro-oscurio	3.649
26	07:00	121	17:00	121	Oscuro-oscurio	3.497
27	07:00	116	17:00	114	Sol-oscurio	2.557
28	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna	2.325
29	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna	2.325
30	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna	2.325
31	07:00	112	17:00	112	Oscuro-llovisna	2.325

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 15. Caudales abril 2020**

FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES	Caudales (m3/s)
1	07:00	112	17:00	110	Oscuro-Ilovisna	2.109
2	07:00	110	17:00	110	Oscuro-Ilovisna	2.109
3	07:00	110	17:00	110	Sol-Ilovisna	2.109
4	07:00	106	17:00	106	Sol-Ilovisna	1.720
5	07:00	106	17:00	106	Nublado-Ilovisna	1.720
6	07:00	104	17:00	104	Nublado-Ilovisna	1.546
7	07:00	104	17:00	104	Sol-Ilovisna	1.546
8	07:00	104	17:00	104	Oscuro-Ilovisna	1.546
9	07:00	102	17:00	104	Oscuro-lluvia	1.546
10	07:00	104	17:00	104	Llovisna-oscuro	1.546
11	07:00	104	17:00	104	Sol-lluvia	1.546
12	07:00	108	17:00	108	Nublado-Ilovisna	1.907
13	07:00	108	17:00	108	Nublado-lluvia	1.907
14	07:00	110	17:00	110	Nublado-lluvia	2.109
15	07:00	140	17:00	135	Llovisna-oscuro	6.078
16	07:00	130	17:00	130	Sol-oscuro	5.039
17	07:00	128	17:00	170	Sol-lluvia	18.027
18	07:00	137	17:00	137	Sol-lluvia	6.533
19	07:00	137	17:00	139	Sol-lluvia	7.012
20	07:00	139	17:00	136	Sol-oscuro	6.302
21	07:00	136	17:00	136	Sol-oscuro	6.302
22	07:00	136	17:00	135	Sol-Ilovisna	6.078
23	07:00	133	17:00	133	Sol-Ilovisna	5.645
24	07:00	133	17:00	130	Sol-Ilovisna	5.039
25	07:00	130	17:00	126	Sol-Ilovisna	4.304
26	07:00	124	17:00	124	Sol-oscuro	3.967
27	07:00	122	17:00	120	Sol-oscuro	3.350
28	07:00	118	17:00	118	Sol-Ilovisna	3.068
29	07:00	116	17:00	114	Sol-Ilovisna	2.557
30	07:00	114	17:00	112	Sol-Ilovisna	2.325

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 16. Caudales marzo 2021**

FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES	Caudales (m3/s)
1	07:00	126	17:00	117	lluvia-llovisna	2.93
2	07:00	117	17:00	210	oscuro-lluvia	43.29
3	07:00	140	17:00	140	llovisna-lluvia	7.26
4	07:00	145	17:00	140	oscuro-lluvia	7.26
5	07:00	140	17:00	135	oscuro-llovisna	6.08
6	07:00	135	17:00	135	oscuro-llovisna	6.08
7	07:00	132	17:00	132	oscuro-llovisna	5.44
8	07:00	132	17:00	150	nublado-lluvia	10.10
9	07:00	132	17:00	170	llovisna-lluvia	18.03
10	07:00	135	17:00	135	nublado-llovisna	6.08
11	07:00	140	17:00	138	oscuro-llovisna	6.77
12	07:00	138	17:00	140	sol-lluvia	7.26
13	07:00	140	17:00	140	oscuro-llovisna	7.26
14	07:00	138	17:00	136	sol-llovisna	6.30
15	07:00	136	17:00	134	sol-llovisna	5.86
16	07:00	134	17:00	132	sol-llovisna	5.44
17	07:00	130	17:00	130	sol-llovisna	5.04
18	07:00	128	17:00	126	oscuro-oscuro	4.30
19	07:00	126	17:00	126	sol-lluvia	4.30
20	07:00	130	17:00	126	sol-oscuro	4.30
21	07:00	124	17:00	122	sol-oscuro	3.65
22	07:00	122	17:00	120	sol-oscuro	3.35
23	07:00	114	17:00	112	sol-oscuro	2.32
24	07:00	110	17:00	108	sol-oscuro	1.91
25	07:00	108	17:00	108	sol-oscuro	1.91
26	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna	1.72
27	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna	1.72
28	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna	1.72
29	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna	1.72
30	07:00	104	17:00	102	oscuro-oscuro	1.38
31	07:00	102	17:00	101	oscuro-nublado	1.31

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 17. Caudales abril 2021**

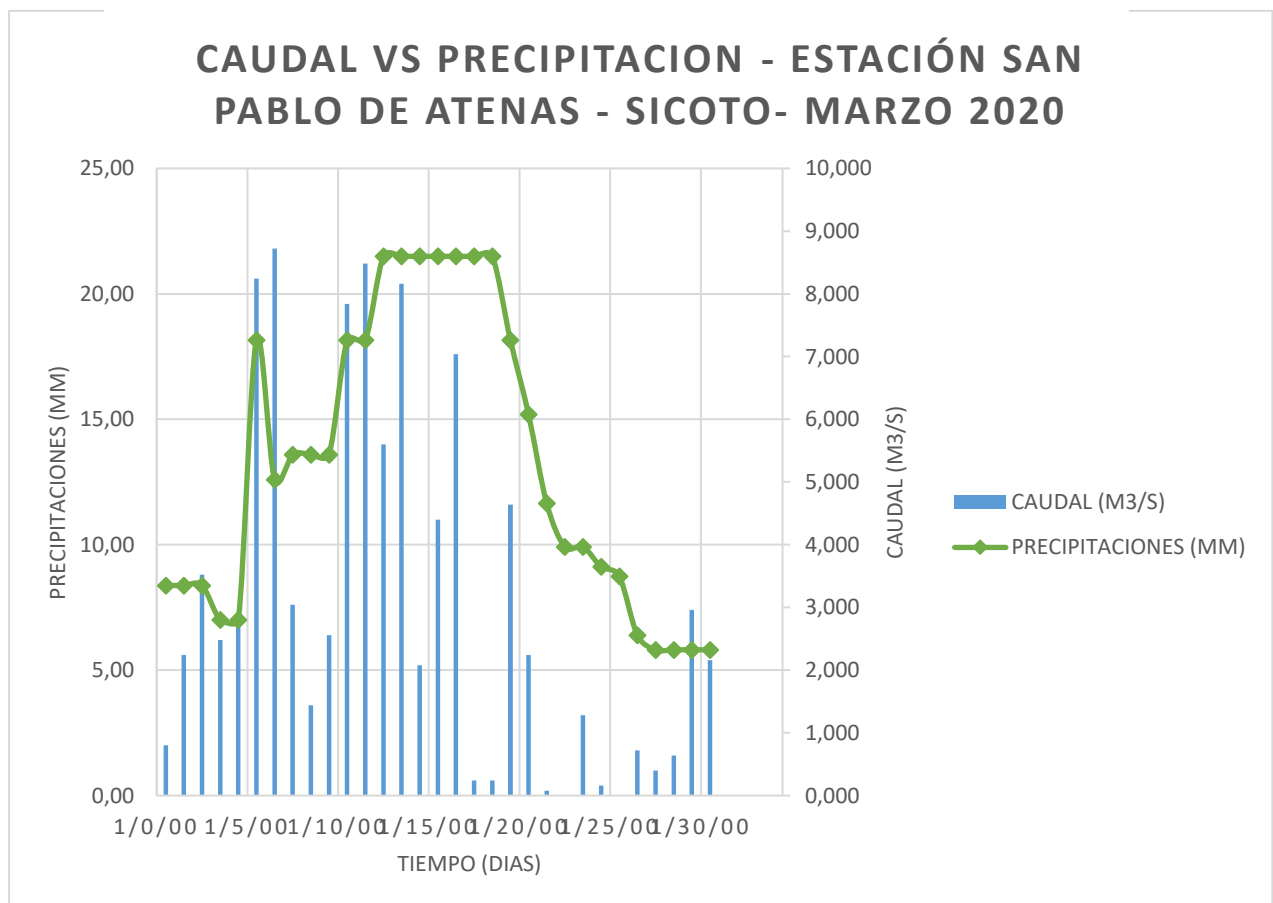
FECHA	HORA	LECT.LIMN	HORA	LECT.LIMN	OBSERVACIONES	Caudales (m3/s)
1	07:00	101	17:00	101	oscuro-llovisna	1.309
2	07:00	101	17:00	101	oscuro-llovisna	1.309
3	07:00	150	17:00	105	nublado-llovisna	10.103
4	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna	1.631
5	07:00	105	17:00	105	nublado-llovisna	1.631
6	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna	1.631
7	07:00	105	17:00	105	sol-llovisna	1.631
8	07:00	107	17:00	107	nublado-llovisna	1.812
9	07:00	105	17:00	120	sol-lluvia	1.631
10	07:00	107	17:00	107	oscuro-llovisna	1.812
11	07:00	107	17:00	107	sol-nublado	1.812
12	07:00	107	17:00	107	sol-llovisna	1.812
13	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna	1.631
14	07:00	105	17:00	108	oscuro-lluvia	1.631
15	07:00	108	17:00	108	oscuro-llovisna	1.907
16	07:00	108	17:00	108	nublado-llovisna	1.907
17	07:00	108	17:00	110	oscuro-lluvia	1.907
18	07:00	106	17:00	110	oscuro-llovisna	1.720
19	07:00	110	17:00	108	oscuro-llovisna	2.109
20	07:00	108	17:00	108	sol-llovisna	1.907
21	07:00	110	17:00	108	oscuro-llovisna	2.109
22	07:00	105	17:00	105	sol-llovisna	1.631
23	07:00	105	17:00	110	nublado-lluvia	1.631
24	07:00	108	17:00	105	sol-llovisna	1.907
25	07:00	105	17:00	105	oscuro-llovisna	1.631
26	07:00	105	17:00	108	nublado-lluvia	1.631
27	07:00	106	17:00	106	oscuro-llovisna	1.720
28	07:00	106	17:00	106	nublado-llovisna	1.720
29	07:00	106	17:00	106	nublado-lluvia	1.720
30	07:00	130	17:00	130	lluvia-lluvia	5.039

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6. Caudal de río vs precipitación

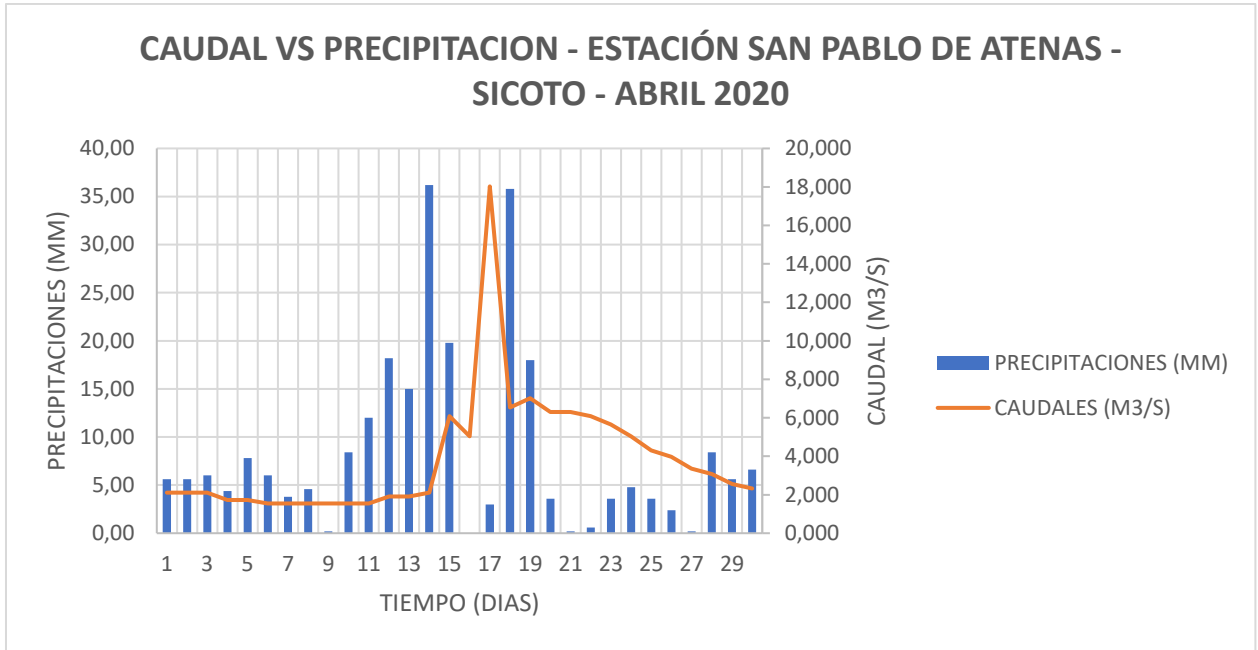
Este gráfico es la representación de intervalo de tiempo para el que el área bajo el hidrograma es el volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo. Para realizar el hidrograma de caudal ( $m^3/s$ ) vs precipitación (mm) se toma en cuenta los meses de marzo y abril del 2020, 2021; teniendo en cuenta que en la información proporcionada se calculó el caudal con la curva de descarga de la estación De Chima AJ las Pesq. (Sicoto AJ) (H0334) proporcionada por el INAMHI, además las precipitaciones se obtuvieron con ayuda de la estación automática ubicada en San Pablo de Atenas y se tabularon precipitaciones acumuladas cada 24 horas. A continuación, se presentan los gráficos 1, 2, 3 y 4 de hidrogramas de los meses más críticos de invierno que ayuda a observar el caudal máximo.

*Gráfico 1. Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto Marzo 2020*



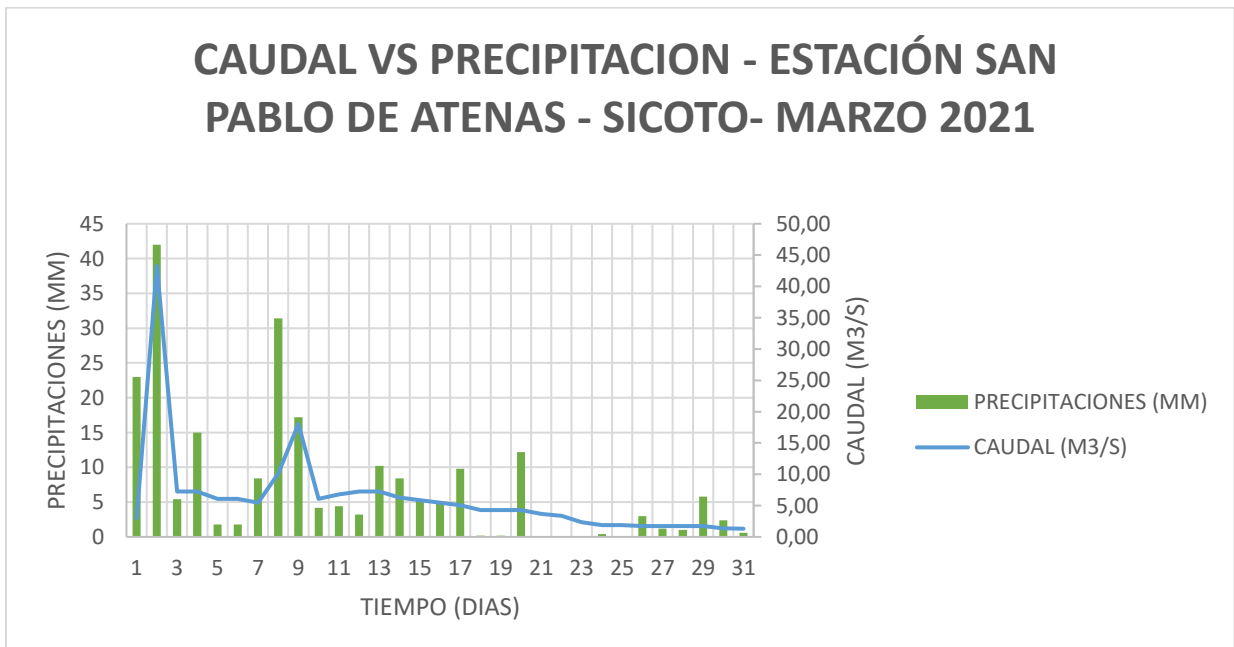
**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 2. Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto Abril 2020**



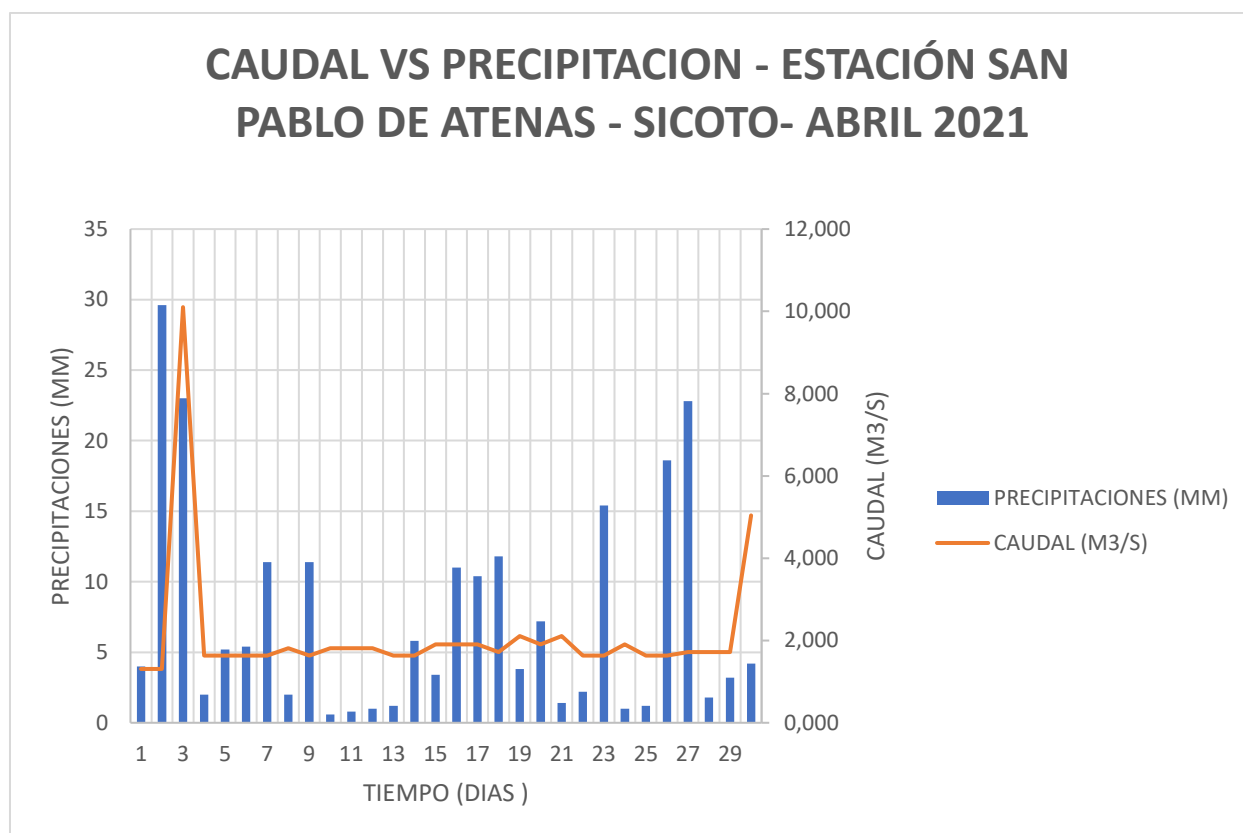
**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 3. Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto marzo 2021**



**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 4.** Caudal vs Precipitación- Estación San Pablo de Atenas- Sicoto - abril 2021



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.7. Definición del modelo empírico de escurrimiento de la cuenca

Para la definición del modelo empírico principalmente se utilizó la textura del suelo, cobertura vegetal, curvas de nivel; los mismos que son importantes para la construcción del hidrograma unitario triangular con el fin de verificar el caudal de diseño máximo para las tres simulaciones presentadas a continuación además se utilizó el perfil de la cuenca Dulcepamaba, ríos, subcuencas basando en el modelo digital por parte de instituto geográfico militar (IGM).

#### 4.7.1. Cobertura vegetal

Para la cuenca Dulcepamaba existe dos grandes tipos de usos de cobertura vegetal que se delimita a continuación la tabla 18.

**Tabla 18. Cobertura vegetal de la cuenca Dulcepamba**

Descripción	Area (m2)
50% BOSQUE NATURAL CON 50% PASTOS CULTIVADOS	24549036.7
100% BOSQUE NATURAL	51192942.3
100% BOSQUE NATURAL	12152818.8
100% BOSQUE NATURAL	7764742.53
100% CACAO	61991694.7
50% CACAO CON 50% CAFE	11243387.6
100% CULTIVOS CICLO CORTO	55481884.3
100% CULTIVOS CICLO CORTO	41190979.9
50% CULTIVOS CICLO CORTO CON 50% CAÑA DE AZUCAR	21363422.2
50% CULTIVOS CICLO CORTO CON 50% PASTOS CULTIVADOS	211935675
50% CULTIVOS CICLO CORTO CON 50% PASTOS CULTIVADOS	40108174.1
70% CULTIVOS CICLO CORTO CON 30% CAÑA DE AZUCAR	41675663.9
70% CULTIVOS CICLO CORTO CON 30% VEGETACION ARBUSTIVA	39161274.6
70% CAFE CON 30% CACAO	545615168
50% CAÑA DE AZUCAR CON 50% PASTOS CULTIVADOS	24158399.4
50% ARBORICULTURA TROPICAL CON 50% PASTOS CULTIVADOS	33061616.8
50% ARBORICULTURA TROPICAL CON 50% PASTOS CULTIVADOS	85375346.2
100% ARROZ	1139279205
100% PASTO CULTIVADO	1757265.34
100% PASTO CULTIVADO	71370138.7
100% PASTO CULTIVADO	3276498.81
100% PASTO CULTIVADO	1435618.59
100% PASTO CULTIVADO	2192935.81
70% PASTO CULTIVADO CON 30% CULTIVOS CICLO CORTO	75671874.1
70% PASTO CULTIVADO CON 30% ARBORICULTURA TROPICAL	9022932.72
100% VEGETACION ARBUSTIVA	1216685.75
100% VEGETACION ARBUSTIVA	7707173
70% VEGETACION ARBUSTIVA CON 30% PASTO CULTIVADO	55707814.6

**Fuente:** Elaboración propia

Para la cobertura vegetal se utilizó las dos descripciones: bosque natural y pasto cultivado, puesto que estos se adaptan más a la extensión del área de la cuenca. Con estos datos de áreas se sacó una relación de porcentaje que se lo puede definir a continuación la tabla 19, 20 y 21.

**Tabla 19. Área de Bosque Natural**

100% BOSQUE NATURAL	51192942.3	m2
100% BOSQUE NATURAL	12152818.8	m2
100% BOSQUE NATURAL	7764742.53	m2
ÁREA TOTAL	71110503.6	m2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 20. Área de Pasto Cultivado**

100% PASTO CULTIVADO	1757265.34	m2
100% PASTO CULTIVADO	71370138.7	m2
100% PASTO CULTIVADO	3276498.81	m2
100% PASTO CULTIVADO	1435618.59	m2
100% PASTO CULTIVADO	2192935.81	m2
ÁREA TOTAL	80032457.2	m2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 21. Área Total**

ÁREA TOTAL (BOSQUE NATURAL + PASTO CULTIVADO)	151142961	m2
---	-----------	----

**Fuente:** Elaboración propia

$$\text{Porcentaje Bosque Natural (\%)} = \frac{71110503.6 \text{ m}^2}{151142961 \text{ m}^2} \times 100 = 47.05\%$$

$$\text{Porcentaje Pasto Cultivado (\%)} = \frac{80032457.2 \text{ m}^2}{151142961 \text{ m}^2} \times 100 = 52.95\%$$

#### 4.7.2. Textura del suelo

Para la textura del suelo se toma en cuenta la tabla 22 de la descripción del suelo del cantón Chillanes, recopilando del documento de Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2014-2019.

**Tabla 22.** Descripción de suelos del Cantón Chillanes

DESCRIPCIÓN DE SUELOS			
CLASIFICACION TAXONOMICA	LOCALIZACION	ALTURA M.S.N.M	CARACTERISTICA
Haplustoll	Norte, Sur, Este y Oeste del Cantón Chillanes	2400 - 2800	Negros-profundos-francos-arenosos >3% M. Orgánica PH neutro (7.0) – secos
Eutrandepts	Norte de Chillanes Río Chimbo hacia Santa Rosa de Agua Clara	1500 - 3600	Negros, Sierra pardo oscuros, costa arcilla fina, arenas húmedas – PH: 6.5 – 7.0
Eutropets y/o Tropudales	Límite occidental y sur de la provincia	300 - 1500	Suelos pardo rojizos – arcilla arenosos – medianos o poco profundos – algo rocosos PH: 5.5 – 6.5

**Fuente:** GAD CHILLANES, 2015

El primer lugar de estudio está ubicado al norte de Chillanes denominado Sicoto a 2070 m.s.n.m, representando por suelos de características: negros, sierra: pardo oscuro, costa: arcilla fina, arenas húmedas – PH: 6.5 – 7.0.

Para la siguiente ubicación de estudio se encuentra limitado al occidente y sur de la provincia denominado San Pablo de Amalí, este se encuentra a 414 m.s.n.m este a su vez representando con un suelo de características: suelos pardo-rojizos-arcillas arenosos-medianos o poco profundos- algo rocosos, PH: 5.5-6.5.

Para seguir el método empírico se hace referencia la figura 3 siguiendo la metodología de estudio para la cuenca Dulcepamba, comprende 2 tipos de suelo: Tipo A (arenas con poco limo y arcillas; suelos muy permeables) y Tipo B (arenas finas y limos).

#### **4.7.3. Selección del número de escurrimiento N**

Según la figura 2, con el tipo de suelo y el uso de la tierra y cobertura vegetal se seleccionó pastizales con una pendiente mayores al 1% es decir un N=79 y para el bosque natural con características normales da una selección de N=36.

#### 4.7.4. Precipitación máxima (Atípica)

Se encontró una precipitación acumulada diaria de 42 mm el día 2 de marzo de 2021, según este método empírico requiere tomar en cuenta las precipitaciones 5 días que va del 25 de febrero al 1 de marzo del 2021. Para ver las precipitaciones acumuladas ver tabla 6.

#### 4.7.5. Corrección del número de escurrimiento N

Para la corrección del número de escurrimiento N primero se toma encuentra los siguientes parámetros:

- a)  $LL_5 < 2.5 \text{ cm}$ , hacer corrección A,
- b)  $2.5 < LL_5 < 5 \text{ cm}$ , no hacer corrección
- c)  $LL_5 > 5 \text{ cm}$ , hacer corrección B

A continuación, se debe tomar en cuenta la figura 4 para el cálculo de las diferentes correcciones del número N.

#### 4.7.6. Simulación de modelo hidrológico de escurrimiento empírico

Para la simulación de modelo hidrológico de escurrimiento empírico se toma en cuenta el 2, 8 de marzo y 3 de abril de 2021 respectivamente; en el cual se puede encontrar tormentas atípicas para el análisis y comparación entre modelos.

##### 4.7.6.1. Primera simulación

Para la primera simulación del 2 de marzo 2021 se empieza tomado en cuenta h5mm (Cinco días antes de la tormenta) de 66 mm= 6.6 cm por lo que se toma la corrección B, justificando la relación a continuación.

$$6.6 \text{ cm} > 5 \text{ cm}, \text{ hacer corrección B}$$

**Tabla 23.** Precipitación acumulada - Primera simulación

	hmm	h5mm (Dias Antes) 25 de febrero - 01 marzo del 2021
Tormenta	42	66

**Fuente:** Elaboración propia

Para realizar la corrección B, se toma en cuenta la tabla 24.

**Tabla 24. N corrección B**

N	N corrección B
0	0
10	22
20	37
30	50
40	60
50	70
60	78
70	85
80	91
90	96
100	100

**Fuente:** Elaboración propia

Para encontrar N promedio con el porcentaje de la cobertura vegetal, se toma en cuenta la tabla 25.

**Tabla 25. N Promedio**

Uso de la tierra y cobertura	Pendiente del terreno en (%)	N	N promedio
Bosque Natural	-	36	19.062
Pastizales	mayor1%	79	37.1695
			56.23

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario realizar una interpolación para encontrar el número de escurrimiento N, por lo que anteriormente se justificó la corrección B con el N promedio haciendo relación al porcentaje del uso de la tierra y cobertura. Ver tabla 26.

**Tabla 26. N Ajustado**

<b>N</b>	<b>N corrección de B</b>
50	70
56.23	<b>N Ajustado</b>
60	78

**Fuente:** Elaboración propia

Interpolación:

$$\frac{60 - 50}{56.23 - 50} = \frac{78 - 70}{N_{1Ajustado} - 70}$$

$$N_{1Ajustado} = 74.984$$

Para realizar el cálculo de lluvia en exceso se hace referencia a la ecuación 6 descrita para el Cálculo de la lluvia en exceso.

$$Pe = \frac{\left[ P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32} = \frac{\left[ 4.2 \text{ cm} - \frac{508}{74.984} + 5.08 \right]^2}{4.2 \text{ cm} + \frac{2032}{74.984} - 20.32} = 0.571715 \text{ cm}$$

Para sacar la pendiente se toma en cuenta la longitud del río principal de Sicoto y de San pablo de Amalí, además se requiere para el cálculo las cotas aguas arriba y aguas debajo de cada río principal.

➤ **Sicoto**

Pendiente (S)

- Cota aguas abajo 2070 m.s.n.m
- Cota aguas arriba 3070 m.s.n.m

$$S = \frac{\text{Cota aguas arriba} - \text{Cota aguas abajo}}{\text{Longitud del río principal}}$$

$$S = \frac{3070 \text{ m.s.n.m} - 2070 \text{ m.s.n.m}}{19974 \text{ m}} = 0.051 \frac{M}{M}$$

Los parámetros para la pendiente S se deben transformar en porcentaje (%) de la siguiente manera:

$$0.051 \frac{M}{M} = \text{Grados} (0.051) = 2.89 \approx 3.0$$

$$\text{Pendiente } S(\%) = \frac{100 - 3}{45} = 6.43 (\%)$$

1) Para el cálculo tiempo de concentración se toma como referencia la ecuación 1.

$$t_c = 0.000325x \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$t_c = 0.000325x \frac{19974^{0.77}}{0.051^{0.385}} = 2.10 \text{ hr}$$

2) Para el cálculo de duración en exceso se toma en cuenta la ecuación 2.

$$de = 2\sqrt{t_c}$$

$$de = 2\sqrt{2.10} = 2.90 \text{ hr}$$

3) Para el cálculo de tiempo pico se toma en cuenta la ecuación 3.

$$tp = \sqrt{t_c} + 0.6 \times tc$$

$$tp = \sqrt{2.10} + 0.6 \times 2.10 = 2.71 \text{ hr}$$

4) Para el cálculo de tiempo base se toma en cuenta la ecuación 4.

$$tb = 2.67 \times tp$$

$$tb = 2.67 \times 2.71 = 7.23 \text{ hr}$$

5) Para el cálculo de tiempo de retraso se toma en cuenta la ecuación 5.

$$tr = 0.005 \times \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

$$tr = 0.005 \times \left[ \frac{19974}{\sqrt{6.43}} \right]^{0.64} = 1.56 \text{ hr}$$

6) Para el cálculo de caudal de diseño hidráulico máximo se toma en cuenta la ecuación 8.

$$Qp = 0.208 \times \frac{h_{pe} \times A}{tp}$$

$$Qp = 0.208 \times \frac{5.72 \text{ mm} \times 103.31 \text{ km}^2}{2.71 \text{ hr}} = 45.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

7) Para el cálculo de coeficiente de escurrimiento se toma en cuenta la ecuación 7.

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{11}} = \frac{590606.69 \text{ m}^3}{4349161.84 \text{ m}^3} = 0.13$$

Transformación

$$tb: 7.23 \text{ hr} \times 3600 \text{ s} = 26041.87 \text{ s}$$

$$V_{ed} = \frac{tb \times Q_p}{2} = \frac{26041.87 \text{ s} \times 45.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 590606.69 \text{ m}^3$$

Transformación

$$h_{LL}: 45 \text{ mm} / 1000 = 0.045 \text{ m}$$

$$V_{11} = h_{LL} \times A = 0.045 \text{ m} \times 103314707.20 \text{ m}^2 = 4649161.824 \text{ m}^3$$

### ➤ San Pablo de Amalí

Pendiente (S)

- Cota aguas abajo 400 m.s.n.m
- Cota aguas arriba 2060 m.s.n.m

$$S = \frac{\text{Cota aguas arriba} - \text{Cota aguas abajo}}{\text{Longitud del río principal}}$$

$$S = \frac{2060 \text{ m.s.n.m} - 400 \text{ m.s.n.m}}{20074 \text{ m}} = 0.083 \frac{\text{M}}{\text{M}}$$

Los parámetros para la pendiente S se deben transformar en porcentaje (%) de la siguiente manera:

$$0.083 \frac{\text{M}}{\text{M}} = \text{Grados} (0.083) = 4.72 \approx 5.0$$

$$\text{Pendiente } S(\%) = \frac{100 - 5}{45} = 10.51 (\%)$$

1) Para el cálculo tiempo de concentración se toma como referencia la ecuación 1.

$$t_c = 0.000325x \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$t_c = 0.000325x \frac{20074^{0.77}}{10.51^{0.385}} = 1.74 \text{ hr}$$

2) Para el cálculo de duración en exceso se toma en cuenta la ecuación 2.

$$de = 2\sqrt{t_c}$$

$$de = 2\sqrt{1.74} = 2.64 \text{ hr}$$

3) Para el cálculo de tiempo pico se toma en cuenta la ecuación 3.

$$tp = \sqrt{t_c} + 0.6 \times tc$$

$$tp = \sqrt{1.74} + 0.6 \times 1.74 = 2.37 \text{ hr}$$

4) Para el cálculo de tiempo base se toma en cuenta la ecuación 4.

$$tb = 2.67 \times tp$$

$$tb = 2.67 \times 2.37 = 6.32 \text{ hr}$$

5) Para el cálculo de tiempo de retraso se toma en cuenta la ecuación 5.

$$tr = 0.005 \times \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

$$tr = 0.005 \times \left[ \frac{20074}{\sqrt{10.51}} \right]^{0.64} = 1.34 \text{ hr}$$

6) Para el cálculo de caudal de diseño hidráulico máximo se toma en cuenta la ecuación 8.

$$Qp = 0.208 \times \frac{h_{pe} \times A}{tp}$$

$$Qp = 0.208 \times \frac{5.72 \text{ mm} \times 223.90 \text{ km}^2}{2.37 \text{ hr}} = 112.46 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

7) Para el cálculo de coeficiente

de escurrimiento se toma en cuenta la ecuación 7.

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{11}} = \frac{1279631.228 \text{ m}^3}{10075592.47 \text{ m}^3} = 0.13$$

Trasformación

$$tb: 6.32 \text{ hr} \times 3600 \text{ s} = 22756.85 \text{ s}$$

$$V_{ed} = \frac{tb \times Qp}{2} = \frac{22756.85 \text{ s s} \times 112.46 \frac{m^3}{s}}{2} = 1279631.228 \text{ m}^3$$

Trasformación

$$h_{LL}: 45 \text{ mm} / 1000 = 0.045 \text{ m}$$

$$V_{11} = h_{LL} \times A = 0.045 \text{ m} \times 223902054.80 \text{ m}^2 = 10075592.47 \text{ m}^3$$

#### 4.7.6.2. Segunda Simulación

Para la segunda simulación se empieza tomado en cuenta h5mm (Cinco días antes de la tormenta) de 32.4 mm=3.24 cm por lo que no es necesario realizar una corrección que se pude demostrar a continuación en la tabla 27, 28 y 29.

Si  $2.5 < 11_5 < 5 \text{ cm}$ , no hacer corrección

Si  $2.5 < 3.24 < 5 \text{ cm}$ , no hacer corrección

**Tabla 27.** Precipitación acumulada - Segunda simulación

	hmm	h5mm (Dias Antes) 03 de marzo del 2021 - 07 de marzo del 2021
Tormenta	17.2	32.4

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 28.** N Promedio- Segunda simulación

Uso de la tierra y cobertura	Pendiente del terreno en (%)	N	N promedio
Bosque Natural	-	36	19.06
Pastizales	mayor1%	79	37.17
			56.23

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 29. N Ajustado**

N ajustado
56.23

**Fuente:** Elaboración propia

Para simplificar los cálculos realizados y explicaciones en la primera simulación, esta segunda se presenta en una tabla 30, 31, 32 y 33 resúmenes del 8 de marzo del 2021 tanto para Sicoto como para San Pablo de Amalí.

**Tabla 30. Resumen simulación 8 de marzo- Sicoto**

SICOTO - SIMULACIÓN 8 DE MARZO					
Area de la cuenca	A	103.31	km2	103314707.20	m2
Longitud del rio principal	L	19974	m	19.974	Km
Pendiente del rio principal	S	0.05056574	M/M	0.05056574	
	Pe	0.284616224	cm	2.846162235	mm

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 31. Resumen parámetros de cálculo simulación 8 de marzo- Sicoto**

Parámetros de cálculo - Simulación 8 de marzo					
tc=		2.100	hr		
de=		2.898	hr	1.449200157	segundos
tp=		2.709	hr		
tb=		7.234	hr	26041.87631	segundos
Qp=		22.581	m3/s	Caudal diseño hidráulico - Pico	
tr=		1.558	hr	93.48	min

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 32.** Resumen simulación 8 de marzo- San Pablo de Amalí

SAN PABLO DE AMALÍ - SIMULACIÓN 8 DE MARZO					
Area de la cuenca	A	223.90	km2	223902054.80	m2
Longitud del rio principal	L	20074	m	20.074	Km
Pendiente del rio principal	S	0.08269403	M/M	0.08269403	
	Pe=	0.284616224	cm	2.846162235	mm

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 33.** Resumen parámetros de cálculo simulación 8 de marzo- San Pablo de Amalí

Parámetros de cálculo - Simulación 8 de marzo					
tc=		1.745	hr		
de=		2.642	hr	1.320814915	segundos
tp=		2.368	hr		
tb=		6.321	hr	22756.85348	segundos
Qp=		55.986	m3/s	Caudal diseño hidráulico	
tr=		1.336	hr	80.16	min

**Fuente:** Elaboración propia

Coefficiente de escurrimiento

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{11}} = \frac{636997.59 \text{ m}^3}{3851115.34 \text{ m}^3} = 0.17$$

Trasformación

$$tb: 6.321 \text{ hr} \times 3600 \text{ s} = 22755.6 \text{ s}$$

$$V_{ed} = \frac{tb \times Qp}{2} = \frac{22755.6 \text{ s} \times 55.986 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 636997.51 \text{ m}^3$$

Trasformación

$$h_{LL}: 17.2 \text{ mm} / 1000 = 0.0172 \text{ m}$$

$$V_{11} = h_{LL} \times A = 0.0172 \text{ m} \times 223902054.80 \text{ m}^2 = 3851115.34 \text{ m}^3$$

#### 4.7.6.3. Tercera Simulación

Para la segunda simulación se empieza tomado en cuenta h5mm (Cinco días antes de la tormenta) de 23 mm = 2.3 cm por lo que no es necesario realizar una corrección que se puede demostrar a continuación en tabla 34 y 35.

Si  $2.5 < 11_5 < 5 \text{ cm}$ , no hacer corrección

Si  $2.5 < 2.3 < 5 \text{ cm}$ , no hacer corrección

**Tabla 34.** Precipitación acumulada - Tercera simulación

Uso de la tierra y cobertura	Pendiente del terreno en (%)	N	N promedio
Bosque Natural	-	36	19.06
Pastizales	mayor1%	79	37.17
			56.23

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 35.** N Promedio- Tercera simulación

N ajustado
56.23

**Fuente:** Elaboración propia

Para simplificar los cálculos realizados y explicaciones en la primera simulación, para esta tercera se lo presenta en una tabla 36, 37, 38 y 39 resúmenes del 3 de abril del 2021 tanto para Sicoto como para San Pablo de Amalí.

**Tabla 36. Resumen simulación 3 de abril- Sicoto**

SICOTO - SIMULACIÓN 3 DE ABRIL					
Area de la cuenca	A	103.31	km2	103314707.20	m2
Longitud del rio principal	L	19974	m	19.974	Km
Pendiente del rio principal	S	0.05056574	M/M	0.05056574	
	Pe	0.151023327	cm	1.510233271	mm

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 37. Resumen parámetros de cálculo simulación 3 de abril- Sicoto**

Parámetros de cálculo - Simulación 3 de abril				
tc=	2.100	hr		
de=	2.898	hr	1.449	
tp=	2.709	hr		
tb=	7.234	hr	26041.9	segundos
Qp=	11.982	m3/s	Caudal diseño hidráulico - Pico	
tr=	1.558	hr	93.48	min

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 38. Resumen simulación 3 de abril- San Pablo Amalí**

SAN PABLO DE AMALÍ - SIMULACIÓN 3 DE ABRIL					
Area de la cuenca	A	223.90	km2	223902054.80	m2
Longitud del rio principal	L	20074	m	20.074	Km
Pendiente del rio principal	S	0.08269403	M/M	0.08269403	
	Pe=	0.151023327	cm	1.510233271	mm

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 39.** Resumen parámetros de cálculo simulación 3 de abril- Sicoto

Parámetros de cálculo - Simulación 3 de abril				
tc=	1.745	hr		
de=	2.642	hr	1.321	
tp=	2.368	hr		
tb=	6.321	hr	22756.85	segundos
Qp=	29.708	m3/s	Caudal diseño hidráulico	
tr=	1.336	hr	80.16	min

**Fuente:** Elaboración propia

Coeficiente de escurrimiento

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{11}} = \frac{33801.76 \text{ m}^3}{5149747.26 \text{ m}^3} = 0.07$$

Trasformación

$$tb: 6.321 \text{ hr} \times 3600 \text{ s} = 22755.6 \text{ s}$$

$$V_{ed} = \frac{tb \times Qp}{2} = \frac{22755.6 \text{ s} \times 29.708 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 33801.76 \text{ m}^3$$

Trasformación

$$h_{LL}: 23 \text{ mm} / 1000 = 0.023 \text{ m}$$

$$V_{11} = h_{LL} \times A = 0.023 \text{ m} \times 223902054.80 \text{ m}^2 = 5149747.26 \text{ m}^3$$

#### **4.8. Definición del modelo directo de escurrimiento de la cuenca usando HEC-HMS**

El modelo de escurrimiento directo está basado en la recopilación de datos in situ de la parte alta de la cuenca Dulcepamba en la ubicación de Sicoto, es decir teniendo aforos del año 2021 en los meses más críticos del invierno. Se pueden determinar caudales máximos que posteriormente se compararán con el modelo de escurrimiento empírico, entablando una relación y ajuste entre los métodos.

Para la ubicación de San Pablo de Amalí se utilizó el área de la cuenca con la respectiva proyección por software HEC-HMS, el cual permite el cálculo de caudales.

En la siguiente tabla 40 y 41 se puede encontrar los caudales observados, los cuales son calculados con la ecuación de la curva de descarga y también el caudal calculado por el programa HEC-HMS, de igual manera toma como parámetros importantes al área de cuenca, la precipitación de la estación de San Pablo de Atenas en los meses estudiados.

**Tabla 40. Resumen Caudales HEC-HMS para Sicoto**

Date	Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total Flow (m3/s)	Obs Flow (m3/s)
01mar.2021	00:00				0	0	0	
02mar.2021	00:00	42	0	42	37.3	0	37.3	45.7
03mar.2021	00:00	5.4	0	5.4	15.2	0	15.2	7.3
04mar.2021	00:00	15	0	15	16.7	0	16.7	7.3
05mar.2021	00:00	1.8	0	1.8	6	0	6	6.1
06mar.2021	00:00	1.8	0	1.8	2.8	0	2.8	6.1
07mar.2021	00:00	8.4	0	8.4	8.1	0	8.1	5.4
08mar.2021	00:00	17.2	0	17.2	17.5	0	17.5	10.1
09mar.2021	00:00	31.4	0	31.4	32.6	0	32.6	18
10mar.2021	00:00	4.2	0	4.2	12.5	0	12.5	6.1
11mar.2021	00:00	4.4	0	4.4	6.7	0	6.7	6.8
12mar.2021	00:00	3.2	0	3.2	4.4	0	4.4	7.3
13mar.2021	00:00	10.2	0	10.2	10.1	0	10.1	7.3
14mar.2021	00:00	8.4	0	8.4	10.2	0	10.2	6.3
15mar.2021	00:00	5.4	0	5.4	7.4	0	7.4	5.9
16mar.2021	00:00	4.8	0	4.8	6.1	0	6.1	5.4
17mar.2021	00:00	9.8	0	9.8	10.2	0	10.2	5
18mar.2021	00:00	0.2	0	0.2	2.9	0	2.9	4.3
19mar.2021	00:00	0.2	0	0.2	0.8	0	0.8	4.3
20mar.2021	00:00	12.2	0	12.2	11	0	11	4.3
21mar.2021	00:00	0	0	0	3	0	3	3.7
22mar.2021	00:00	0	0	0	0.6	0	0.6	3.3
23mar.2021	00:00	0	0	0	0.1	0	0.1	2.3
24mar.2021	00:00	0.4	0	0.4	0.4	0	0.4	1.9
25mar.2021	00:00	0	0	0	0.1	0	0.1	1.9
26mar.2021	00:00	3	0	3	2.7	0	2.7	1.7
27mar.2021	00:00	1.2	0	1.2	1.8	0	1.8	1.7
28mar.2021	00:00	1	0	1	1.3	0	1.3	1.7
29mar.2021	00:00	5.8	0	5.8	5.5	0	5.5	1.7
30mar.2021	00:00	2.4	0	2.4	3.6	0	3.6	1.4
31mar.2021	00:00	0.6	0	0.6	1.4	0	1.4	1.3
01abr.2021	00:00	4	0	4	3.9	0	3.9	1.3
02abr.2021	00:00	29.6	0	29.6	27.3	0	27.3	1.3
03abr.2021	00:00	22	0	22	27.1	0	27.1	10.1
04abr.2021	00:00	2	0	2	8.7	0	8.7	1.6
05abr.2021	00:00	5.2	0	5.2	6.5	0	6.5	1.6
06abr.2021	00:00	5.4	0	5.4	6.4	0	6.4	1.6
07abr.2021	00:00	11.4	0	11.4	11.7	0	11.7	1.6
08abr.2021	00:00	2	0	2	4.9	0	4.9	1.8
09abr.2021	00:00	11.4	0	11.4	11.2	0	11.2	1.6
10abr.2021	00:00	0.6	0	0.6	3.6	0	3.6	1.8
11abr.2021	00:00	0.8	0	0.8	1.4	0	1.4	1.8
12abr.2021	00:00	1	0	1	1.2	0	1.2	1.8
13abr.2021	00:00	1.2	0	1.2	1.4	0	1.4	1.6
14abr.2021	00:00	5.8	0	5.8	5.5	0	5.5	1.6
15abr.2021	00:00	3.4	0	3.4	4.5	0	4.5	1.9
16abr.2021	00:00	11	0	11	10.9	0	10.9	1.9
17abr.2021	00:00	10.4	0	10.4	12.2	0	12.2	1.9
18abr.2021	00:00	11.8	0	11.8	13.6	0	13.6	1.7
19abr.2021	00:00	3.8	0	3.8	6.9	0	6.9	2.1
20abr.2021	00:00	7.2	0	7.2	8	0	8	1.9
21abr.2021	00:00	1.4	0	1.4	3.3	0	3.3	2.1
22abr.2021	00:00	2.2	0	2.2	2.7	0	2.7	1.6
23abr.2021	00:00	15.4	0	15.4	14.4	0	14.4	1.6
24abr.2021	00:00	1	0	1	4.8	0	4.8	1.9
25abr.2021	00:00	1.2	0	1.2	2.1	0	2.1	1.6
26abr.2021	00:00	18.6	0	18.6	17	0	17	1.6
27abr.2021	00:00	22.8	0	22.8	24.9	0	24.9	1.7
28abr.2021	00:00	1.8	0	1.8	8.2	0	8.2	1.7
29abr.2021	00:00	3.2	0	3.2	4.6	0	4.6	1.7
30abr.2021	00:00	4.2	0	4.2	4.8	0	4.8	5

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 41. Resumen Caudales HEC-HMS para San Pablo de Amalí**

Date	Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total Flow (m3/s)
01mar.2021	00:00				0	0	0
02mar.2021	00:00	23	0	23	44.3	0	93.3
03mar.2021	00:00	42	0	42	93.3	0	35.5
04mar.2021	00:00	5.4	0	5.4	35.5	0	36.7
05mar.2021	00:00	15	0	15	36.7	0	13
06mar.2021	00:00	1.8	0	1.8	13	0	6.1
07mar.2021	00:00	1.8	0	1.8	6.1	0	17.7
08mar.2021	00:00	8.4	0	8.4	17.7	0	65.2
09mar.2021	00:00	31.4	0	31.4	65.2	0	51
10mar.2021	00:00	17.2	0	17.2	51	0	20.9
11mar.2021	00:00	4.2	0	4.2	20.9	0	13.2
12mar.2021	00:00	4.4	0	4.4	13.2	0	9.3
13mar.2021	00:00	3.2	0	3.2	9.3	0	21.9
14mar.2021	00:00	10.2	0	10.2	21.9	0	22.1
15mar.2021	00:00	8.4	0	8.4	22.1	0	16.1
16mar.2021	00:00	5.4	0	5.4	16.1	0	13.3
17mar.2021	00:00	4.8	0	4.8	13.3	0	22.2
18mar.2021	00:00	9.8	0	9.8	22.2	0	6.3
19mar.2021	00:00	0.2	0	0.2	6.3	0	1.6
20mar.2021	00:00	0.2	0	0.2	1.6	0	23.8
21mar.2021	00:00	12.2	0	12.2	23.8	0	6.6
22mar.2021	00:00	0	0	0	6.6	0	1.3
23mar.2021	00:00	0	0	0	1.3	0	0.3
24mar.2021	00:00	0	0	0	0.3	0	0.8
25mar.2021	00:00	0.4	0	0.4	0.8	0	0.2
26mar.2021	00:00	0	0	0	0.2	0	5.8
27mar.2021	00:00	3	0	3	5.8	0	3.9
28mar.2021	00:00	1.2	0	1.2	3.9	0	2.9
29mar.2021	00:00	1	0	1	2.9	0	11.9
30mar.2021	00:00	5.8	0	5.8	11.9	0	7.9
31mar.2021	00:00	2.4	0	2.4	7.9	0	3.1
01abr.2021	00:00	0.6	0	0.6	3.1	0	8.4
02abr.2021	00:00	4	0	4	8.4	0	59.3
03abr.2021	00:00	29.6	0	29.6	59.3	0	60.7
04abr.2021	00:00	23	0	23	60.7	0	19.5
05abr.2021	00:00	2	0	2	19.5	0	14.2
06abr.2021	00:00	5.2	0	5.2	14.2	0	13.9
07abr.2021	00:00	5.4	0	5.4	13.9	0	25.5
08abr.2021	00:00	11.4	0	11.4	25.5	0	10.7
09abr.2021	00:00	2	0	2	10.7	0	24.3
10abr.2021	00:00	11.4	0	11.4	24.3	0	7.8
11abr.2021	00:00	0.6	0	0.6	7.8	0	3.1
12abr.2021	00:00	0.8	0	0.8	3.1	0	2.7
13abr.2021	00:00	1	0	1	2.7	0	2.9
14abr.2021	00:00	1.2	0	1.2	2.9	0	11.9
15abr.2021	00:00	5.8	0	5.8	11.9	0	9.8
16abr.2021	00:00	3.4	0	3.4	9.8	0	23.7
17abr.2021	00:00	11	0	11	23.7	0	26.4
18abr.2021	00:00	10.4	0	10.4	26.4	0	29.6
19abr.2021	00:00	11.8	0	11.8	29.6	0	15
20abr.2021	00:00	3.8	0	3.8	15	0	17.4
21abr.2021	00:00	7.2	0	7.2	17.4	0	7.2
22abr.2021	00:00	1.4	0	1.4	7.2	0	5.8
23abr.2021	00:00	2.2	0	2.2	5.8	0	31.1
24abr.2021	00:00	15.4	0	15.4	31.1	0	10.5
25abr.2021	00:00	1	0	1	10.5	0	4.5
26abr.2021	00:00	1.2	0	1.2	4.5	0	36.9
27abr.2021	00:00	18.6	0	18.6	36.9	0	54.1
28abr.2021	00:00	22.8	0	22.8	54.1	0	17.8
29abr.2021	00:00	1.8	0	1.8	17.8	0	9.9
30abr.2021	00:00	3.2	0	3.2	9.9	0	9.9

**Fuente: Elaboración propia**

## **CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. Análisis de resultados**

El objetivo del presente proyecto de titulación es realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca Dulcepamba y la respectiva comparación entre ambos modelos de escurrimiento empírico y directo.

En este capítulo se presentará el análisis de resultados obtenidos por los cálculos de modelaciones hidrológicas tipo escurrimiento el cual se lo realizó con el software HEC-HMS para su respectiva comparación. Este programa permite introducir datos como: área de la cuenca, caudales observados, precipitaciones, tiempo de retraso, fechas de estudio, pérdidas, entre otros parámetros anteriormente calculados.

#### **5.1.1. Modelación empírica**

El modelo de escurrimiento empírico es basado en fórmulas con la ayuda de modelos digitales de elevación en la zona de estudio, es decir: ríos, curvas de nivel, perfil de la cuenca, uso del suelo y cobertura vegetal. Con el objetivo de calcular el caudal de diseño hidráulico y comparar con datos de aforos de la parte de Sicoto (aguas arriba de la cuenca).

Se utilizó la proyección del área de la cuenca de San Pablo de Amalí para el cálculo de caudales en la zona, puesto que la misma no posee limnigrafo y son muy variables las cotas en el período de invierno, por esta razón no se puede establecer la ecuación de curva de descarga adecuada para el cálculo de caudales y el respectivo estudio de la cuenca. Para realizar esta modelación se tomó en cuenta simulaciones anteriormente ejecutadas para las dos ubicaciones antes descritas. A continuación, la tabla 42 resumen de la modelación empírica.

**Tabla 42. Resumen modelación empírica**

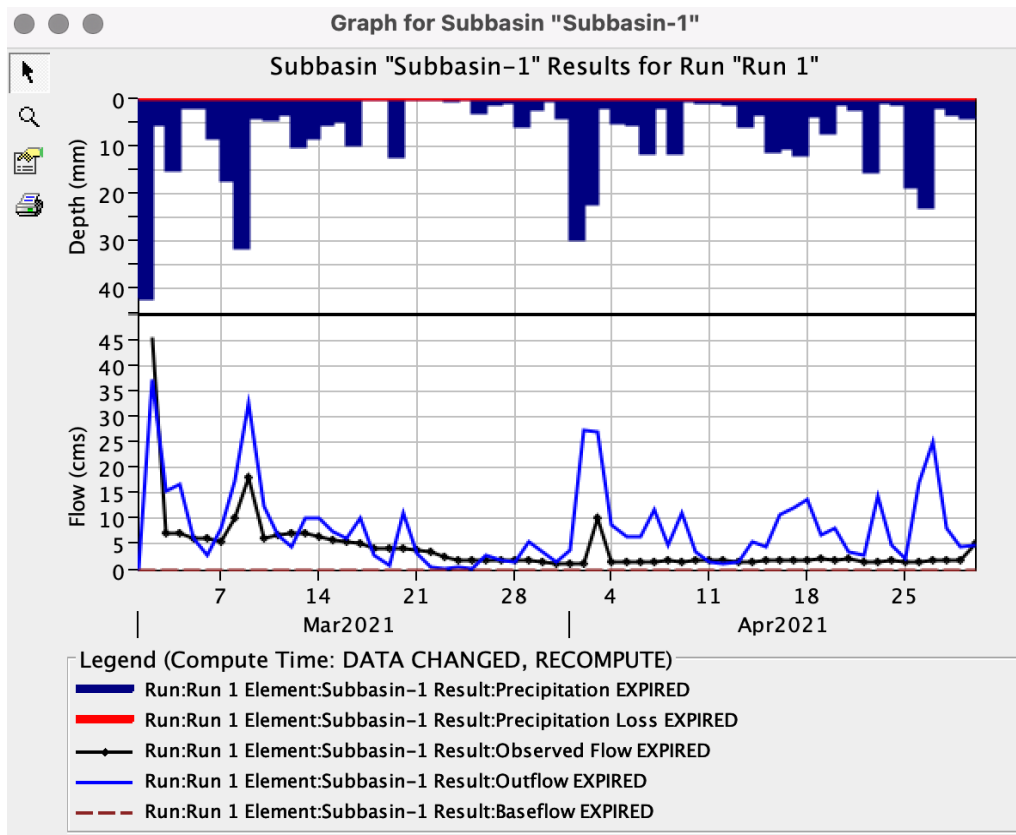
<b>Ubicación de estudio</b>	<b>Primera simulación- 2 marzo 2021</b>	<b>Segunda simulación – 8 marzo 2021</b>	<b>Tercera simulación – 3 abril 2021</b>
Sicoto	45.36 m <sup>3</sup> /s	22.58 m <sup>3</sup> /s	11.98 m <sup>3</sup> /s
San Pablo de Amalí	112.46 m <sup>3</sup> /s	55.98 m <sup>3</sup> /s	29.70 m <sup>3</sup> /s

**Fuente:** *Elaboración propia*

### **5.1.2. Modelación directa**

En el gráfico 5 la simulación arranca el 1 de marzo de 2021 y llega hasta 30 abril del mismo año, con una frecuencia diaria para su precipitación en mm (tabla 6). Los resultados simulados en Sicoto (línea azul) mantienen una concordancia con los valores observados (línea punteada negra) tanto para los picos de caudal, esto demuestra que tiene un comportamiento comparable entre las recesiones del caudal máximo y la magnitud del caudal base. También los resultados del modelo presentan una concordancia con los caudales observados, demostrando un comportamiento de caudal similar

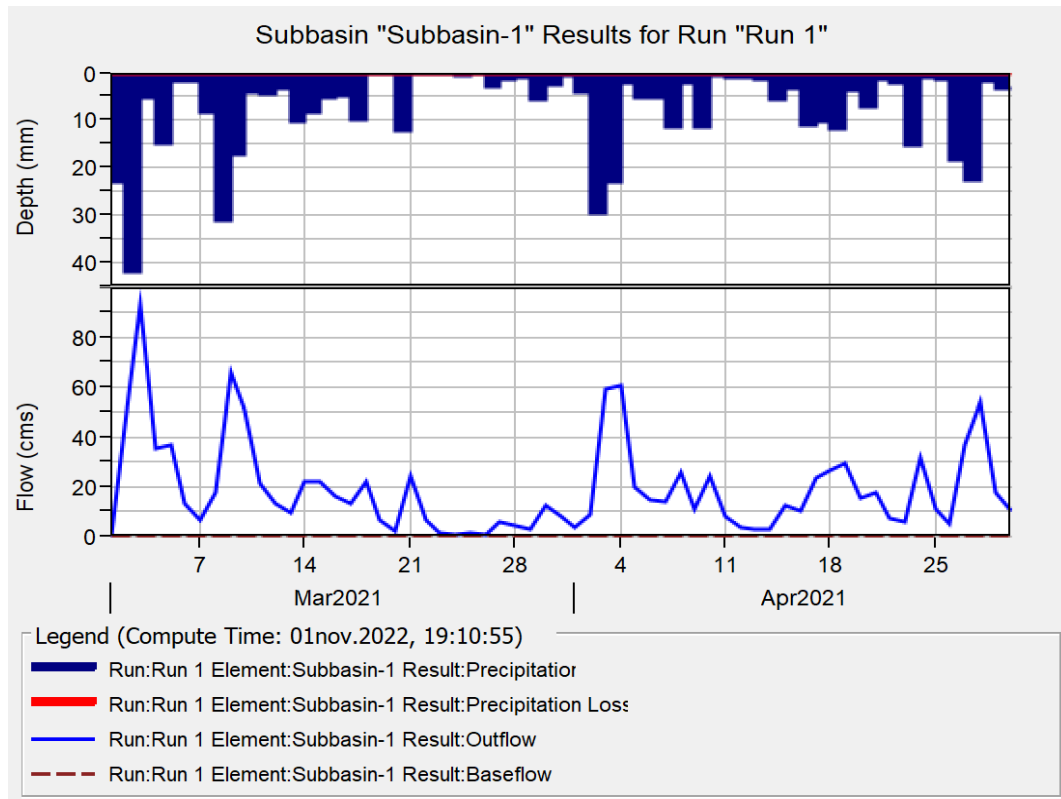
**Gráfico 5. Simulación HEC-HMS para Sicoto**



**Fuente:** Elaboración propia

En el gráfico 6 la simulación arranca el 1 de marzo de 2021 y llega hasta 30 abril del mismo año, con una frecuencia diaria para su precipitación en mm (tabla 6). Los resultados simulados en San Pablo de Amalí fueron proyecciones de Sicoto el cual presenta los mismo caudales picos en las fechas establecidas presentando de esta manera concordancia del caudal máximo y demostrando un comportamiento de caudal similar aguas arriba en Sicoto.

**Gráfico 6.** Simulación HEC-HMS para San Pablo de Amalí



**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 43, se presenta el resumen de modelación directa

**Tabla 43.** Tabla resumen- Modelación Directa HEC-HMS

Tabla resumen - Modelación Directa (HEC-HMS)			
Ubicación de estudio	Primera simulación – 2 de marzo	Segunda simulación – 8 de marzo	Tercera simulación – 3 de abril
Sicoto	37.3 m <sup>3</sup> /s	17.5 m <sup>3</sup> /s	27.1 m <sup>3</sup> /s
San Pablo de Amalí	93.3 m <sup>3</sup> /s	65.2 m <sup>3</sup> /s	60.7 m <sup>3</sup> /s

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.2. Comparación entre el modelo empírico y directo

Para la comparación entre el modelo empírico y directo se tomó en cuenta tres fechas es decir el 2 de marzo, 8 marzo y 3 abril del 2021. Realizando la comparación del caudal de diseño hidráulico y verificando la efectividad del método empírico ajustado al método directo. Ver tabla 44.

**Tabla 44.** Análisis entre el caudal simulado del modelo empírico y modelo directo (Observado)- Sicoto

<b>Comparación entre los caudales HEC-HMS y caudales observados</b>			
<b>Ubicación de estudio</b>	<b>Primera simulación – 2 de marzo</b>	<b>Segunda simulación – 8 de marzo</b>	<b>Tercera simulación – 3 de abril</b>
Sicoto (HEC-HMS)	37,3 m <sup>3</sup> /s	17,5 m <sup>3</sup> /s	27,1 m <sup>3</sup> /s
SICOTO (CAUDALES OBSERVADOS)	45,7 m <sup>3</sup> /s	10,1 m <sup>3</sup> /s	10,1 m <sup>3</sup> /s

**Fuente:** Elaboración propia

Para las 3 simulaciones en el período del invierno más crítico del 2021 se presenta la comparación entre los caudales simulados del HEC-HMS y caudales observados en Sicoto en el mismo intervalo de tiempo, los cuales siguen el mismo patrón para los picos máximos de caudales simulados por el software. Aunque presenta una imprecisión en los caudales diarios observados presente en el gráfico 5 de los días del 5 al 30 de abril.

**Tabla 45.** Comparación entre modelo empírico y directo

<b>Comparación entre modelo empírico y directo</b>			
<b>Ubicación de estudio</b>	<b>Primera simulación – 2 de marzo</b>	<b>Segunda simulación – 8 de marzo</b>	<b>Tercera simulación – 3 de abril</b>
Sicoto (Empírico)	45.36 m <sup>3</sup> /s	22.58 m <sup>3</sup> /s	11.98 m <sup>3</sup> /s
Sicoto (Directo)	37.3 m <sup>3</sup> /s	17.5 m <sup>3</sup> /s	27.1 m <sup>3</sup> /s
San Pablo de Amalí (Empírico)	112.46 m <sup>3</sup> /s	55.98 m <sup>3</sup> /s	29.70 m <sup>3</sup> /s
San Pablo de Amalí (Directo)	93.3 m <sup>3</sup> /s	65.2 m <sup>3</sup> /s	60.7 m <sup>3</sup> /s
% Error (Sicoto)	17.76%	22.5%	55.79%
% Error (San Pablo de Amalí)	17.04%	16.47%	51.07%

**Fuente:** Elaboración propia

Para la comparación entre el modelo de escurrimiento empírico y directo se utilizó las dos ubicaciones señaladas en la tabla 45 y así haciendo relación a los caudales analizados mediante fórmulas empíricas y por otra parte calculados por el software HEC-HMS. De esta forma se puede establecer una relación y precisión entre los datos. Presentando los errores entre los modelos mencionados para cada simulación.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Los aspectos teóricos para un modelo hidrológico empírico y uno directo de escurrimiento son: caudales, datos meteorológicos, descripción del suelo y topografía.
- La ubicación de estudio comprende dos áreas: Sicoto (103.31 km<sup>2</sup>) y San Pablo de Amalí (223.90 km<sup>2</sup>) ubicados en la cuenca del río Dulcepamba, Chillanes, Bolívar con el objetivo de recopilar características: climatológicas, geológicas, topográficas y cobertura vegetal.
- Al analizar la construcción del modelo hidrológico de escurrimiento empírico para las tres simulaciones el resultado de caudales en Sicoto fueron de: 45.36 m<sup>3</sup>/s, 22.58 m<sup>3</sup>/s y 11.98 m<sup>3</sup>/s respectivamente por otra parte, en San Pablo de Amalí fueron de: 112.46 m<sup>3</sup>/s, 55.98 m<sup>3</sup>/s y 29.70 m<sup>3</sup>/s.
- Para la construcción del modelo hidrológico directo se tiene como resultados los caudales en Sicoto de: 37.3 m<sup>3</sup>/s, 17.5 m<sup>3</sup>/s y 27.1 m<sup>3</sup>/s por otra parte, para San Pablo de Amalí caudales de: 93.3 m<sup>3</sup>/s, 65.2 m<sup>3</sup>/s y 60.7 m<sup>3</sup>/s.
- En conclusión, la comparación entre los dos modelos hidrológicos de escurrimiento en Sicoto, presentan un porcentaje de error en la magnitud del pico de los caudales máximos de: 17.17%, 22.5% y 55.79% en este último presentando un error superior a las otras dos simulaciones de esta manera los dos modelos imitan considerablemente el patrón del evento el cual demuestra una recesión y comportamiento del caudal base apropiado para la cuenca.
- La comparación en San Pablo de Amalí con datos meteorológicos de precipitaciones de Sicoto, tiene como margen de error de: 17.04%, 16.47% y 51.07% este último presenta un gran error en la magnitud del pico sin embargo, las dos primeras se ajustan al caudal máximo y comportamiento del mismo.

## RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar el levantamiento topográfico se recomienda colocar una línea de vida con arnés para que el personal técnico garantice su seguridad de esta manera evitando siniestros en campo.
- Definir estudios adicionales para la actualización de la curva de descarga de Sicoto, puesto que la sección transversal del río es variable en el tiempo, debido al transporte de sedimentos y erosión del cauce del río.
- Para las estaciones meteorológicas automáticas se recomienda un constante mantenimiento y limpieza, evitando el depósito de hojas, material animal (excremento, plumas de aves).
- Se recomienda realizar más estudios que permitan la simplificación del cálculo del caudal de diseño pico, para diferentes cuencas hidrográficas.
- Para futuras investigaciones la topografía del perfil del cauce es importante para el cálculo de curva de descarga.
- El software HEC-HMS es una herramienta importante que simplifica el cálculo de los caudales de una cuenca hidrográfica por esta razón se recomienda que dentro de los planes de estudio de Ingeniería cuenten con la capacitación de esta herramienta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Al-Abed, N., F. Abdulla, and A. Abu K. (2005). GIS-hydrological models for managing water resources in the Zarqa River basin. *Environ.*
- Aparicio M., F. J. (2005). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. LIMUSA. México
- CHOW, V., MAIDMENT, D. y MAYS, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Sta. Fe de Bogotá: McGraw-Hill.
- Das Braja M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cuarta edición. Thomson Learning Editores S.A.
- Domínguez M., R., G. Esquivel G., B. Méndez A., A. Mendoza R., M. L. Arganis J., y E. Carrizosa E. (2008). *Manual del Modelo para Pronóstico de Esguerrimiento*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- ETESA. (2017). *Glosario hidrológico*. Recuperado de: <https://www.hidromet.com.pa/es/glosario-hidrologico>
- Fattorelli, S. Y Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. Edición Digital. Zaragoza – España.
- GAD Chillanes. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Chillanes 2014-2019*. Recuperado de: <https://www.chillanes.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/PDyOT-2016.pdf>
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Editorial Universitaria Abya – Yala. Quito – Ecuador.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI. (1999). *Estudio de llluvias intensas*. Bolívar – Ecuador.
- KIRPICH, Z.P. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Eng.*

10(6),362. 1940.

- Lincango, M & López, F. (2018). *Diseño definitivo de las obras de saneamiento de la quebrada Rumihuaycu, sector Comuna Leopoldo Chávez de la parroquia Tumbaco*. Tesis de pregrado. UCE
- McColl, C., and G. Agget. (2007). *Land–use forecasting and hydrologic model integration for improved land–use decision support*. J. Environ. Manage.
- Molnar, P. (2011). *Notas del modelado de cuencas hidrográficas*. Instituto de Ingeniería Ambiental, Cátedra de Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos, ETH Zürich. Suiza.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Edición Alfaomega. Bogotá – Colombia.
- Ramírez, L. (2011). *Actualización de las avenidas de diseño de las presas del río Grijalva*. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Sánchez B., J. L., y J. Gracia S. 1997. *Método para determinar hidrogramas de salida en cuencas pequeñas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- UCDAVIS. (2017). *Análisis hidrológico e hidráulico del río Dulcepamba*. Recuperado de: <https://watershed.ucdavis.edu/files/Informe%20UC%20Davis%20Dulcepamba%20Espanol>
- U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center (HEC), (2016). *HEC-HMS, 2016*. Recuperado de: [www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/)
- Villón, M. (2014). *Hec-Hms Ejemplos*. San José- Costa Rica. Tecnológica de Costa Rica.

# Anexos

*Anexo 1. Equipos de Topografía*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 2. Topografía del río Dulcepamba*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 3. Ubicación de levantamiento topográfico- San Pablo de Amalí*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 4. Topografía del Cauce – San Pablo de Amalí*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 5. Levantamiento topográfico del Cauce San Pablo de Amalí- 17 de septiembre 2021*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 6. Topografía del Cauce San Pablo de Amalí - 17 de septiembre 2021*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 7. Ubicación de levantamiento topográfico - Sicoto*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 8. Levantamiento Topográfico del Cauce Sicoto- 17 de septiembre 2021*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 9. Topografía del Cauce Sicoto- 17 de septiembre 2021*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 10. Nivel del río en Sicoto*



*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 11. Área de la cuenca - Sicoto*

LAYER	STREAM_ID	NEXT_STREA	ÁREA (m2)	ÁREA (km2)
Watershed	2	3	1543776.528	1.543776528
Watershed	1	3	3076418.034	3.076418034
Watershed	4	6	869615.989	0.869615989
Watershed	6	7	73067.872	0.073067872
Watershed	5	7	1812484.932	1.812484932
Watershed	7	9	588926.045	0.588926045
Watershed	9	11	249890.675	0.249890675
Watershed	8	11	1169005.928	1.169005928
Watershed	10	9	1559464.529	1.559464529
Watershed	11	14	536311.812	0.536311812
Watershed	12	14	1071176.784	1.071176784
Watershed	13	15	1899615.303	1.899615303
Watershed	14	18	1030247.636	1.030247636
Watershed	15	18	157823.92	0.15782392
Watershed	16	15	891849.35	0.89184935
Watershed	18	19	268886.41	0.26888641
Watershed	17	19	1715723.612	1.715723612
Watershed	19	25	1053619.608	1.053619608
Watershed	19	25	1461.336	0.001461336
Watershed	21	24	1513963.54	1.51396354
Watershed	20	26	1847350.759	1.847350759
Watershed	22	31	1553680.663	1.553680663
Watershed	25	32	355102.644	0.355102644
Watershed	24	25	84757.467	0.084757467
Watershed	23	26	921054.002	0.921054002
Watershed	28	30	1029398.083	1.029398083
Watershed	26	36	657591.467	0.657591467
Watershed	27	24	927957.234	0.927957234

Watershed	29	30	1184604.924	1.184604924
Watershed	30	34	746759.939	0.746759939
Watershed	31	32	1917285.698	1.917285698
Watershed	32	37	198740.127	0.198740127
Watershed	33	36	2836516.305	2.836516305
Watershed	34	31	195822.233	0.195822233
Watershed	35	34	1391228.331	1.391228331
Watershed	36	37	67220.814	0.067220814
Watershed	37	38	1855882.906	1.855882906
Watershed	38	42	2485720.331	2.485720331
Watershed	39	38	2325861.135	2.325861135
Watershed	40	44	2953401.598	2.953401598
Watershed	41	48	2928279.57	2.92827957
Watershed	42	44	14613.355	0.014613355
Watershed	44	47	879725.837	0.879725837
Watershed	43	42	2381839.556	2.381839556
Watershed	46	47	762827.137	0.762827137
Watershed	45	48	4403539.195	4.403539195
Watershed	47	52	3081946.628	3.081946628
Watershed	47	52	1461.344	0.001461344
Watershed	48	51	812516.919	0.812516919
Watershed	49	51	754059.003	0.754059003
Watershed	50	60	1281559.868	1.281559868
Watershed	51	52	251352.449	0.251352449
Watershed	53	54	935314.907	0.935314907
Watershed	52	63	952801.587	0.952801587
Watershed	54	63	1364879.485	1.364879485
Watershed	57	60	415041.001	0.415041001
Watershed	55	54	949927.801	0.949927801
Watershed	56	57	3436480.336	3.436480336
Watershed	60	62	1443869.456	1.443869456

Watershed	59	62	1217340.063	1.217340063
Watershed	61	64	1756473.984	1.756473984
Watershed	63	64	495394.09	0.49539409
Watershed	62	69	1139886.816	1.139886816
Watershed	64	65	35072.311	0.035072311
Watershed	65	74	356567.755	0.356567755
Watershed	66	65	740892.029	0.740892029
Watershed	67	69	808143.363	0.808143363
Watershed	70	74	1360527.524	1.360527524
Watershed	71	76	1357621.736	1.357621736
Watershed	72	71	1236346.033	1.236346033
Watershed	74	80	457401.18	0.45740118
Watershed	75	80	1005394.141	1.005394141
Watershed	77	82	1866042.714	1.866042714
Watershed	76	91	2723987.233	2.723987233
Watershed	80	82	530471.868	0.530471868
Watershed	79	76	1074121.163	1.074121163
Watershed	82	91	385796.105	0.385796105
Watershed	89	93	900179.653	0.900179653
Watershed	90	94	983646.313	0.983646313
Watershed	91	93	252812.982	0.252812982
Watershed	93	100	89142.395	0.089142395
Watershed	94	100	454475.685	0.454475685
Watershed	95	94	1825919.577	1.825919577
Watershed	100	106	951337.568	0.951337568
Watershed	103	125	2608565.39	2.60856539
Watershed	106	120	1404360.482	1.404360482
Watershed	107	106	1625485.129	1.625485129
			103314707.22	103.31

*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 12. Área de la cuenca – San Pablo de Amalí*

LAYER	STREAM_ID	NEXT_STREA	ÁREA (m2)	ÁREA (km2)
Watershed	73	81	991052.647	0.991052647
Watershed	78	86	2725593.687	2.725593687
Watershed	81	88	698579.789	0.698579789
Watershed	83	88	1053531.574	1.053531574
Watershed	84	96	1191722.862	1.191722862
Watershed	86	92	102302.266	0.102302266
Watershed	85	113	2883380.984	2.883380984
Watershed	87	86	830098.785	0.830098785
Watershed	88	92	112532.721	0.112532721
Watershed	92	96	398978.951	0.398978951
Watershed	97	109	273293.793	0.273293793
Watershed	98	97	730741.45	0.73074145
Watershed	99	176	6028317.872	6.028317872
Watershed	101	109	1540366.623	1.540366623
Watershed	102	113	1538862.955	1.538862955
Watershed	103	125	2608565.39	2.60856539
Watershed	104	122	1655799.034	1.655799034
Watershed	105	128	1914427.709	1.914427709
Watershed	109	115	1834136.921	1.834136921
Watershed	108	175	6036891.998	6.036891998
Watershed	111	115	1005497.582	1.005497582
Watershed	112	120	1024396.27	1.02439627
Watershed	115	134	1500925.478	1.500925478
Watershed	113	135	526106.826	0.526106826
Watershed	121	202	3631822.937	3.631822937
Watershed	120	123	632764.06	0.63276406
Watershed	122	144	1401510.705	1.401510705

Watershed	124	127	1425321.305	1.425321305
Watershed	123	125	3301236.957	3.301236957
Watershed	125	128	366807.783	0.366807783
Watershed	127	126	157825.691	0.157825691
Watershed	126	123	244046.661	0.244046661
Watershed	128	135	1769749.617	1.769749617
Watershed	129	126	993717.621	0.993717621
Watershed	130	127	2600068.075	2.600068075
Watershed	132	134	890024.305	0.890024305
Watershed	131	136	799452.509	0.799452509
Watershed	133	136	781913.687	0.781913687
Watershed	135	139	987912.515	0.987912515
Watershed	134	171	1063948.014	1.063948014
Watershed	136	175	492536.807	0.492536807
Watershed	139	143	442809.632	0.442809632
Watershed	142	144	435504.956	0.435504956
Watershed	140	139	485186.606	0.485186606
Watershed	144	157	1392752.071	1.392752071
Watershed	146	143	583104.76	0.58310476
Watershed	151	164	778954.241	0.778954241
Watershed	149	129	2095593.207	2.095593207
Watershed	150	129	172439.325	0.172439325
Watershed	152	140	1319628.323	1.319628323
Watershed	154	212	2253666.572	2.253666572
Watershed	155	140	3188732.07	3.18873207
Watershed	156	193	1907262.906	1.907262906
Watershed	157	165	701494.795	0.701494795
Watershed	160	150	188513.397	0.188513397
Watershed	158	157	5934794.596	5.934794596
Watershed	159	150	1543182.44	1.54318244
Watershed	161	146	1521311.983	1.521311983

Watershed	162	146	1020059.231	1.020059231
Watershed	164	171	474974.678	0.474974678
Watershed	168	160	973977.386	0.973977386
Watershed	167	165	2390910.813	2.390910813
Watershed	169	166	897330.914	0.897330914
Watershed	170	160	1515068.401	1.515068401
Watershed	171	176	603585.066	0.603585066
Watershed	175	203	1918994.803	1.918994803
Watershed	176	187	925115.993	0.925115993
Watershed	179	191	1182399.116	1.182399116
Watershed	183	193	1365051.582	1.365051582
Watershed	184	159	613761.092	0.613761092
Watershed	188	191	1490792.474	1.490792474
Watershed	189	187	2867380.083	2.867380083
Watershed	195	202	720512.809	0.720512809
Watershed	198	204	238230.844	0.238230844
Watershed	200	184	153441.072	0.153441072
Watershed	199	195	1835604.99	1.83560499
Watershed	202	206	330298.089	0.330298089
Watershed	206	220	967516.94	0.96751694
Watershed	212	225	1882440.145	1.882440145
Watershed	217	216	3757640.781	3.757640781
Watershed	219	220	970424.867	0.970424867
Watershed	220	222	396067.831	0.396067831
Watershed	222	227	226533.718	0.226533718
Watershed	224	225	939765.985	0.939765985
Watershed	223	222	945585.599	0.945585599
Watershed	225	227	216304.076	0.216304076
Watershed	227	243	1243746.306	1.243746306
Watershed	228	245	2890643.039	2.890643039
Watershed	229	249	2164534.26	2.16453426

Watershed	233	259	2317839.689	2.317839689
Watershed	235	245	917771.234	0.917771234
Watershed	237	262	1999286.902	1.999286902
Watershed	238	243	2265306.901	2.265306901
Watershed	240	252	4932872.469	4.932872469
Watershed	243	249	846214.575	0.846214575
Watershed	244	260	1148702.864	1.148702864
Watershed	245	252	295208.35	0.29520835
Watershed	251	256	1277381.544	1.277381544
Watershed	253	257	1319673.095	1.319673095
Watershed	256	265	1348982.946	1.348982946
Watershed	257	259	40920.419	0.040920419
Watershed	259	260	1166234.989	1.166234989
Watershed	260	262	3019381.697	3.019381697
Watershed	262	263	1519942.684	1.519942684
Watershed	265	273	1347533.204	1.347533204
Watershed	266	274	1526448.157	1.526448157
Watershed	268	273	749761.494	0.749761494
Watershed	269	268	4977837.636	4.977837636
Watershed	272	268	1617890.883	1.617890883
Watershed	274	299	1877910.48	1.87791048
Watershed	275	274	1386521.141	1.386521141
Watershed	283	282	3231423.437	3.231423437
Watershed	284	310	3429982.116	3.429982116
Watershed	296	299	1227821.223	1.227821223
Watershed	299	309	662023.576	0.662023576
Watershed	300	269	724889.622	0.724889622
Watershed	298	309	3223474.197	3.223474197
Watershed	301	269	871041.634	0.871041634
Watershed	302	272	2689055.702	2.689055702
Watershed	303	272	2227316.607	2.227316607

Watershed	308	304	347828.296	0.347828296
Watershed	307	300	777502.675	0.777502675
Watershed	309	311	748253.866	0.748253866
Watershed	310	308	492509.887	0.492509887
Watershed	311	310	160758.88	0.16075888
Watershed	314	308	1467308.061	1.467308061
Watershed	315	308	1642667.569	1.642667569
Watershed	316	311	1911541.618	1.911541618
Watershed	319	327	1070912.022	1.070912022
Watershed	322	323	911909.154	0.911909154
Watershed	323	316	467650.67	0.46765067
Watershed	324	316	1248042.574	1.248042574
Watershed	325	323	355120.72	0.35512072
Watershed	326	327	1085785.959	1.085785959
Watershed	327	325	360963.938	0.360963938
Watershed	329	315	254289.513	0.254289513
Watershed	328	315	267444.307	0.267444307
Watershed	330	325	166599.285	0.166599285
Watershed	334	329	1087300.283	1.087300283
Watershed	336	303	745363.696	0.745363696
Watershed	337	303	2639433.573	2.639433573
Watershed	338	330	1145346.814	1.145346814
Watershed	340	330	2170339.476	2.170339476
Watershed	341	328	2120573.232	2.120573232
Watershed	342	328	762873.041	0.762873041
Watershed	345	334	865153.331	0.865153331
Watershed	346	334	1683734.362	1.683734362
Watershed	347	337	276221.447	0.276221447
Watershed	349	347	865424.612	0.865424612
Watershed	352	342	1841937.402	1.841937402

Watershed	354	351	501274.493	0.501274493
Watershed	355	350	791278.073	0.791278073
Watershed	357	355	714490.136	0.714490136
Watershed	358	355	147609.954	0.147609954
Watershed	359	354	2473116.253	2.473116253
Watershed	360	354	606497.015	0.606497015
Watershed	361	358	950171.059	0.950171059
Watershed	362	358	1148287.709	1.148287709
Watershed	363	360	1655949.326	1.655949326
Watershed	364	360	609416.894	0.609416894
Watershed	365	364	791410.113	0.791410113
Watershed	368	366	344896.873	0.344896873
Watershed	366	364	84763.038	0.084763038
Watershed	367	366	882661.701	0.882661701
Watershed	369	368	1253168.862	1.253168862
Watershed	370	368	1009233.31	1.00923331
			223902054.82	223.90

*Fuente: Elaboración propia*

Anexo 13. Lectura de limnigrafo Marzo 2020

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
PROCESO DE GESTIÓN HIDROLÓGICA

FORMA HH 16



CUENCA DEL RÍO DEL RÍO GUAYAS AÑO 2020  
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA DE CHINA 13.45.252-0145 MES MARZO

FECHA	HORA	LECT. LIMN	HORA	LECT. LIMN	OBSERVACIONES
1	7:00	120	17:00	120	NUBLADO - LLOVIA
2	7:00	120	17:00	120	OSCURO - LLOVISMA
3	7:00	120	17:00	120	OSCURO - LLOVISMA
4	7:00	116	17:00	116	SOL - LLOVISMA
5	7:00	116	17:00	116	NUBLADO - LLOVISMA
6	7:00	120	17:00	140	LLOVISMA - LLOVIA
7	7:00	130	17:00	130	NUBLADO - LLOVIA
8	7:00	131	17:00	132	NUBLADO - LLOVIA
9	7:00	132	17:00	132	NUBLADO - LLOVISMA
10	7:00	132	17:00	132	LLOVISMA - LLOVIA
11	7:00	135	17:00	140	LLOVISMA - LLOVIA
12	7:00	132	17:00	140	LLOVISMA - LLOVIA
13	7:00	138	17:00	145	OSCURO - LLOVIA
14	7:00	140	17:00	145	NUBLADO - LLOVIA
15	7:00	145	17:00	145	NUBLADO - LLOVIA
16	7:00	145	17:00	145	NUBLADO LLOVIA
17	7:00	145	17:00	145	OSCURO - NOBLADO
18	7:00	145	17:00	145	SOL - OSCURO
19	7:00	145	17:00	145	SOL - LLOVISMA
20	7:00	150	17:00	140	SOL - SOL
21	7:00	139	17:00	135	SOL - SOL
22	7:00	132	17:00	128	SOL - SOL
23	7:00	128	17:00	124	SOL - SOL
24	7:00	124	17:00	124	SOL - OSCURO
25	7:00	122	17:00	122	OSCURO - OSCURO
26	7:00	121	17:00	121	OSCURO - OSCURO
27	7:00	116	17:00	114	SOL - OSCURO
28	7:00	112	17:00	112	OSCURO LLOVISMA
29	7:00	112	17:00	112	OSCURO LLOVISMA
30	7:00	112	17:00	112	OSCURO - LLOVISMA
31	7:00	112	17:00	112	OSCURO - LLOVISMA

  
FIRMA DEL OBSERVADOR

INAQUITO N36-14 Y COREA TEL.: 02 3971 100 EXT. 2063 / 2064 FAX: 2241 874  
QUITO - ECUADOR

Fuente: INAMHI

Anexo 14. Lectura de limnigrafo Abril 2020

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
PROCESO DE GESTIÓN HIDROLÓGICA

FORMA HH 16



CUENCA DEL RÍO DEL RÍO GUAYAS AÑO 2020  
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA DE SIMA AL LAS PESQUERAS MES ABRIL

FECHA	HORA	LECT. LIMN	HORA	LECT. LIMN	OBSERVACIONES
1	7:00	112	17:00	110	OSCURO - LLOUISNA
2	7:00	110	17:00	110	OSCURO - LLOUISNA
3	7:00	110	17:00	110	SOL - LLOUISNA
4	7:00	106	17:00	106	SOL - LLOUISNA
5	7:00	106	17:00	106	NUBLADO - LLOUISNA
6	7:00	104	17:00	104	NUBLADO - LLOUISNA
7	7:00	104	17:00	104	SOL - LLOUISNA
8	7:00	104	17:00	104	OSCURO - LLOUISNA
9	7:00	102	17:00	104	OSCURO - LLOUISNA
10	7:00	104	17:00	104	LLOUISNA - OSCURO
11	7:00	104	17:00	104	SOL - LLOUISNA
12	7:00	108	17:00	108	NUBLADO - LLOUISNA
13	7:00	108	17:00	108	NUBLADO - LLOUISNA
14	7:00	110	17:00	110	NUBLADO - LLOUISNA
15	7:00	140	17:00	135	LLOUISNA - OSCURO
16	7:00	130	17:00	130	SOL - OSCURO
17	7:00	128	17:00	170	SOL - LLOUISNA
18	7:00	137	17:00	137	SOL - LLOUISNA
19	7:00	137	17:00	139	SOL - LLOUISNA
20	7:00	139	17:00	136	SOL - OSCURO
21	7:00	136	17:00	136	SOL - OSCURO
22	7:00	136	17:00	135	SOL - LLOUISNA
23	7:00	133	17:00	133	SOL - LLOUISNA
24	7:00	133	17:00	130	SOL - LLOUISNA
25	7:00	130	17:00	126	SOL - LLOUISNA
26	7:00	124	17:00	124	SOL - OSCURO
27	7:00	122	17:00	120	SOL - OSCURO
28	7:00	118	17:00	118	SOL - LLOUISNA
29	7:00	116	17:00	114	SOL - LLOUISNA
30	7:00	114	17:00	112	SOL - LLOUISNA
31					

  
FIRMA DEL OBSERVADOR

IÑAQUITO N36-14 Y COREA TELE: 02 3971 100 EXT. 2063 / 2064 FAX: 2241 874  
QUITO - ECUADOR

Fuente: INAMHI

Anexo 15. Lectura de limnigrafo Marzo 2021

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
PROCESO DE GESTIÓN HIDROLÓGICA

FORMA HH 16



CUENCA DEL RÍO GUAYAS AÑO 2021  
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CRIMA AZ. PESQUERIAS MES MARZO

FECHA	HORA	LECT. LIMN	HORA	LECT. LIMN	OBSERVACIONES
1	7:00	126	17:00	117	LLUVIA - LLOVISPA
2	7:00	117	17:00	210	OSCURO - LLUVIA
3	7:00	140	17:00	140	LLOVISPA - LLUVIA
4	7:00	145	17:00	140	OSCURO - LLOVISPA
5	7:00	140	17:00	135	OSCURO - LLOVISPA
6	7:00	135	17:00	135	OSCURO - LLOVISPA
7	7:00	132	17:00	132	OSCURO - LLOVISPA
8	7:00	132	17:00	150	NUBLADO - LLUVIA
9	7:00	132	17:00	170	LLOVISPA - LLUVIA
10	7:00	135	17:00	135	NUBLADO - LLOVISPA
11	7:00	140	17:00	138	OSCURO - NUBLADO
12	7:00	138	17:00	140	SOL - LLUVIA
13	7:00	140	17:00	140	OSCURO - LLOVISPA
14	7:00	138	17:00	136	SOL - LLOVISPA
15	7:00	136	17:00	134	SOL - LLOVISPA
16	7:00	134	17:00	132	SOL - LLOVISPA
17	7:00	130	17:00	130	SOL - LLOVISPA
18	7:00	128	17:00	126	OSCURO - OSCURO
19	7:00	126	17:00	126	SOL - LLUVIA
20	7:00	130	17:00	126	SOL - OSCURO
21	7:00	124	17:00	122	SOL - OSCURO
22	7:00	122	17:00	120	SOL - OSCURO
23	7:00	114	17:00	112	SOL - OSCURO
24	7:00	110	17:00	108	SOL - OSCURO
25	7:00	108	17:00	108	SOL - OSCURO
26	7:00	106	17:00	106	NUBLADO - LLOVISPA
27	7:00	106	17:00	106	NUBLADO - LLOVISPA
28	7:00	106	17:00	106	NUBLADO - LLOVISPA
29	7:00	106	17:00	106	NUBLADO - LLOVISPA
30	7:00	104	17:00	102	OSCURO - OSCURO
31	7:00	102	17:00	101	OSCURO - NUBLADO

FIRMA DEL OBSERVADOR

ÑAQUITO N36-14 Y COREA TELF.: 02 3971 100 EXT. 2063 / 2064 FAX: 2241 874  
QUITO - ECUADOR

Fuente: INAMHI

Anexo 16. Lectura de limnigrafo Abril 2021

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
PROCESO DE GESTIÓN HIDROLÓGICA

FORMA HH 16



CUENCA DEL RÍO GUAYAS AÑO 2021  
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CANAL DE PESQUERIAS MES ABRIL

FECHA	HORA	LECT. LIMN	HORA	LECT. LIMN	OBSERVACIONES
1	7:00	101	17:00	101	OSCURO - LLOUISPA
2	7:00	101	17:00	101	OSCURO - LLOUISPA
3	7:00	120	17:00	105	NUBADO - LLOUISPA
4	7:00	105	17:00	105	OSCURO - LLOUISPA
5	7:00	105	17:00	105	NUBADO - LLOUISPA
6	7:00	105	17:00	105	OSCURO - LLOUISPA
7	7:00	105	17:00	105	SOL - LLOUISPA
8	7:00	107	17:00	107	NUBADO - LLOUISPA
9	7:00	105	17:00	120	SOL - LLUVIA
10	7:00	107	17:00	107	OSCURO - LLOUISPA
11	7:00	107	17:00	107	SOL - NUBADO
12	7:00	107	17:00	107	SOL - LLOUISPA
13	7:00	105	17:00	105	OSCURO - LLOUISPA
14	7:00	105	17:00	108	OSCURO - LLUVIA
15	7:00	108	17:00	108	OSCURO - LLOUISPA
16	7:00	108	17:00	108	NUBADO - LLOUISPA
17	7:00	108	17:00	110	OSCURO - LLUVIA
18	7:00	106	17:00	110	NUBADO - LLUVIA
19	7:00	110	17:00	108	OSCURO - LLOUISPA
20	7:00	108	17:00	108	SOL - LLOUISPA
21	7:00	110	17:00	108	OSCURO - LLOUISPA
22	7:00	105	17:00	105	SOL - LLOUISPA
23	7:00	105	17:00	110	NUBADO - LLUVIA
24	7:00	108	17:00	105	SOL - LLOUISPA
25	7:00	105	17:00	105	OSCURO - LLOUISPA
26	7:00	105	17:00	108	NUBADO - LLUVIA
27	7:00	106	17:00	106	OSCURO - LLOUISPA
28	7:00	106	17:00	106	NUBADO - LLOUISPA
29	7:00	106	17:00	106	NUBADO - LLUVIA
30	7:00	130	17:00	130	LLUVIA - LLUVIA
31					

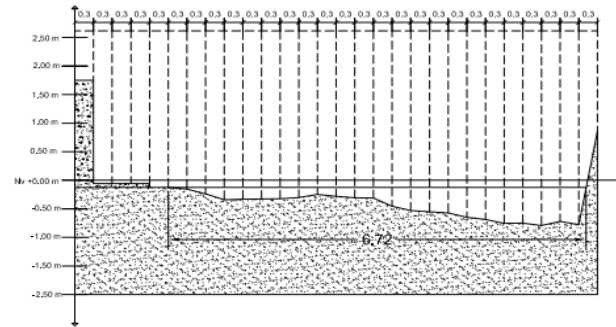
  
FIRMA DEL OBSERVADOR

INAQUITO N36-14 Y COREA TELE: 02 3971 100 EXT. 2063 / 2064 FAX: 2241 874  
QUITO - ECUADOR

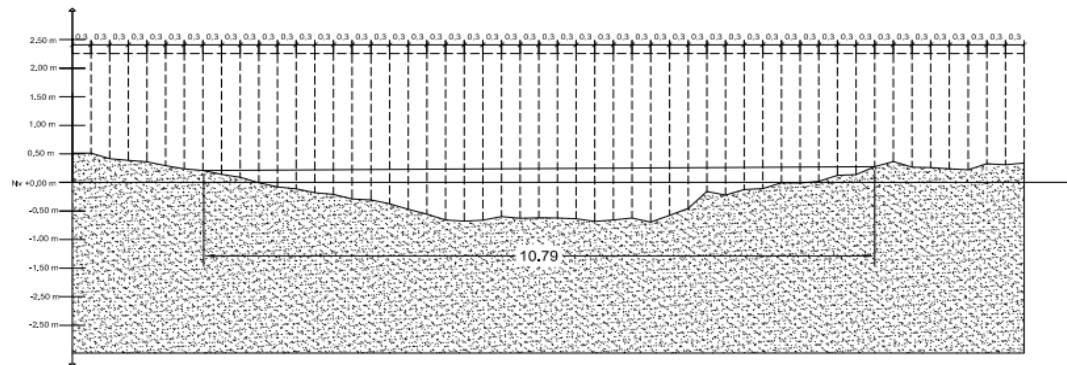
Fuente: INAMHI

Anexo 17. Plano perfil Dulcepamba

PERFIL LONGITUDINAL- SICOTO  
CORTE 1-1



PERFIL LONGITUDINAL- SAN PABLO  
DE AMALI  
CORTE 1-1



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA DEL  
ECUADOR

COORDENADAS  
ORIENTACIÓN



CROQUIS DE UBICACIÓN



LOCALIZACIÓN:  
CHILIANES-BOLIVAR

COORDENADAS

UBICACIÓN DEL AFORO-SICOTO:  
ESTE(UTMX): 714494  
NORTE(UTMY): 9794272  
COTA(UTMZ): 2070

UBICACIÓN DEL AFORO-SAN PABLO DE  
AMALI:  
ESTE(UTMX): 702169  
NORTE(UTMY): 9784122  
COTA (UTMZ): 414

TEMA:  
COMPARACIÓN ENTRE UN MODELO  
HIDROLÓGICO EMPÍRICO Y UNO DIRECTO DE  
ESCURRIMIENTO, PARA EL RÍO DULCEPAMBA,  
CANTÓN CHILIANES, PROVINCIA DE BOLÍVAR

TUTOR:  
ING. EDDY SANCHEZ

CARRERA:  
INGENIERIA CIVIL

SEMESTRE:  
NOVENO

PROYECTO:  
TESIS

NOMBRE DEL PLANO:  
PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO  
DULCEPAMBA

INTEGRANTES:  
ESPÍN KENNY  
ORTEGA JORGE

QUITO- ECUADOR

Nº. PLANO:  
1/1

ESCALA:  
1:100

FECHA:  
17/09/2022

TEMA: