



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agrícola

**Análisis de máximas crecidas, para diferentes períodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja).**

**Trabajo de Titulación  
previo a la obtención del  
título de Ingeniera Agrícola**

**AUTORA:**

Jhuliana del Rocío Maza Medina

**DIRECTOR:**

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 22 de septiembre de 2022

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis de máximas crecidas, para diferentes períodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola, de autoría de la estudiante Jhuliana del Rocío Maza Medina, con cédula de identidad Nro. 1104589096, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

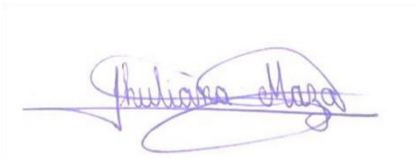


.....  
Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, Jhuliana del Rocío Maza Medina, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula la Identidad.:** 1104589096

**Fecha:** Loja, 04 de octubre de 2024

**Correo electrónico:** jhuliana.maza@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0988858702

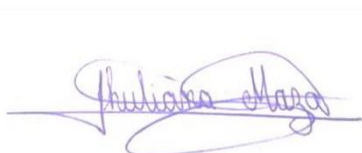
**Carta de autorización por parte de la autora para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Jhuliana del Rocío Maza Medina**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis de máximas crecidas, para diferentes períodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los cuatro días del mes de octubre de dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Autora:** Jhuliana del Rocío Maza Medina

**Cédula:** 1104589096

**Dirección:** Sucre, Loja Ecuador

**Correo electrónico:** jhuliana.maza@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0988858702

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Aníbal Eduardo González Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

Este trabajo de titulación es dedicado:

A Dios y la Virgen de El Cisne, por guiar mi camino, por la salud, sabiduría y voluntad dada a mí para realizar con éxito este trabajo de titulación.

A mis padres, Rita y Eduardo por ser el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer, por su cariño y apoyo en todo momento, muchos de mis logros y en especial este, se los debo a ustedes.

A mis hermanas, Viviana, Erika y Emily por su cariño y apoyo incondicional, gracias por estar conmigo en todo momento, por sus oraciones, consejos y palabras de aliento.

A mis sobrinos, Sebastián, Antonio, Mateo y Aitana, que día a día con su cariño me impulsan a seguir adelante.

A mis abuelitos Fabiola, Alfonzo y especialmente a Ángel Polibio quienes fueron parte esencial de mi formación, en mi educación y mis valores como persona.

A toda mi familia porque hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en todos mis sueños y metas.

A Edison, por estar a mi lado en todo momento para ayudarme, y a todos mis compañeros y amigos Gabriela, María, Jeremy y Alexander quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas conmigo; y a todas aquellas personas que a lo largo de estos años estuvieron a mi lado apoyándome.

***Jhuliana del Rocío Maza Medina***

## **Agradecimiento**

Esta tesis fue posible gracias al aporte valioso de varias personas, hoy a través de esta página quiero expresar mi eterna gratitud a ellas.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Agrícola, que me permitieron cumplir esta meta, a toda la planta docente y administrativa, que con sus conocimientos impartidos me han formado en lo moral, ético y profesional.

Al Ing. Aníbal Eduardo González G, director de la presente investigación, por la confianza brindada a mi persona y por darme la posibilidad de realizar esta investigación bajo su dirección, por su apoyo y paciencia.

A mi tribunal, PhD. Edison Vásquez, PhD. Luis Balcázar y Mg, Sc Oscar Juela, mis más sinceros agradecimientos por los comentarios y sugerencias para mejoras en el presente trabajo.

A los docentes del Centro de Investigaciones Territoriales (CIT), especialmente al Ing. Fernando González por su aporte y ayuda para el desarrollo del proyecto.

A toda mi familia, porque son lo más importante que tengo en la vida, por ser mi mayor motivación y apoyo personal.

A todos mis amigos y compañeros de clases con quienes he compartido momentos buenos y malos, sin su apoyo durante todos estos años no habría sido posible conseguir este sueño.

***Jhuliana del Rocío Maza Medina***

## Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1.    Título.....	1
2.    Resumen.....	2
2.1.  Abstract.....	3
3.    Introducción .....	4
4.    Marco Teórico.....	7
4.1.  Cuenca Hidrográfica y Ciclo Hidrológico .....	7
4.1.1. Cuenca Hidrográfica .....	7
4.1.2. Ciclo Hidrológico y sus componentes .....	7
4.1.2.1. Precipitación.....	8
4.1.2.2. Escurrimiento .....	11
4.1.2.3. Infiltración y Percolación .....	12
4.1.2.4. Evaporación y Evapotranspiración.....	12
4.2.  Máximas Crecidas.....	13
4.2.1. Importancia de las Máximas Crecidas .....	13
4.2.2. Factores de Intensificación .....	14
4.2.3. Estimación de Máximas Crecidas .....	14
4.2.3.1. Métodos Empíricos.....	15
4.2.3.2. Métodos Hidrológicos .....	16
4.3.  Curvas de Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-D-Tr).....	18
4.4.  Medición de Caudales.....	19
4.4.1. Aforos .....	19
4.4.2. Métodos de Aforos.....	20
4.4.2.1. Aforos directos .....	20

4.4.2.2. Aforos indirectos .....	21
4.4.3. Medición y registro de caudales .....	21
5. Metodología .....	23
5.1. Localización del área de estudio .....	23
5.2. Métodos .....	24
5.3. Metodología para el primer objetivo .....	25
5.3.1. Caracterización física y morfométrica de la cuenca. ....	25
5.3.2. Curvas de Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-D-Tr) .....	31
5.3.3. Precipitación máxima en 24 en horas .....	31
5.3.4. Estimación de Máximas Crecidas para la cuenca .....	34
5.3.4.1. Estimación por el Método Racional .....	34
5.3.4.2. Estimación por el Método SCS o Número de Curva.....	37
5.3.4.3. Estimación por el Método del Hidrograma Triangular .....	40
5.3.4.4. Estimación por el Método del Hidrograma adimensional SCS.....	41
5.3.4.5. Estimación por el método del Hidrograma Unitario de Snyder .....	42
5.3.4.6. Estimación por el método de Ven Te Chow.....	45
5.4. Metodología para el segundo objetivo .....	47
5.4.1. Establecimiento del punto de aforo .....	47
5.4.2. Generación de la relación caudal – nivel del agua de la Cuenca .....	47
5.4.3. Registro de máximas crecidas en el punto de interés. ....	49
5.4.4. Comparar los registros obtenidos con los resultados de los métodos empíricos aplicados. .....	50
6. Resultados.....	51
6.1. Resultados del primer objetivo .....	51
6.1.1. Análisis de los parámetros físicos y morfológicos de la Cuenca.....	51
6.1.2. Curvas de Intensidad- Duración-Periodo de retorno (I-D-T) de la microcuenca .....	52
6.1.3. Precipitación máxima en 24 horas de la microcuenca .....	53
6.1.4. Estimación de Máximas Crecidas en la microcuenca del rio Malacatos. ....	54
6.1.4.1. Estimación por el Método Racional .....	54
6.1.4.2. Estimación por el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.....	57
6.1.4.3. Estimación por el Método del Hidrograma Triangular .....	58
6.1.4.4. Estimación por el método del Hidrograma Adimensional del SCS .....	58
6.1.4.5. Estimación por el Método del Hidrograma Unitario de Snyder.....	58
6.1.4.6. Estimación por el Método de Ven Te Chow .....	58
6.2. Resultado para el segundo objetivo .....	59



6.2.1. Generación de la relación caudal – nivel del agua de la Cuenca .....	59
6.2.2. Registro de máximas crecidas en el punto de aforo.....	60
6.2.3. Comparación de los registros obtenidos con los resultados de los métodos empíricos.	61
7. Discusión .....	63
7.1. Estimación de los valores de máximas crecidas para la cuenca Superior del río Zamora, a través de la aplicación de diferentes métodos empíricos. ....	63
7.2. Comparación de los datos de máximas crecidas, obtenidos a través de métodos empíricos, con registro de máximas crecidas observadas en el periodo de estudio. ....	67
8. Conclusiones.....	69
9. Recomendaciones .....	70
10. Bibliografía .....	71
11. Anexos .....	89

## Índice de tablas

Tabla 1. Periodos de retorno para diferentes obras hidráulicas.....	19
Tabla 2. Clasificación de tamaños de cuenca en función de su área.....	26
Tabla 3. Clases de forma de una cuenca. ....	27
Tabla 4. Clasificación de las pendientes. ....	27
Tabla 5. Clasificación del orden de corrientes de una cuenca.....	28
Tabla 6. Clasificación de la red de drenaje de las cuencas hidrográficas. ....	29
Tabla 7. Clasificación de la pendiente media del cauce principal.....	30
Tabla 8. Interpretación del tiempo de concentración de una cuenca.....	31
Tabla 9. Intensidades máximas de la estación La Argelia – Loja. ....	31
Tabla 10. Variable reducida que está en función del periodo de retorno.....	33
Tabla 11. Valores de $Y_n$ y $S_n$ en función del tamaño de la muestra.....	33
Tabla 12. Valores del coeficiente $C$ de la escorrentía.....	35
Tabla 13. Gasto unitario $q$ ( $m^3/s/mm/km^2$ ), en función del tiempo de concentración $T_c$ (horas).....	39
Tabla 14. Valores de $C_t$ y $C_p$ para la estimación del Hidrograma Sintético de <i>Snyder</i> .....	43
Tabla 15. Parámetros físicos y morfométricos de la microcuenca Malacatos.....	51
Tabla 16. Precipitación máxima en 24 horas de la microcuenca del río Malacatos.....	53
Tabla 17. Intensidad de precipitación para diferentes periodos de retorno de la microcuenca del río Malacatos.....	56
Tabla 18. Precipitación de la tormenta para diferentes periodos de retorno de la microcuenca del río Malacatos.....	58
Tabla 19. Precipitación neta de la microcuenca del río Malacatos.....	58
Tabla 20. Lluvia de diseño para la microcuenca del río Malacatos. ....	59
Tabla 21. Estimación de máximas crecidas por diferentes métodos empíricos en la microcuenca del río Malacatos. ....	59
Tabla 22. Registro de eventos de gran intensidad en la microcuenca del río Malacatos.....	61
Tabla 23. Reajuste de máximas crecidas mediante el uso de la intensidad de precipitación registrada en la microcuenca del río Malacatos.....	61
Tabla 24. Porcentaje de error de los diferentes métodos aplicados para estimación de máximas crecidas comparados con los caudales observados el 15 de marzo de 2022.....	62

## Índice de figuras

Figura 1. Representación del Ciclo Hidrológico .....	8
Figura 2. Esquema de un Pluviómetro .....	10
Figura 3. Esquema de un Pluviógrafo .....	10
Figura 4. Sensor de precipitación instalado en campo. ....	11
Figura 5. Ubicación Geográfica del área de estudio. ....	23
Figura 6. Diagrama de flujo metodológico .....	25
Figura 7. Curva Hipsométrica y su interpretación. ....	28
Figura 8. Mapa de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio .....	32
Figura 9. Diagrama de flujo para obtener el Coeficiente de escorrentía .....	36
Figura 10. Diagrama de flujo para obtener la Curva Número .....	38
Figura 11. Sección transversal para el punto de aforo. ....	48
Figura 12. Curva Hipsométrica de la microcuenca del río Malacatos .....	52
Figura 13. Perfil del cauce principal de la microcuenca del río Malacatos.....	52
Figura 14. Curvas de Intensidad – Duración – Periodo de retorno de la estación La Argelia (periodo 1990 - 2012) .....	53
Figura 15. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Malacatos.....	54
Figura 16. Cobertura vegetal de la microcuenca del río Malacatos. ....	55
Figura 17. Textura de suelo de la microcuenca del río Malacatos. ....	56
Figura 18. Mapa de Número de Curva de la microcuenca del río Malacatos. ....	57
Figura 19. Sección Transversal del río Malacatos en el punto de aforo .....	60
Figura 20. Curva de Descarga de la microcuenca del río Malacatos. ....	60

## Índice de anexos

Anexo 1. Precipitación media máxima en 24 horas (mm) de las estaciones meteorológicas que rodean la microcuenca .....	89
Anexo 2. Precipitación máxima en 24 horas para la microcuenca del río Malacatos .....	91
Anexo 3. Coeficiente de escorrentía de la microcuenca del río Malacatos.....	92
Anexo 4. Número de Curva de la microcuenca del río Malacatos.....	93
Anexo 5. Estadística de aforos realizados en la microcuenca del río Malacatos .....	94
Anexo 6. Eventos de gran precipitación registrados en el periodo marzo - diciembre de 2022 .....	94
Anexo 7. Evidencia fotográfica de la medición de caudales en el punto de aforo de la microcuenca del río Malacatos. ....	95
Anexo 8. Evidencia fotográfica de las variaciones del nivel del agua en el punto de aforo de la microcuenca del río Malacatos .....	96
Anexo 9. Certificado de traducción del abstract .....	97

## **1. Título**

Análisis de máximas crecidas, para diferentes períodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja).

## 2. Resumen

Una máxima crecida se define como el caudal pico que se produce en una cuenca a consecuencia de una lluvia intensa. La estimación del caudal máximo es importante en el diseño de obras hidráulicas, especialmente para aquellas obras de protección, que tienen el fin de controlar el agua proveniente de avenidas, que pueden causar daños materiales o pérdidas de vidas humanas. El objetivo de esta investigación fue contribuir con datos de máximas crecidas para diferentes periodos de retorno en la cuenca superior del río Zamora. Para ello se realizó la caracterización física y morfométrica de la microcuenca del río Malacatos, y la estimación de caudales máximos a través de métodos empíricos como: racional y Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) e hidrológicos como los métodos de hidrogramas Triangular, adimensional del CSC, el propuesto por *Snyder* y el método de *Vente Chow*. En el periodo marzo – diciembre 2022, se realizó una serie de aforos que permitieron establecer una relación caudal – nivel del agua para generar la curva de descarga de la microcuenca, luego se documentó los eventos de mayor intensidad, en los que se registró el caudal y la intensidad de precipitación. Los caudales obtenidos mediante métodos empíricos fueron reajustados con base en la intensidad de precipitación y se compararon con los caudales registrados, determinándose que los eventos más representativos ocurrieron el 15 de marzo y 30 de diciembre de 2022, con intensidades de 30,90 y 23,30 mm/h y caudales 72,80 y 54,23 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Finalmente, a través del porcentaje de error se determinó que los caudales observados en los eventos son similares a los caudales de reajuste de los métodos de los hidrogramas Triangular y Adimensional del SCS, evidenciándose así estos métodos se adaptan a las condiciones físicas y morfométricas de la microcuenca.

**Palabras clave:** microcuencas, máximas crecidas, métodos empíricos, caudales máximos.

## 2.1. Abstract

A maximum flood is defined as the peak flow that occurs in a basin as a result of heavy rainfall. The estimation of the maximum flow is important in the design of hydraulic works, especially for those protection works, which have the purpose of controlling the water coming from floods, which can cause material damage or loss of human lives. The objective of this research was to contribute with data of maximum floods for different return periods in the upper Zamora River basin. For this purpose, the physical and morphometric characterization of the Malacatos River micro-basin was carried out, and the estimation of maximum flows was done through empirical methods such as: rational and United States Soil Conservation Service (SCS) as well as hydrological methods such as the Triangular hydrograph methods, dimensionless of the CSC, the one proposed by Snyder, and the Ven Te Chow method. In the period March - December 2022, a series of gauging was carried out to establish a flow - water level relationship to generate the discharge curve of the microbasin, then the events of greater intensity were documented, in which the flow and the intensity of precipitation were recorded. The flows obtained by empirical methods were readjusted based on the intensity of precipitation and compared with the recorded flows, determining that the most representative events occurred on March 15th and December 30th, 2022, with intensities of 30,90 and 23,30 mm/h and flows of 72,80 and 54,23 m<sup>3</sup>/s, respectively. Lastly, through the error percentage it was determined that the observed flows in the events are similar to the readjustment flows of the SCS Triangular and Dimensionless hydrographs methods, thus showing that these methods are adapted to the physical and morphometric conditions of the microbasin.

**Keywords:** microbasins, maximum floods, empirical methods, maximum flows.

### 3. Introducción

La estimación de caudales máximos asociados a determinados periodos de retorno de diseño es esencial en muchas aplicaciones de la Ingeniería Hidráulica. Villón (2004) menciona, con base a datos sobre crecidas máximas se puede diseñar sistemas de drenaje ya sea agrícolas, de aeropuertos, ciudades y carreteras, muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones, alcantarillas, vertedores de excedencias y luz en puentes. Para la determinación de estos valores, según Naranjo (2011), se requiere de información meteorológica, en el caso de no contar con estaciones de aforo que proporcionen estos registros, se debe acudir a métodos alternativos basados principalmente en datos de precipitación máxima en 24 horas y en las características físicas de la cuenca.

Lopardo y Seonane (2000) señalan que los desastres debidos a crecidas han alcanzado aproximadamente un tercio de todas las catástrofes naturales alrededor del mundo, son causantes principalmente de pérdidas económicas y muertes fatales. En décadas recientes, los daños por crecidas han sido severos, donde se evidencia que tanto la intensidad como la frecuencia de las inundaciones han ido aumentando (Soler 2020).

El Ecuador enfrenta uno de los mayores impactos ambientales producidos por el exceso de agua, provenientes de precipitaciones estacionales e inusuales, como las ocasionadas por el fenómeno de El Niño; en el país, el 64,87 % de los desastres ocurridos están ocasionados por precipitaciones y actualmente el 12 % de la población nacional está expuesta a inundaciones, problema que afecta principalmente a las viviendas y cultivos en zonas bajas de las cuencas de la costa ecuatoriana (SENPLADES, 2014; Galárraga 2004).

Según Rosario (2016) actualmente en Ecuador no existen ecuaciones para la determinación de caudales máximos que pudieran ser aplicadas a las condiciones de nuestro país, desafortunadamente sólo se dispone de datos sobre precipitaciones y los caudales registrados son muy escasos, lo que genera que se recurra a la aplicación modelos empíricos y semi-empíricos desarrollados en otros países con condiciones climáticas diferentes, para estimar dichos valores Erazo y Ortiz (2014). Eremchuk (2019) añade que la falta de datos hidrológicos y registros pluviométricos en las cuencas, son causantes de la incertidumbre de dichos estudios. Carvajal *et al.* (2012) indican, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y otros organismos nacionales e internacionales han realizado algunos estudios y evaluaciones sobre estos fenómenos, destacando sus consecuencias y ofreciendo propuestas para dar un seguimiento y monitoreo a la presencia de estos fenómenos naturales, producto de esto, se tienen algunos mapas en especial de inundaciones. La falta de información es a menudo una limitante para el análisis de máximas



crecidas en un sitio determinado, muchas veces se dispone de datos con series muy cortas, por lo tanto, se tiene un alto grado de incertidumbre para periodos de retorno grandes (Aguilera & Orozco, 2010).

En la provincia de Loja, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, se han identificado cinco tipos de amenaza en las que se indica la exposición del territorio a inundaciones de diversas categorías, el 8,94 % se encuentra en categoría muy alta, 8,81 % alta, 27,17% media, 33,99 % baja y 21,09 % muy baja (Prefectura de Loja, 2019). Las principales zonas propensas a inundaciones se ubican en quebradas y ríos, sobre todo en los principales afluentes como Río Zamora, Río Malacatos, Río San Lucas, Río Chantaco, Río Vilcabamba (Municipio de Loja, 2014).

En la ciudad de Loja, debido a las precipitaciones ocurridas en enero de 2021, se han generado varios incidentes como son: deslizamientos, inundaciones, colapsos estructurales, hundimiento y socavamiento; en marzo del mismo año, el río Malacatos aumentó su caudal, salió de su cauce e inundó la zona centro-norte de la ciudad, provocando inundaciones por el taponamiento de sumideros y alcantarillas, destrucción de las líneas de conducción de los dos sistemas de agua potable y sedimentos depositados en las calles que impiden la circulación (Farfán 2021; Castillo 2021). En el mes de marzo de 2022, un fuerte aguacero provocó inundaciones en 27 zonas de la ciudad, desbordamiento de quebradas y la desaparición de una menor de edad (Carrera, 2022).

Por lo anteriormente expuesto, se ha realizado esta investigación, centrada en contribuir con datos de información de máximas crecidas para diferentes periodos de retorno en la cuenca superior del río Zamora a través de la aplicación de métodos empíricos, tomando en cuenta que estos valores son estimaciones que podrán ser utilizados como referencias y servirán para realizar las respectivas comparaciones con nuevas investigaciones. Se espera que en un futuro se cuenten con datos puntuales y estadísticas propias de la zona, de modo que esto permita confirmar o no la autenticidad de los resultados conseguidos.

Con base a lo expuesto, se planteó los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

- Contribuir con datos de información de máximas crecidas para diferentes periodos de retorno en la cuenca superior del río Zamora, a través de la aplicación de métodos empíricos.

### **Objetivos específicos**

- Estimar los valores de máximas crecidas para la Cuenca Superior del río Zamora, a través de la aplicación de diferentes métodos empíricos.
- Comparar los datos de máximas crecidas, obtenidos a través de métodos empíricos, con registros de máximas crecidas generadas en el período de estudio

## **4. Marco Teórico**

En el presente capítulo se especifican fundamentos teóricos acerca de las máximas crecidas, factores que influyen en ellas, curvas I-D-T (Intensidad-Duración-Periodo de retorno), curva de calibración de caudales y estimación por métodos empíricos que permitan realizar el cálculo de crecidas en la cuenca superior del río Zamora.

### **4.1. Cuenca Hidrográfica y Ciclo Hidrológico**

#### ***4.1.1. Cuenca Hidrográfica***

La cuenca hidrográfica es el área delimitada por la parte alta de montañas, laderas y colinas en el que se desarrolla un sistema de drenaje superficial, concentra el agua en un cauce principal y la desemboca en un océano, lago u otro río mayor (Faustino & Jiménez, 2000). Según (Gutiérrez, 2014) es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua, de tal forma que todo el escurrimiento de la superficie es conducido por canales o cauces hasta la salida o punto de interés. Vásconez *et al.* (2019) mencionan, es utilizada como unidad de planificación para los recursos hídricos y según *Dombeck* (2010) cuando se encuentra en buen estado disipa las inundaciones, aumenta la fertilidad del suelo y reduce daños en los cuerpos de agua.

Desde el punto de vista ecológico, (Goigochea, 2012) señala que se define como un ecosistema en el que interactúan e interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas que funcionan como un todo, entre sus componentes están: componentes biológicos, conformado por la flora como bosques, cultivos y demás cobertura vegetal, y la fauna; componentes físicos, constituido por el agua, suelo, subsuelo y el aire; y componentes socioeconómicos, como las comunidades que habitan en la cuenca y aprovechan para su beneficio los recursos naturales, construyendo infraestructura de servicio y de producción.

Desde un enfoque social, la cuenca es importante porque es esencial en el desarrollo de la sociedad, principalmente a los diferentes servicios ecosistémicos que brinda, como son el suministro de agua dulce utilizado en los sectores doméstico, industrial y agrícola (Ramírez *et al.* 2020).

#### ***4.1.2. Ciclo Hidrológico y sus componentes***

El ciclo hidrológico está constituido por una serie de procesos continuos, tanto de movimiento como de transferencia de agua en todo el planeta e incluye cuerpos de agua,

océanos y la atmósfera terrestre (Loor & Duque, 2017). Según Juela (2011), comprende al conjunto de cambios que experimenta el agua en su naturaleza, tanto en su estado sólido, líquido y gaseoso, como en su forma de agua superficial, agua subterránea, entre otros.

Ordoñez (2011) menciona que el ciclo hidrológico puede definirse como una serie de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y viceversa; evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación de agua en el suelo y su posterior evaporación, además de la evaporación ocurre también la evapotranspiración, en la que el agua contenida en los suelos y la transpiración de las plantas se evaporan (Formaggio, 2021), tal como se indica en la Figura 1.



Figura 1. Representación del Ciclo Hidrológico

Fuente: USGS (United States Geological Survey)

Los principales factores para considerar en el Ciclo Hidrológico son:

#### **4.1.2.1. Precipitación**

Uno de los componentes principales del ciclo hidrológico, es la caída del agua desde las nubes hasta la superficie de la Tierra, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo (Núñez, 2020). La formación de la precipitación requiere el ascenso de grandes cantidades de agua a la atmósfera, lo que permite que ésta se enfríe y parte del agua se condense, y posteriormente se precipite hacia la Tierra (Merma, 2020b).

La precipitación es toda forma de humedad que se origina en las nubes, cuando se alcanza un punto de saturación, y llega hasta la superficie del suelo, puede ser en forma de lluvias, granizadas, garúas y nevadas. En la Ingeniería Hidrológica, la precipitación es la fuente de agua de la superficie terrestre, su medición y análisis, constituyen el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua (Villón, 2002).

Según Ordoñez (2011), dependiendo del proceso mediante el cual el aire asciende para enfriarse, condensar y originar las lluvias, estas pueden ser:

**Lluvias Convectivas:** resultado de una subida rápida de las masas de aire en la atmósfera, la precipitación de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración, de intensidad fuerte y de poca extensión espacial.

**Lluvias Orográficas:** este tipo de precipitación está relacionada con la presencia de una barrera topográfica, su característica principal es su intensidad y frecuencia regular.

**Lluvias frontales y Ciclónicas:** se denomina así, a la asociación de la temperatura de la masa de aire y la humedad. Los frentes fríos crean precipitaciones de larga duración.

### ***Medición de la Precipitación***

La medición de la lluvia permite obtener información acerca de sus características espaciales, frecuencia y cantidad precipitada sobre un lugar específico Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2019).

Con el fin de medir la precipitación, se han desarrollado una variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de sus diferentes fases (Ordoñez, 2011). Estos aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos (Torres, 2004).

- a. **Pluviómetro.** Son los más utilizados, miden la cantidad de agua en períodos de 1 día. Consiste en un recipiente en el que se acumula la lluvia que cae a través de un embudo, se sitúa a 1,5 m del suelo (Fuster y Uribe, 2020). Arriaga (2015) menciona que los pluviómetros son los equipos que miden principalmente la altura de precipitación, mide los litros recogidos en un lugar y tiempo determinado y su medida puede ser representativa de la precipitación de una cuenca (Figura 2).

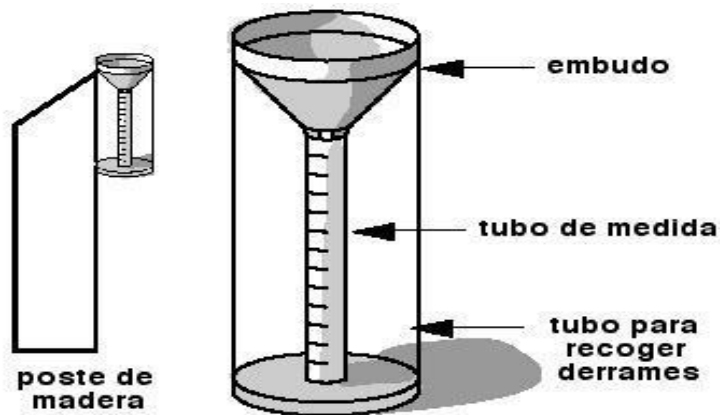


Figura 2. Esquema de un Pluviómetro

Fuente: Sanz (2013)

Los pluviómetros se clasifican en registradores, que son los que permiten registrar automáticamente la precipitación, y no registradores, que requieren de medición manual de la precipitación en intervalos de tiempo determinados (Mediero-Orduña, 2021).

- b. **Pluviógrafo.** Mide la cantidad de agua caída y el tiempo en el que ésta ha caído (Claudio, 2011). Según González *et al.* (2016), el pluviógrafo está diseñado para determinar la intensidad de la lluvia en diferentes intervalos de tiempo (Figura 3).

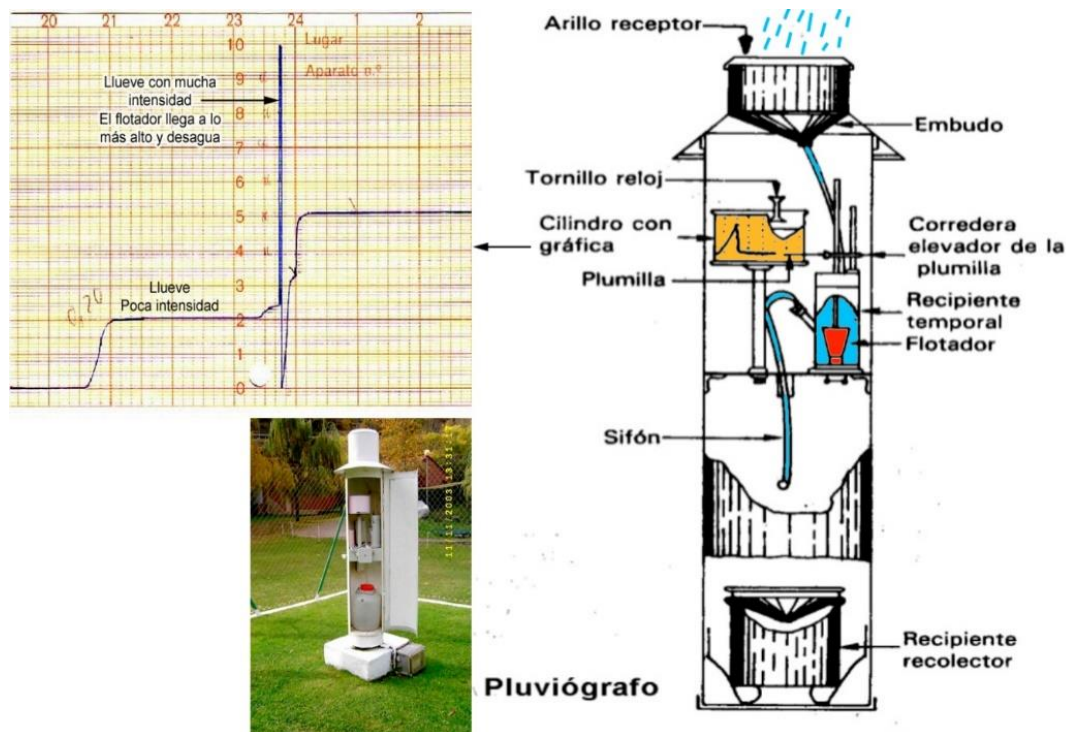


Figura 3. Esquema de un Pluviógrafo

Fuente: Benito (2020)

### c. Sensores de precipitación

Se valen de instrumentos de medición como pluviómetros, estos sensores estiman la precipitación que cae sobre la superficie terrestre, recopilan los datos cada cierto tiempo, para el que fueron programados, y luego se envían los datos al software de monitoreo, para su visualización y análisis (SensorGO, 2020).



Figura 4. Sensor de precipitación instalado en campo.

Fuente: SensorGO (2020)

#### 4.1.2.2. Esguerrimiento

Es aquella parte de la lluvia, del agua de deshielo y/o del agua de irrigación que no se infiltra en el suelo, sino que se desplaza sobre la superficie del mismo, denominándose esguerréntía superficial cuando se mueve hacia el cauce fluvial y la parte discurre casi horizontalmente a través de las capas superiores del suelo se denomina esguerréntía subsuperficial (Nieto, 2014). En otra definición, Maderey (1977) indica que el esguerrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes superficiales, ya sean estas, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua.

Según Vásconez *et al.* (2019), el agua procedente de la precipitación o esguerréntía, alimenta las corrientes superficiales de una cuenca, y puede ser de tres tipos: esguerrimiento superficial, que es la porción más rápida de la esguerréntía, no se infiltra y llega a la red de drenaje a través de la superficie del suelo por gravedad; esguerrimiento subsuperficial que es parte de la esguerréntía que se infiltra y se mueve medio de la capa más superficial del suelo, reaparece en forma de manantiales, a su vez se divide en los tipos de flujo lento y rápido; y esguerrimiento

subterráneo, que es la porción más lenta de la escorrentía, se infiltra y alcanza el nivel freático, posteriormente llega a la red de drenaje.

#### **4.1.2.3. Infiltración y Percolación**

Infiltración es el volumen de agua que procede de las precipitaciones y atraviesa la superficie del terreno, ocupa total o parcialmente los poros del suelo y subsuelo (Ordoñez, 2011). Según Campoverde (2019) es la velocidad máxima a la cual puede penetrar el agua a la superficie del suelo. La capacidad de infiltración disminuye debido a que los suelos alcanzan su nivel máximo de absorción, esto ocurre en precipitaciones extensas y dan origen a la escorrentía (Montaner & Sánchez, 1988).

Percolación es el movimiento de agua a través del suelo hacia los niveles inferiores, la capacidad de percolación es la capacidad máxima a la cual es agua se puede mover a través del suelo Monsalve (1999).

#### **4.1.2.4. Evaporación y Evapotranspiración**

Considerada como pérdida de agua, la evaporación es un proceso físico que consiste en el paso del agua del estado líquido a gaseoso o vapor de agua (Valdivielso, 2020a). *Daver* (2012) señala que para estudiar la evaporación se debe considerar los orígenes de su producción, una parte de la lluvia queda en la cobertura vegetal, se intercepta en hojas o troncos y se da la evaporación; otra parte llega al suelo y lo moja dando lugar a la evaporación desde el suelo húmedo con variaciones del grado de humedad, finalmente, otra parte alcanza los cauces y resultará en la evaporación desde superficies líquidas continuas desde mares, lagos y ríos.

De manera general, la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas son complejos de estimar, por ello se engloban en una sola variable conocida como evapotranspiración, que según Ordoñez (2011) es la cantidad total de agua transformada en vapor debido a la cobertura vegetal existente, incluyendo la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración de la hojas. Las unidades de medición de la evapotranspiración son en milímetros sobre un periodo de tiempo, ya sea este día, mes o años Hämmerly (2011).



## 4.2. Máximas Crecidas

Según indican Hernández et al. (2019), una avenida máxima es definida como un caudal máximo que se presenta a la salida de una cuenca y es consecuencia de una lluvia intensa. A causa de las descargas que se producen en un tiempo muy corto, Suemy (2019) menciona que los ríos transportan grandes cantidades de carga, lo que da lugar a catástrofes naturales.

Aparicio (1992), indica los principales parámetros que intervienen en el proceso de formación y evolución de las avenidas:

- Área de la cuenca.
- Altura total de precipitación.
- Características generales de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).
- Distribución de la lluvia en el tiempo.
- Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.
- Humedad existente en el suelo al momento de la lluvia.
- Factores extra hidrológicos y obras artificiales.

### 4.2.1. Importancia de las Máximas Crecidas

El estudio de caudales máximos según Villón (2004) sirve para el diseño de:

- Las dimensiones de un cauce.
- Sistemas de drenaje: agrícola, aeropuerto, ciudad, carretera.
- Muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones.
- Alcantarillas
- Vertedores de demasías
- Luz en puentes.

Los estudios sobre crecidas se basan en los registros disponibles, pero a menudo la cantidad, precisión y representatividad de los registros no son suficientes para lograr una adecuada confiabilidad en los resultados. Las crecidas son de interés desde el punto de vista de un ingeniero para las obras hidráulicas que están expuestas al desborde de las avenidas máximas por las dimensiones y la magnitud de los daños que ocasiona (García, 2017).

#### **4.2.2. Factores de Intensificación**

Según Ollero (1997) los factores que influyen en la formación de una avenida son los siguientes:

- Las condiciones climáticas e hidrológicas previas registradas en la cuenca.
- Las características físicas propias de la cuenca: topografía, superficie drenada (al aumentar el área y organización de la cuenca se incrementan las condiciones para que también lo haga la magnitud absoluta de la crecida, se debe tener en cuenta también que las cuencas pequeñas también pueden generar enormes puntas de crecida debido a su menor capacidad de absorción), litología (permeabilidad), densidad y naturaleza de la cubierta vegetal (intercepción), usos del suelo (urbanización, deforestación, incendios forestales, canalizaciones, áreas puestas en riego, extracción de áridos, ...), capacidad del suelo y subsuelo para retener agua (infiltración), recarga y descarga de acuíferos, presencia de infraestructuras, etc.
- La densidad y jerarquización de la red de drenaje, son variables relativamente estables. Las características morfométricas son decisivas en la predicción (hidrograma unitario geomorfológico). Las crecidas de los grandes colectores surgen de la sincronización de sus principales afluentes.
- Las características de los canales: morfología del lecho fluvial, geometría hidráulica, cambios históricos, procesos naturales (deslizamientos, taponamientos), presencia de infraestructuras (puentes, defensas, presas, azudes). Durante la avenida los cauces van variando y acomodándose.

#### **4.2.3. Estimación de Máximas Crecidas**

Estimar caudales máximos asociados a determinados periodos de retorno de diseño es fundamental en el diseño de obras hidráulicas, especialmente en aquellas que tienen como fin el control del agua proveniente de avenidas, debido a que una falla en su estructura podría causar daños materiales o pérdida de vidas humanas, por lo tanto, es importante que se realicen investigaciones exhaustivas sobre métodos y procedimientos para estimar máximas crecidas que sean acordes a los requerimientos del proyecto a analizar (García, 2011; Gómez, 2012).

En la determinación de los valores se tendrá dos escenarios: casos de cuencas con registros y casos de cuencas sin información, en el segundo, caso al no contarse con estaciones

de aforo que proporcionen registros de descargas máximas, se tendrá que acudir a métodos alternativos, basados la mayoría de ellos en datos de precipitación máxima en 24 horas y en las características físicas de la cuenca, para así estimar los caudales máximos asociados a un cierto periodo de retorno que podrían presentarse en la zona de interés (García, 2011).

Los métodos de estimación son útiles en cuencas pequeñas y poco pobladas, deben manejarse con precaución y ser corroborados con datos reales (Lozano, 2018). Según Nieto (2014) existen diversos modelos, desde los más simples a los más complejos, el modelo a aplicar dependerá del tipo de información requerida y del uso que se le dará a los resultados obtenidos. Para la estimación de máximas crecidas, se dispone de métodos empíricos e hidrológicos.

#### **4.2.3.1. Métodos Empíricos**

Debido a su sencillez, estos métodos tienen gran difusión, pero pueden involucrar grandes errores (Villón, 2002), resultan de utilidad para contrastar valores obtenidos por otros métodos (Serra, 2008) y pueden ser utilizados cuando se carezca en absoluto de datos estadísticos relacionados con el comportamiento del cauce en estudio o con las lluvias del lugar (Gerencia de Seguridad en el Transporte, 2000).

Galeano y Palacios (2012) mencionan que se caracterizan por basarse en observaciones o estimaciones directas en el lugar con las cuales se plantea un modelo para la cuenca. Hernández et al. (2019) añaden, dichos métodos carecen de garantía ya que no toman en cuenta parámetros de la cuenca como clima, pendiente, forma, etc.

Nieto (2014) señala que entre los principales métodos empíricos están: el método racional y el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

**Método Racional:** Tiene una antigüedad de más de 100 años (Merma, 2020c), fue diseñado para calcular el caudal máximo en cuencas pequeñas, con áreas comprendidas entre 1300 ha o 13 km<sup>2</sup>, duración de la lluvia de 30 min y tiempo de concentración de 12 horas (Ulloa, 1989; Quispe, 2016). Según Garrido *et al.*, (2017), este método asegura que el único componente de la precipitación relacionado con la generación de caudales máximos es la escorrentía, consiste en una ecuación que calcula el caudal en función de la intensidad de precipitación, área de la cuenca y su coeficiente de escorrentía.

Los autores Pimiento y Gálvez (2015) mencionan, este método tiene limitaciones, entre las que destacan:

- Proporciona el caudal pico y no el hidrograma de creciente, necesario para el diseño.
- Supone que la intensidad es constante, lo que ocurriría en lluvias con duraciones cortas.
- Supone también que la lluvia es uniforme en toda el área de estudio, lo que es parcialmente válido si la extensión de la cuenca es muy pequeña.
- Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación, lo que es incorrecto, pues la escorrentía depende de muchos otros factores como precipitaciones anteriores, condiciones de humedad de suelo, etc.

**Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos:** También conocido como el Método del Número de Curva, fue elaborada por el *Soil Conservation Service* CSC de los estados Unidos, empleándose en todo tipo de cálculos hidrológicos, especialmente en cuencas sin aforar (Prieto et al., 2018). Utiliza como primer dato la lluvia precipitada en la zona, asumiendo por tanto que en una misma cuenca diferentes lluvias provocarán diferentes escorrentías (Anguizaca y Mendieta, 2012). Según Falchini (2020) este método incluye todas las pérdidas por escurrimiento, excepto la evapotranspiración, además correlaciona funciones precipitación – escurrimiento directo, que dependen del tipo y uso del suelo, y la condición hidrológica del mismo.

Este método, según González (2018) presenta limitantes como:

- No tiene en cuenta la intensidad de la lluvia, utiliza exclusivamente datos de altura de precipitación  $P$  (mm).
- En sus resultados, tiende a sobreestimar el volumen de escorrentía, pues es muy sensible al parámetro número de curva.
- Las tablas empíricas utilizadas para determinar el número de curva no han sido suficientemente contrastadas fuera de Estados Unidos.
- Aplicable en cuencas con superficie inferior a  $100 \text{ km}^2$ .

#### **4.2.3.2. Métodos Hidrológicos**

Según Villanueva y Vidaurre (2022) los métodos hidrológicos basan su cálculo en información en registros hidrométricos de caudales naturales. Dentro de estos, según Pérez y Rodríguez (2009) se incluyen los métodos de los hidrogramas, en los que están los Triangulares,

Adimensionales y Unitarios como *I-Pai Wu, Chow, Snyder, Gray, U.S. Bureau of Reclamation* y *U. S. Soil Conservation Service*.

**Método del Hidrograma Triangular:** Originalmente desarrollado por *Mockus* en 1957, este método tiene un amplio rango de aplicabilidad, debido a que se puede utilizar en cuencas de hasta 2590 km<sup>2</sup>, principalmente las no aforadas y para definirlo únicamente se requiere conocer las características físicas o hidrológicas de la cuenca (Pérez y Rodríguez, 2009; García, 2011). Según Campos-Aranda, (2011) es definido como el hidrograma de caudales resultante de una lluvia en exceso, que ocurre uniformemente sobre toda la cuenca con cierta duración, produce resultados aceptables de caudales y sus componentes se deducen de las características morfométricas de la cuenca (Silva, 2009), requiere principalmente de datos como área de la cuenca, tiempo de concentración y es de fácil aplicación (Aranda, 2014; Parra, 1989).

**Método del Hidrograma adimensional SCS:** Adoptado por el *Soil Conservation Service* (CSC), este método requiere una base de datos como: cuenca hidrográfica, factor de escurrimiento, tiempo de concentración y precipitación (Ruiz y Martínez, 2021). Según menciona inicialmente fue desarrollado para estimar avenidas máximas en cuencas pequeñas; sin embargo, desarrollos posteriores permitieron su aplicación a cuencas más grandes, al incorporar los efectos del almacenamiento del cauce, puede aplicarse en cuencas de hasta 2590 km<sup>2</sup> (Acero-Colla, 2014; García, 2011).

**Método del Hidrograma unitario de Snyder:** Según Ruiz y Martínez (2021) el hidrograma de *Snyder* relaciona las características del hidrograma unitario con las características de la cuenca y es aplicable en unidades hidrográficas de 30 a 30000 km<sup>2</sup>, (Carías et al., 2014) mencionan, tiene utilidad cuando no se cuenta con datos de caudal y precipitación históricos y para definir sus parámetros se requieren las características geométricas y morfológicas de la cuenca.

Ruberto *et al.* (2013) señala que este método tiene dificultades para cuencas de llanura, además proporciona parámetros fundamentales como: caudal pico por unidad de área de la cuenca, retardo de cuenca y tiempo base, en el que se produce la escurrimiento superficial (Anguizaca y Mendieta, 2012).

**Método de Ven Te Chow:** permite conocer el gasto máximo para un periodo de retorno determinado y es aplicable a cuencas no urbanas con áreas menores a 250 Km<sup>2</sup> (Flores, 2017),

el autor (Valenzuela, 2022) señala, se debe considerar que en cuencas con áreas mayores los resultados son menos confiables y según (Temez, 1987) está diseñado para aplicarse en el diseño de alcantarillas y obras de drenaje pequeñas. Por su parte, Valenzuela (2022) indica que para la aplicación de este método, es importante conocer los siguientes datos en la cuenca en análisis: área, longitud y pendiente del cauce principal y tiempo de retorno.

#### **4.3. Curvas de Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-D-Tr)**

Según Téméz (1987), son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes a un periodo de retorno, representan una herramienta para la estimación de caudales máximos, especialmente en lugares donde la información de caudales es escasa y se utilizan en el diseño de obras hidráulicas y de infraestructura como presas, alcantarillas, puentes, etc., (Grajales y Carvajal, 2019; Guichard *et al.*, 2018).

Estas gráficas, según Ruiz y Martínez (2021), representan la relación entre la intensidad de la lluvia (I) y su duración (D), para distintas frecuencias o probabilidades de excedencia (Tr), lo que también se conoce como periodo de retorno. Vásconez *et al.* (2019) considera que las magnitudes para el análisis de Curvas (I-D-Tr) son:

**Duración:** corresponde al periodo desde el inicio del evento hasta el fin, se puede expresar en horas o minutos.

**Intensidad:** se define como relación entre la altura pluviométrica y la duración de la lluvia. Es inversamente proporcional a la duración de la tormenta y puede ser instantánea o promedio.

**Período de Retorno:** se define como el intervalo de tiempo promedio dentro del cual un evento de magnitud x, puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio, además es inverso a la frecuencia. A continuación, en la Tabla 1, se visualiza el periodo de retorno para diferentes obras hidráulicas.

Tabla 1. Periodos de retorno para diferentes obras hidráulicas

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Periodo de retorno (años)</b>
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1 – 2
Drenaje urbano	2 – 10
Drenaje agrícola	5 – 10
Drenaje de aeropuertos	5
Alcantarillas sobre camino secundario	50 – 10
Muros de encausamiento	2 – 50
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Puente sobre carretera importante	50 – 100

Fuente: (Fuentes & Franco, 1999)

#### **4.4. Medición de Caudales**

Caudal es la cantidad de agua transportada, ya sean litros o metros cúbicos, por unidad de tiempo, minutos o segundos (Cárdenas, 2022), dicha cantidad está en función del tamaño y características morfológicas de la cuenca hidrográfica, condiciones climáticas y estación del año, pues en épocas de lluvia existirán grandes caudales y en épocas de estiaje estos disminuirán, (Pérez, 2020).

Según (Gámez, 2009) la importancia de la medición de caudales se establece en: determinar volúmenes disponibles para riego, agua potable, agua industrial, turismo, actividades recreativas, etc.; cuantificar los caudales mínimos en épocas de estiaje, necesarios para abastecimiento de agua potable; y calcular las crecidas de un río, para definir la radicación de poblaciones urbanas, construcción de defensas, zonificar áreas de riesgo hídrico, etc.

##### **4.4.1. Aforos**

Un aforo de caudal según Ortiz (2019), consiste en determinar la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal de un cuerpo de agua en un tiempo determinado. Conocer la variación del caudal en un cauce es de gran importancia en estudios hidrológicos (Villanueva, 2019), permite, entre otros aspectos, cuantificar la disponibilidad hídrica del cuerpo de agua y constituye un dato útil para la estimación de las cargas contaminantes que transporta la corriente, sus tiempos de viaje, calibración de modelos hidráulicos e hidrológicos e incluso, la

prevención de probables inundaciones (AquaFlow, 2022). Estas mediciones deben efectuarse en temporadas críticas como en meses de estiaje y de lluvias, que permitan conocer caudales mínimos y máximos.

#### **4.4.2. Métodos de Aforos**

En hidrología, es necesario medir pequeños cauces con caudales mínimos hasta grandes ríos con caudales altos, para ello (Sánchez, 2013) afirma que existen dos tipos: aforos directos y aforos indirectos o continuos.

##### **4.4.2.1. Aforos directos**

Según Sánchez (2013) requieren de un aparato o procedimiento para medir directamente el caudal, Lozano (2018) señala que entre los métodos de aforo directos más utilizados están: volumétrico, flotadores, con molinete y químicos.

El aforo volumétrico puede ser utilizado para aforar caudales muy pequeños ( $<5$  l/s), se requiere del uso de un balde o recipiente de fácil manejo, consiste en recolectar un volumen determinado en el envase o balde y medir el tiempo que tarda en llenarse, con ayuda de un cronómetro, debe realizarse al menos cinco veces y promediarse (Lozano, 2018).

El método del flotador, según Castellón (2015) se basa en medir la velocidad superficial, para ello se toma un trecho del cauce, se mide el área de la sección, se arroja un objeto flotador aguas arriba del primer punto de control, al pasar el objeto por este punto se inicia la toma del tiempo con cronómetro y finaliza al llegar en la segunda sección, el resultado de la velocidad se debe ajustar a un factor de 0,7 y 0,8.

El aforo con molinete es muy conocido, aplicable a todo tipo de corrientes y se emplea como patrón para calibrar otros métodos de aforo. En este caso, es necesario tener una sección definida en la que se pueda determinar la posición de las verticales sobre las cuales se va a medir las profundidades y velocidad del flujo, y contar con el equipo de medición o molinete, el cual consiste en una hélice que gira con el movimiento del agua y transmite estos datos a un mecanismo en un tiempo definido, finalmente, para calcular el caudal, la velocidad media del flujo en el cauce se multiplica por el área hidráulica de la sección y se suma los gastos parciales (AquaFlow, 2022; Pérez y Rodríguez, 2009).



Los aforos químicos se fundamentan en que, se arroja una sustancia de concentración conocida a cauce, una vez que se ha diluido en el agua, se toman muestras aguas abajo y se analizan (Sánchez, 2013). Según Bermúdez (2014) los trazadores pueden ser de tres tipos: químicos como la sal común y el dicromato de sodio, fluorescentes como la rodamina y materiales radioactivos como el yodo 132, bromo 82 y sodio.

#### **4.4.2.2. Aforos indirectos**

Valdivielso (2020b) afirma, en este caso se mide el nivel del agua en el cauce y a raíz del nivel del agua, se estima el caudal, entre ellos los más utilizados están: por vertederos y escalas limnimétricas.

Los aforos con vertederos son útiles en caudales pequeños, tienen gran precisión, la construcción de la estructura es sencilla y su duración es relativamente larga (Martínez, 2019). Con ayuda de una canaleta se interrumpe el flujo del agua produciendo una depresión del nivel, el agua que cae por la canaleta o vertedero es medida al igual que el tiempo (Castellón, 2015).

Otro tipo de aforo indirecto es la utilización de escalas limnimétricas, que son escalas graduadas en centímetros y firmemente sujetas al suelo para medir el nivel del agua, requieren además de un operario que acuda día a día a tomar nota de la altura del agua (Sánchez, 2013; Garnica, 2019).

#### **4.4.3. Medición y registro de caudales**

La medición de caudales requiere de tres actividades: aforos, registro de niveles y determinación de las relaciones nivel-gasto (Rojas, 2016). Según Rondón (2013) los aforos se realizan en puentes de aforo y usando molinete, a través de cierto intervalo de tiempo (horas, días, etc.) Los registros de niveles se realizan para tener un registro continuo de la escorrentía, se mide el nivel del cauce mediante la colocación de miras o limnógrafos. Finalmente, las relaciones nivel gasto requieren establecer correlaciones entre sí, esto se logra mediante gráficos de gastos versus niveles.

Para realizar un aforo, primero se debe realizar un levantamiento topográfico de la sección transversal del río para obtener así el área, luego se procede a medir las velocidades del agua en diferentes puntos de esta sección, finalmente mediante una relación matemática se obtiene el caudal (Subdirección Ambiental, 2019).

El registro de niveles según (Sánchez, 2013) requiere de estaciones de aforo, estas registran únicamente el nivel del agua en una sección de control a lo largo del tiempo. La esencia de una estación de aforo es la escala, que debe permanecer fija y visible en todo momento. Los datos de nivel o altura de la lámina de agua circulante registrados en la estación de aforo siempre están referidos a esta escala, a partir de los niveles que alcanza el agua, se obtiene el caudal (iAgua, 2017).

Finalmente, las relaciones nivel – gasto están determinadas por la relación entre la altura (H) y caudal (Q). Las mediciones continuas o aforos pueden generar diferentes puntos según el nivel y el caudal registrados, estos luego ser graficados y dar como resultados un gráfico que relacione estas variables, conocida como curva de descarga (ACUMAR, 2018).

Según Marcillo *et al.*, (2021) una curva de descarga es la representación gráfica de las variaciones de caudales en la sección transversal de un río en función del nivel de agua. El objetivo de que los aforos sean por largos periodo de tiempo es para que se ajusten a la realidad, presentando caudales mínimos y máximos dentro de las mediciones, de esta forma nuestra curva de calibración se ajustara mejor al comportamiento del cauce (Walterdry, 2009).

Vélez (2000) por su parte, menciona que el objetivo de aforar una corriente, durante varias épocas del año en una sección determinada, es determinar lo que se conoce como curva de calibración de la sección. Esta permite transformar niveles de agua, leídos con una mira, en caudales. Las curvas se construyen a partir de los aforos hechos durante un período largo de tiempo, de tal manera que se tengan niveles bajos y altos del río.

## 5. Metodología

### 5.1. Localización del área de estudio

La investigación se desarrolló en la cuenca superior del río Zamora, específicamente en la microcuenca conformada desde el punto ubicado en el Parque Lineal La Tebaida hasta la parte superior del Nudo de Cajanuma (Figura 5). La extensión de la microcuenca comprende un área de 54,09 km<sup>2</sup>. El curso principal de esta microcuenca es el río Malacatos, que nace en las estribaciones del Nudo de Cajanuma y que luego con dirección al Norte va recogiendo las aguas de una serie de quebradas aguas abajo, como Curitroje, Amanda y Mónica en el margen oriental; y las quebradas Quilluyacu, Potrerillos, Las Violetas y El Alumbre, en el margen occidental (Instituto Geográfico Militar, 2013).

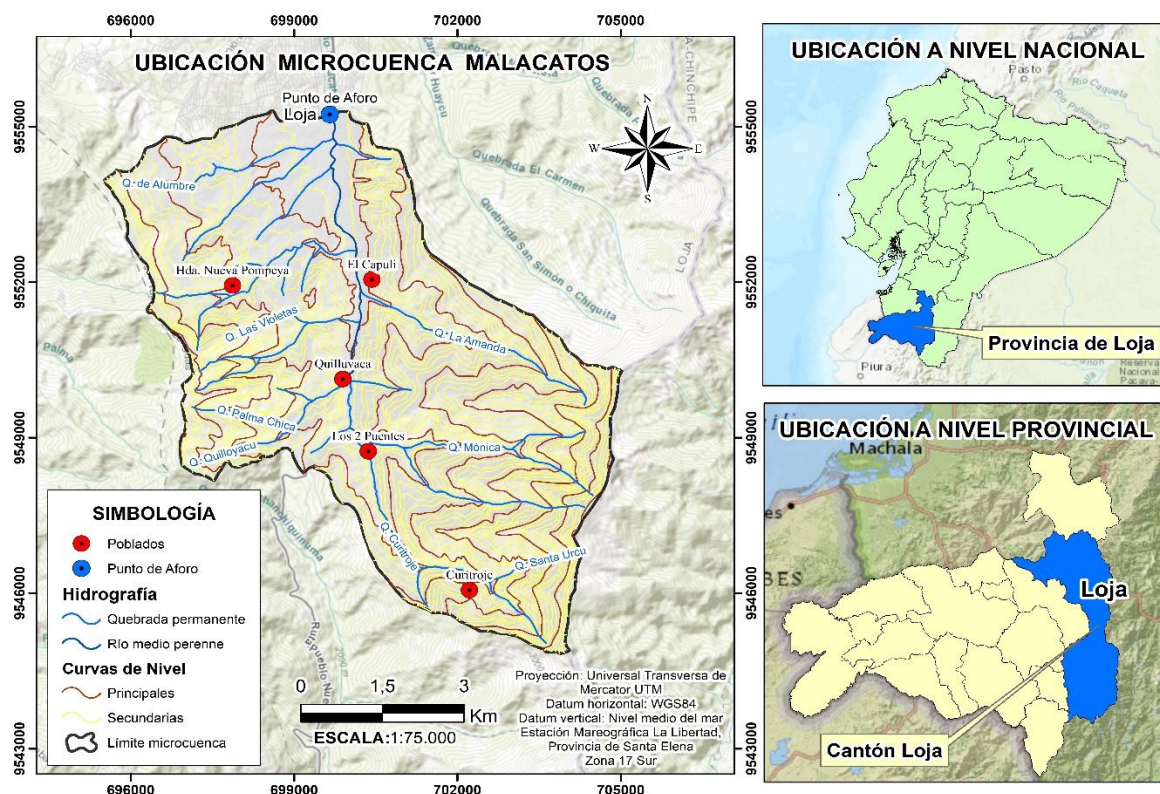


Figura 5. Ubicación Geográfica del área de estudio.

La cuenca del río Malacatos delimitada desde el parque la Tebaida, distribuida en un rango altitudinal de 2120 a 3436 m.s.n.m, se encuentra dentro de la Cuenca Superior del río Zamora, donde las características climáticas son: temperatura media de 15,7 °C, precipitación de 908,8 mm, heliofanía de 1 585,5 h de sol y humedad relativa anual de 73 % (Carbajal et al., 2007; INAMHI, 2022).

El área de estudio se encuentra localizada entre las siguientes coordenadas geográficas:

**Latitud:** 04° 01' 16,48" S – 04° 06' 57,06" S

**Longitud:** 79° 09 '11,67" W - 79° 14' 20,12" W

## 5.2. Métodos

La metodología llevada a cabo en la investigación consistió en la selección de información meteorológica: precipitación máxima en 24 horas e intensidad de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Para la estimación de las máximas crecidas para diferentes periodos de retorno, se aplicaron diversos métodos como el Racional, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, el método del Hidrograma Triangular, el Hidrograma Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, el Hidrograma de *Snyder* y el método de *Ven Te Chow*.

Se seleccionó el periodo marzo – diciembre de 2022, debido a que en el cantón Loja la época lluviosa se da desde el mes de diciembre hasta abril. En este periodo se registraron los eventos extremos, se realizaron una serie de aforos que permitieron construir la Curva de Calibración de Caudales y a partir de la relación caudal – nivel de agua se pudo conocer el caudal generado por el evento. Finalmente se compararon los datos obtenidos de máximas crecidas por métodos empíricos con los registros de crecidas en el periodo de estudio.

En el diagrama de flujo (Figura 6) se presenta la metodología.

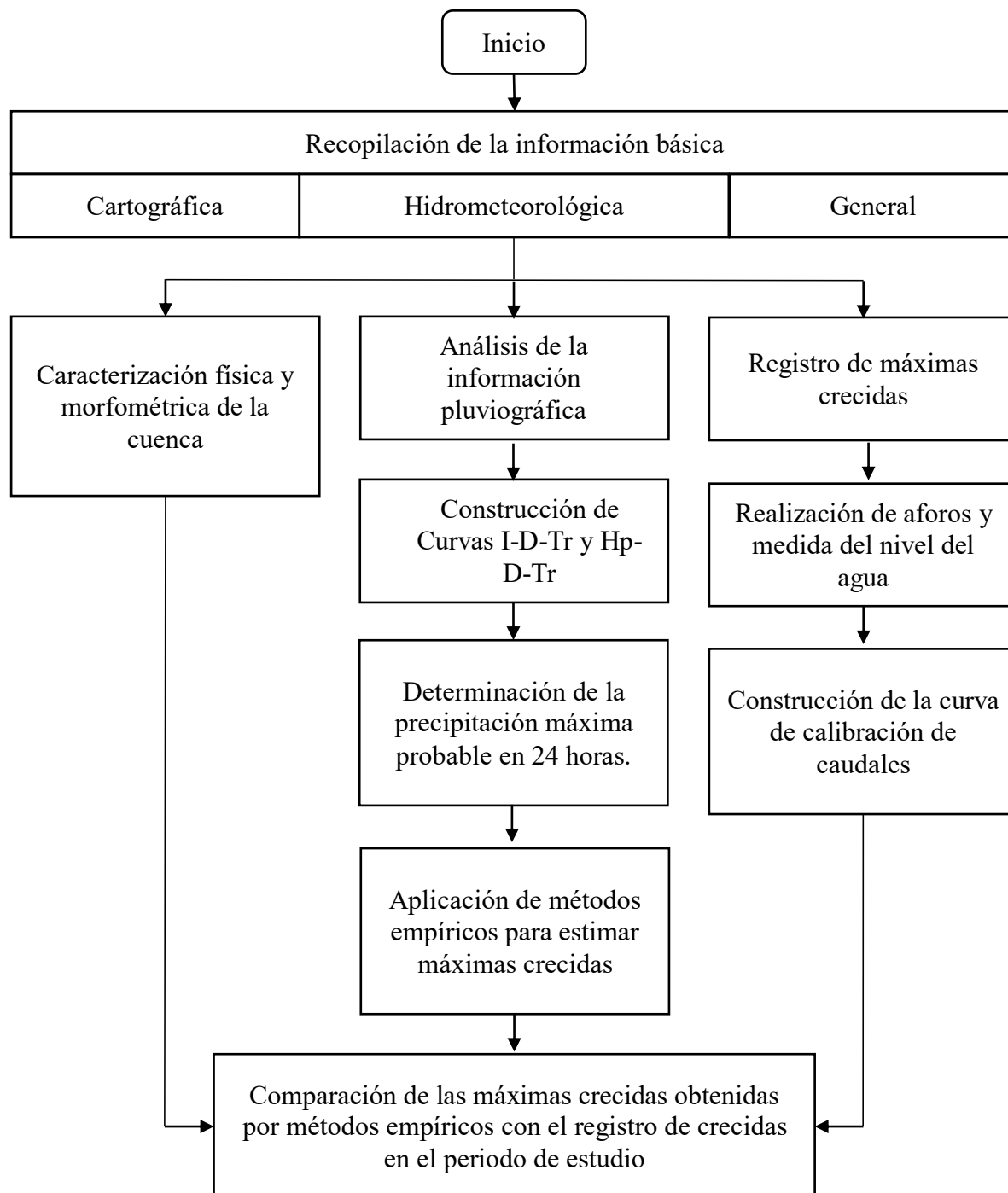


Figura 6. Diagrama de flujo metodológico

### 5.3. Metodología para el primer objetivo

#### 5.3.1. Caracterización física y morfométrica de la cuenca.

La metodología consistió en obtener información secundaria a partir del análisis cartográfico publicado por el IGM (Instituto Geográfico Militar, 2013). Los datos fueron

procesados en *ArcMap 10,8* y con la aplicación adecuada de diferentes fórmulas, se realizó el cálculo de las diferentes variables morfométricas.

Mediante la información cartográfica digital del cantón Loja, red hídrica, curvas de nivel y punto de interés, se procedió a trazar la divisoria de agua tomando en cuenta las cotas o puntos de mayor nivel topográfico. Luego, con el uso de *ArcMap 10,8* se calculó los parámetros de forma, relieve y relativos a la red hídrica.

En lo que se refiere a parámetros de forma, es fundamental conocer el área, perímetro y forma de una cuenca, porque permite conocer su comportamiento hidrológico. De estas, el área es la característica morfométrica más importante, determinada por la divisoria de agua y expresada en km<sup>2</sup> (González, 2001; Reyes *et al.*, 2010), tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de tamaños de cuenca en función de su área

Rango de área (km <sup>2</sup> )	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 – 250	Pequeña
250 – 500	Intermedia
500 – 2 500	Intermedia – pequeña
2 500 – 5 000	Grande
> 5 000	Muy grande

Fuente: (Campos-Aranda, 1998)

Para determinar la forma de la cuenca se utilizó el coeficiente de compacidad, que representa la forma de la superficie de una cuenca según su delimitación y su influencia sobre la precipitación y escorrentía (Córdova, 2016). Según Gómez (2020) se obtiene aplicando la fórmula (1)

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

En donde:

$K_c$ : Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

$P$ : Perímetro de la cuenca, en Km

$A$ : Área de drenaje, en Km<sup>2</sup>

En la Tabla 3, se indican las interpretaciones para diferentes valores del índice de Gravelius.

Tabla 3. Clases de forma de una cuenca.

<b>Coefficiente de compacidad (Kc)</b>	<b>Forma de la cuenca</b>	<b>Tendencia a crecidas</b>
1,00 – 1,25	De casi redonda a oval redonda	Alta
1.26 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga	Media
1,51 – 1,75	De oval oblonga a rectangular	Baja

Fuente: González (2001)

En lo que respecta a parámetros de relieve, se tiene pendiente y elevación media de la cuenca. La pendiente media fue determinada con la aplicación del Software *ArcMap* 10,8 a partir del modelo digital del terreno (DEM) del cantón Loja, obtenido en *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2022) cuya resolución es de 12,5m, con ayuda del comando *Slope* se obtuvo el mapa de pendientes de la cuenca de estudio luego se procedió a reclasificar la información en seis categorías (Tabla 4), luego la información fue convertida a polígono y según el valor presentado se procedió a determinar la pendiente media de la cuenca.

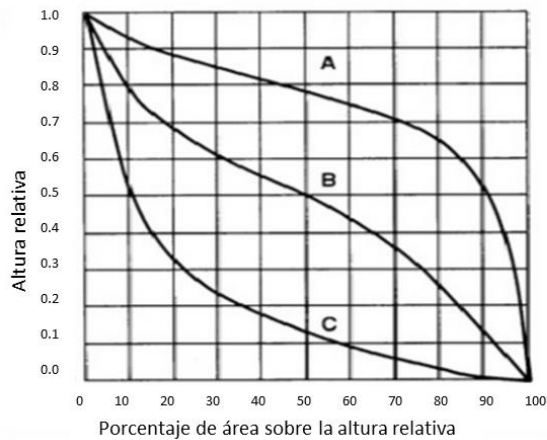
Tabla 4. Clasificación de las pendientes.

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Clasificación</b>
0 – 5,0	Plano o casi suave
5,0 – 12,0	Suave o ligeramente ondulado
12,0 – 25,0	Moderadamente ondulado
25,0 – 50,0	Colinado
50,0 – 70,0	Escarpado
> 70,0	Montañoso

Fuente: Instituto Geográfico Militar, Mapa de Pendientes (2003) elaborado por (Cevallos, 2015)

La elevación media de la cuenca se determinó a través de la construcción de la curva Hipsométrica, con ayuda del *software IDRISI* (Eastman, 2012), a través del uso del DEM. Esta curva indica el porcentaje del área o superficie de la cuenca que se encuentra sobre determinada cota y sirve para definir el relieve de la cuenca (Eastman, 2012; Ordoñez, 2011b).

La curva hipsométrica es definida como la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, su interpretación según Rojas (2015), se indica en la Figura 7.



**Curva A:** refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud).

**Curva B:** es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).

**Curva C:** es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

Figura 7. Curva Hipsométrica y su interpretación.

Fuente: Rojas (2015)

En cuanto a los parámetros relativos a la red hídrica, cabe señalar que son de importancia debido a la respuesta hidrológica de una cuenca, es decir que, en un río corto los efectos de la precipitación se reflejan más rápidamente que en un río largo (Díaz et al., 1999). Consta de orden de corrientes, densidad de drenaje y longitud y pendiente del cauce principal.

El orden de corrientes de una cuenca consiste en la asignación de un número a cada uno de los cauces tributarios en forma creciente, es decir, que una corriente de orden uno es un tributario pequeño sin ramificación, de orden dos cuando cuenta con cauces de primer orden y de orden 3 cuando cuenta con cauces de primer y segundo orden (Córdova, 2016; Gómez, 2020). Para su interpretación, se tuvo en cuenta la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación del orden de corrientes de una cuenca.

Orden de corrientes	Clasificación
1,0 – 2,0	Bajo
2,0 – 4,0	Medio
4,0 – 6,0	Alto

Fuente: Fuentes (2004)

La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de cauces perennes, intermitentes y efímeros de una cuenca y su área, según Camino *et al.*, (2018) es un indicador de peligrosidad, a mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, su interpretación se indica en la Tabla 6 y para su cálculo se emplea la fórmula (2)

$$D_d = \frac{L}{A} \tag{2}$$



En donde:

$D_d$ : Densidad de drenaje, en km/km<sup>2</sup>

$L$ : Longitud total de los cauces, en km

$A$ : Área de drenaje, en km<sup>2</sup>

Tabla 6. Clasificación de la red de drenaje de las cuencas hidrográficas.

Red de drenaje	Clasificación
0,1 – 1,8	Baja
1,9 – 3,6	Moderada
3,7 – 5,6	Alta

Fuente: Fuentes (2004)

La densidad de corrientes, según Cruz (2013) es la relación entre el número total de corrientes en la cuenca y su área total, a esto, González (2022) añade, una densidad de corrientes elevada refleja una cuenca altamente disectada que responde rápidamente a una tormenta, mientras que valores pequeños indican suelos muy resistentes a la erosión. Para su determinación se aplica la formula (3):

$$D_s = \frac{N_s}{A} \quad (3)$$

En donde:

$D_s$ : Densidad de corrientes, # de corrientes/km<sup>2</sup>

$N_s$ : número de corrientes de la cuenca.

$A$ : Área total de la cuenca, en km<sup>2</sup>

Para determinar la longitud y pendiente del cauce principal, primero se determinó el cauce principal, que según Córdova (2016) coincide con la longitud del cauce más largo y es muy representativo de la longitud de una cuenca, para su determinación se utilizó *ArcMap* 10,8.

Breña y Jacobo (2006) señalan que la pendiente del cauce es la relación que existe entre el inicio y fin de la corriente, se determinó a través *ArcMap* 10,8, con el uso del MDT y la herramienta *Slope* se generó el mapa de pendientes, con el cauce principal definido anteriormente, se realizó una extracción por máscara con la herramienta *Extract by mask*,

obteniendo así la pendiente media del cauce, que puede ser categorizadas de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de la pendiente media del cauce principal.

<b>Pendiente del cauce principal</b>	<b>Clases</b>
1,0 – 5,0 %	Suave
6,0 – 11,0 %	Moderado
12,0 – 17,0 %	Fuerte

Fuente: Fuentes (2004)

El tiempo de concentración según (Chow *et al.*, 1994; Gaspari *et al.*, 2009) es el tiempo que tarda el flujo superficial en llegar a la salida de la cuenca desde el punto más alejado de ésta, además depende de características propias de la cuenca como área, pendiente, forma, etc, (Barbero, 2014)

Para su determinación se conocen diversas fórmulas como:

Ven Te Chow (4)

$$t_c = 0,005 \left[ \frac{L}{\sqrt{A}} \right]^{0,64} \quad (4)$$

En donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración, en horas.

$L$  = Longitud del cauce, en m.

$S$  = Pendiente media del cauce, en %.

Kirpich (5)

$$t_c = 0,000325 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (5)$$

En donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración, en horas.

$L$  = Longitud del cauce principal, en m.

$S$  = Pendiente media del cauce, en decimal.

Para su interpretación de los tiempos de concentración, se emplea la Tabla 8.

Tabla 8. Interpretación del tiempo de concentración de una cuenca

<b>Rango (min)</b>	<b>Clases</b>
0,0 – 41,5	Rápida
41,6 – 83,2	Moderada
83,2 – 125,1	Lenta

Fuente: Fuentes (2004)

### 5.3.2. *Curvas de Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-D-T)*

Los datos de intensidad de precipitación, para diferentes intervalos de duración y periodo de retorno, fueron tomados del documento Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades de precipitación publicado por el INAMHI (2019), mismos que se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. Intensidades máximas de la estación La Argelia – Loja.

<b>t (min)</b>	<b>Periodo de retorno T (años)</b>					
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
5	76,9	91,7	104,8	125,0	142,8	163,2
10	56,5	67,3	76,9	91,8	104,8	119,8
15	47,1	56,2	64,2	76,6	87,5	100,0
20	41,5	49,4	56,5	67,4	77,0	87,9
30	35,8	42,5	48,4	57,5	65,5	74,6
60	22,1	26,2	29,9	35,5	40,4	46,1
120	13,9	16,1	18,1	21,0	23,5	26,3

Fuente: INAMHI (2019)

### 5.3.3. *Precipitación máxima en 24 en horas*

Para el cálculo, de los anuarios meteorológicos del (INAMHI, 2022) se recolectó datos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (Figura 8), como La Argelia, Catamayo, San Francisco, Malacatos, El Pangui y Catamayo para un periodo de 32 años (1990 – 2021).

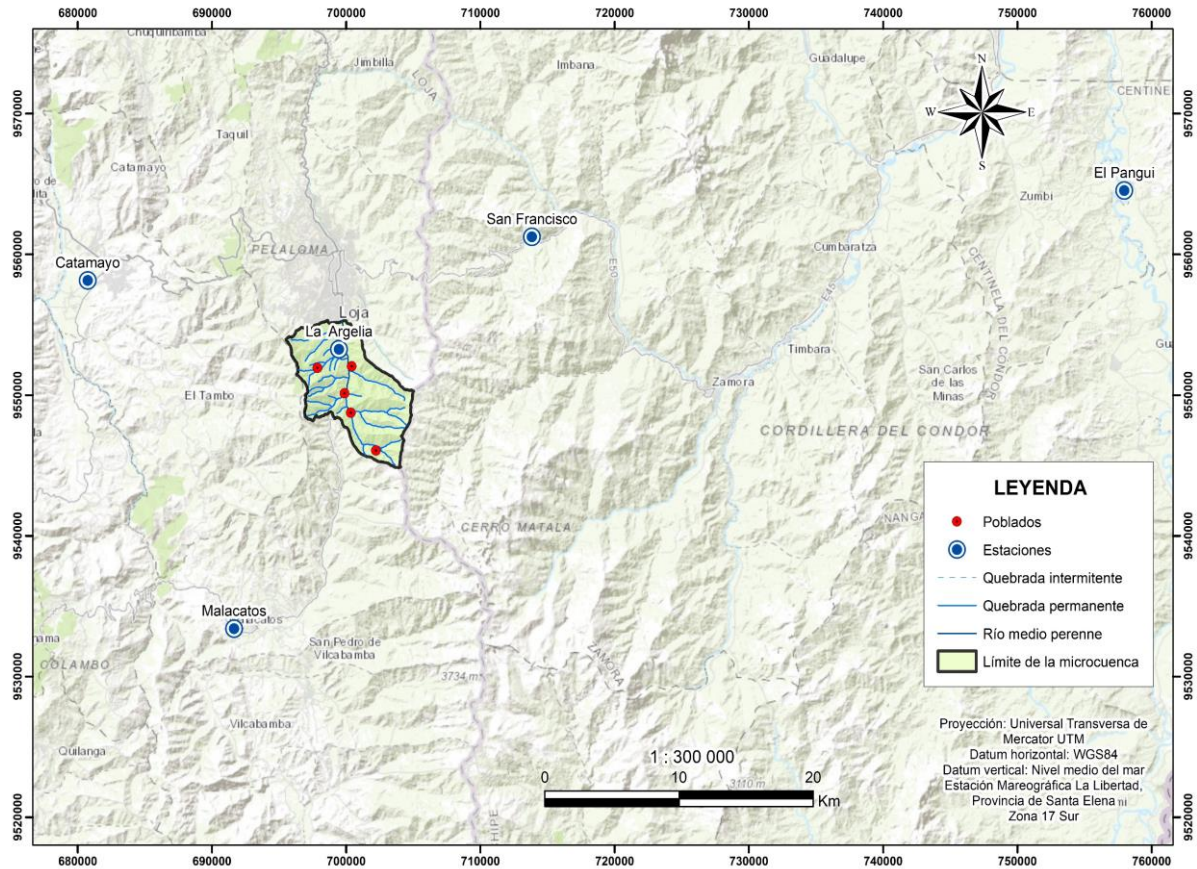


Figura 8. Mapa de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio

Los datos fueron procesados y mediante el ajuste de Gumbel se procedió a determinar los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones meteorológicas para diferentes periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. La expresión básica para el ajuste de Gumbel es la siguiente (6):

$$X_T = X + \frac{\sigma_x}{S_n}(Y - Y_n) \quad (6)$$

Donde:

$X_T$  = valor extremo (máximo en 24 horas) para un periodo de retorno.

$X$  = valor promedio de las máximas anuales en mm

$\sigma_x$  = desviación estándar

$Y_n$  y  $S_n$  = cantidades teóricas que están únicamente en función del tamaño de la muestra

$Y$  = variable reducida y está en función del periodo de retorno (Tabla 10).

Tabla 10. Variable reducida que está en función del periodo de retorno

<b>T (años)</b>	<b>Y<sub>T</sub></b>
2	0,33351
5	1,49994
10	2,25037
25	3,19853
30	3,38429
50	3,90194
75	4,31078
100	4,60015
250	5,51940
500	6,21360

Fuente: España (2017)

Los valores de Y<sub>n</sub> y s<sub>n</sub>, para el cálculo de la distribución de Gumbel (Tabla 11) son:

Tabla 11. Valores de Y<sub>n</sub> y S<sub>n</sub> en función del tamaño de la muestra

<b>Nº</b>	<b>Y<sub>n</sub></b>	<b>S<sub>n</sub></b>	<b>Nº</b>	<b>Y<sub>n</sub></b>	<b>S<sub>n</sub></b>	<b>Nº</b>	<b>Y<sub>n</sub></b>	<b>S<sub>n</sub></b>
<b>datos</b>			<b>datos</b>			<b>datos</b>		
1	0,36651	0,00000	14	0,51004	1,00948	27	0,53319	1,10054
2	0,40434	0,49838	15	0,51284	1,02057	28	0,53426	1,10470
3	0,42859	0,64348	16	0,51537	1,03060	29	0,53527	1,10864
4	0,44580	0,73147	17	0,51768	1,03973	30	0,53622	1,11237
5	0,45873	0,79278	18	0,51980	1,04808	31	0,53713	1,11592
6	0,46903	0,83877	19	0,52175	1,05575	32	0,53799	1,11929
7	0,47735	0,87493	20	0,52355	1,06282	33	0,53881	1,12249
8	0,48428	0,90432	21	0,52522	1,06938	34	0,53959	1,12555
9	0,49015	0,92882	22	0,52678	1,07547	35	0,54034	1,12847
10	0,49515	0,94963	23	0,52823	1,08115	36	0,54105	1,13126
11	0,49961	0,96758	24	0,52959	1,08646	37	0,54174	1,13394
12	0,50350	0,98327	25	0,53086	1,09145	38	0,54239	1,13650
13	0,50695	0,99713	26	0,53206	1,09613	39	0,54302	1,13896

Fuente: Springall (1967).

Luego se procedió a calcular la precipitación máxima en 24 horas para la microcuenca, mediante el uso del programa *ArcMap 10,8*, con la herramienta de interpolación *IDW* (Distancia Inversa Ponderada) se generaron los mapas para diferentes periodos de retorno.

#### 5.3.4. Estimación de Máximas Crecidas para la cuenca

Para la estimación de máximas crecidas, se usó información meteorológica histórica de la estación La Argelia y los resultados obtenidos en la caracterización morfométrica de la cuenca. Con esto, los métodos empleados fueron: Método Racional, Método del Número de Curva, métodos de Hidrogramas como el Triangular, los propuestos por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, *Snyder* y *Ven Te Chow*.

##### 5.3.4.1. Estimación por el Método Racional

En este método se consideró 3 variables, establecidas por *Mulvaney* en 1850 *Carías et al.*, (2014), útiles para calcular caudales máximos, aplicando la fórmula (7)

$$Q = \frac{C I A}{360} \quad (7)$$

Donde:

$Q$ : caudal máximo, en m<sup>3</sup>/s.

$I$ : intensidad de precipitación, en mm/h.

$A$ : área de la cuenca, en ha.

$C$ : coeficiente de escorrentía, sin dimensiones.

El proceso, según *Carías et al.*, (2014) es el siguiente:

- a) Se calcula el coeficiente de escorrentía, que según *FAO* (1997) es una medida de la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía, en la Tabla 12, se indican algunos valores de  $C$ .

Tabla 12. Valores del coeficiente C de la escorrentía

Uso del Suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arenoso Limoso Limoso arenoso	– Limoso Limoso - arenoso	Arcilloso –
Bosque	0 – 5%	0,10	0,30	0,40
	5 – 10%	0,25	0,35	0,50
	10 – 30%	0,30	0,40	0,60
	> 30%	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0 – 5%	0,15	0,35	0,45
	5 – 10%	0,30	0,40	0,55
	10 – 30%	0,35	0,45	0,65
	> 30%	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0 – 5%	0,30	0,50	0,60
	5 – 10%	0,40	0,66	0,70
	10 – 30%	0,50	0,70	0,80
	> 30%	0,53	0,74	0,84
Zonas Urbanas	Llanas	0,40	0,55	0,65
	Onduladas	0,50	0,65	0,80

Fuente: FAO (1997).

El coeficiente C, fue calculado utilizando información cartográfica digital del cantón Loja como pendientes, textura del suelo y cobertura vegetal disponible del Instituto Geográfico Militar (2013), y aplicando *ArcMap 10,8*, su cálculo se determinó en base al diagrama de la Figura 9.

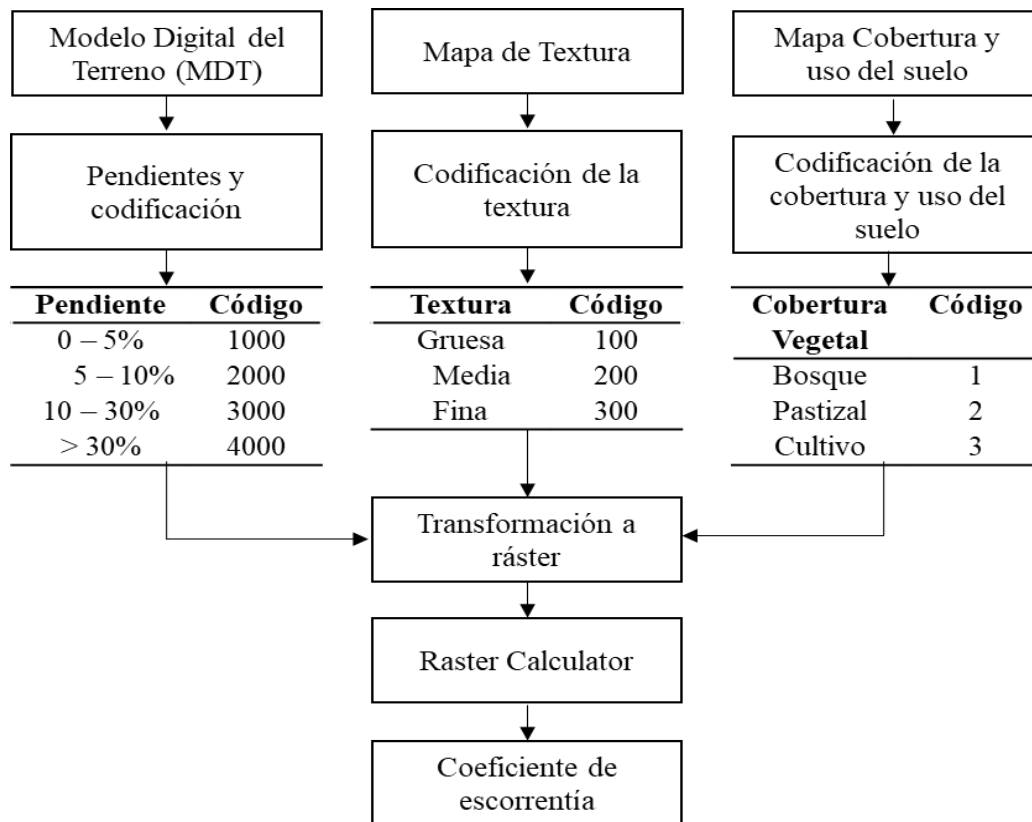


Figura 9. Diagrama de flujo para obtener el Coeficiente de escorrentía

- b) Se realiza el ajuste del coeficiente de escorrentía, González et al., (2001) mencionan que tomando en cuenta el valor de C y la precipitación media anual, se aplica la formula (8):

$$C_e = C \cdot \frac{(P - 250)}{2000} \cdot \frac{(C - 0,15)}{1,5} \quad (8)$$

Donde:

$C_e$ : coeficiente de escorrentía anual, adimensional

$P$ : precipitación anual, en mm.

$C$ : parámetro que depende del tipo y uso del suelo (Tabla 8).

- c) Se calcula el factor I (Intensidad), para obtenerlo se requiere calcular el Tiempo de concentración según *Ven Te Chow*, parámetro obtenido en las características de forma de la cuenca, luego se obtuvo las intensidades para diferentes periodos de retorno, aplicando la ecuación (9) determinada por el INAMHI (2019), para el  $T_c$  establecido:



$$I = 334,481 * T^{0,1877} * t^{-0,6954} \quad (9)$$

Donde:

*I*: intensidad de precipitación, en mm/h.

*T*: tiempo de retorno, en años

*t*: duración de la lluvia, en min.

- d) Finalmente, con el factor A (área) determinado, se aplicó la ecuación (7) para la estimación de máximas crecidas.

#### **5.3.4.2. Estimación por el Método SCS o Número de Curva**

El método SCS–CN estima el escurrimiento medio (Q) mediante cantidad de precipitación y retención máxima potencial (S), utilizando valores de curvas numéricas (Francisco et al., 2010).

Para la estimación de caudales máximos, el *Soil Conservation Service del U. S. Department of Agriculture* (SCS, 1971) citado en Villate *et al.*, (2023) sugieren el siguiente proceso:

- a) Calcular la precipitación de la Tormenta, a partir de los datos de intensidad de precipitación de la estación meteorológica La Argelia y la duración de la tormenta, se aplica la formula (10):

$$P = I * t \quad (10)$$

Donde:

*P*: precipitación de la tormenta, en mm.

*I*: intensidad de precipitación, en mm/h.

*t*: duración de la lluvia, en h.

- b) Determinar el número de curva de la cuenca, en el programa *ArcGIS 10,8*, fue necesaria la recolección de información cartográfica como mapas de cobertura y uso de suelos y mapas de suelos del Instituto Geográfico Militar (2013). El proceso se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 10:

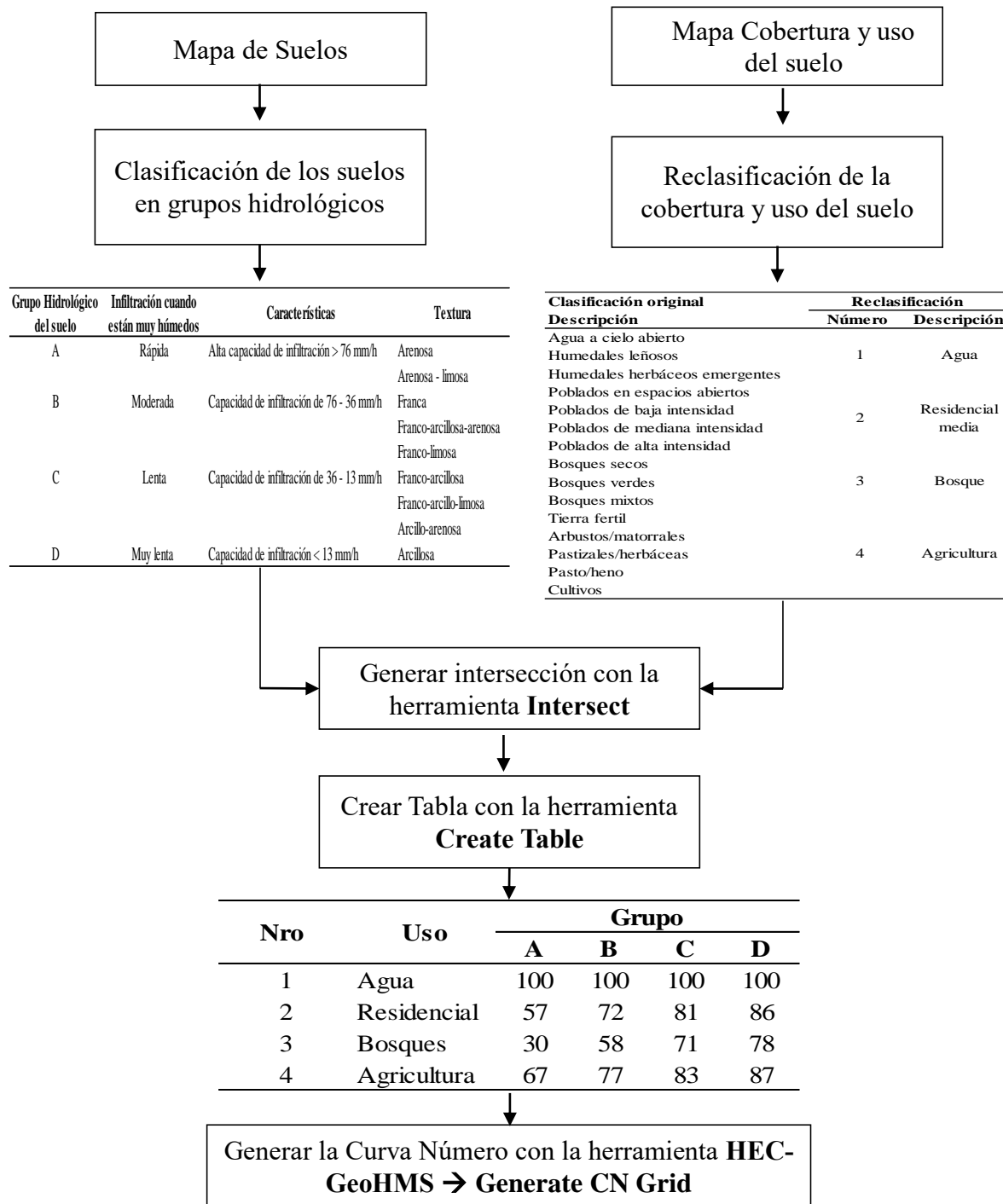


Figura 10. Diagrama de flujo para obtener la Curva Número

Fuente: Adaptado de Villegas (2017)

- c) Calcular la retención máxima potencial, la cual se obtiene mediante curvas numéricas, de acuerdo con la fórmula siguiente (11):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

Donde:

$CN$ : curva número, adimensional.

d) Determinar escorrentía total acumulada, con la fórmula (12):

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (12)$$

Donde:

$Q$ : escorrentía total acumulada, en mm.

$P$ : precipitación de la tormenta, en mm.

$S$ : retención máxima potencial, en mm.

La condición para aplicar la Ecuación 1 es que  $Q > 0$  cuando  $P > 0,2S$ , de lo contrario  $Q = 0$ .

e) Calcular el gasto unitario ( $q$ ) en función de la magnitud del tiempo de concentración, valores que se indican en la Tabla 13.

Tabla 13. Gasto unitario  $q$  ( $m^3/s/mm/km^2$ ), en función del tiempo de concentración  $T_c$  (horas)

<b>Tc</b>	<b>Q</b>	<b>Tc</b>	<b>Q</b>	<b>Tc</b>	<b>Q</b>
0,1	0,337	1,0	0,158	8,0	0,039
0,2	0,300	1,5	0,120	10,0	0,034
0,3	0,271	2,0	0,100	12,0	0,030
0,4	0,246	2,5	0,086	14,0	0,027
0,5	0,226	3,0	0,076	16,0	0,025
0,6	0,208	4,0	0,063	18,0	0,023
0,7	0,195	5,0	0,054	20,0	0,021
0,8	0,190	6,0	0,048	22,0	0,020
0,9	0,168	7,0	0,043	24,0	0,019

Fuente: González (2001)

f) Finalmente, para estimar el caudal máximo se empleó la fórmula (13)

$$Q_{max} = q \times Q \times A \quad (13)$$

Donde:

$Q_{max}$ : gasto máximo, en  $m^3/s$ .

$q$ : gasto unitario, en  $m^3/s/mm/km^2$ .

$A$ : área de la cuenca, en  $km^2$ .

#### 5.3.4.3. Estimación por el Método del Hidrograma Triangular

Según el sitio web GeoCastAway (2021), el procedimiento para la estimación del caudal máximo es el siguiente:

- a) Calcular el tiempo pico  $t_p$ , que se evalúa con la expresión (14):

$$t_p = 0,5 * d_e + t_c \quad (14)$$

Donde:

$d_e$  : duración en exceso, en h.

$t_c$ : tiempo de concentración, en h.

$t_p$ : tiempo pico, en h.

- b) Calcular la duración en exceso, con la fórmula (15):

$$D_e = 2 * \sqrt{t_c} \quad (15)$$

Donde

$t_c$ : tiempo de concentración, en h

$D_e$ : duración en exceso, en h.

- c) Determinar el tiempo base, a través de la ecuación (16):

$$t_b = 2,67 t_p \quad (16)$$

Donde:

$t_b$ : tiempo base, en h.

$t_p$ : tiempo pico, en h.

- d) Calcular la precipitación, con la fórmula (17):

$$P = D * I * C \quad (17)$$

Donde

$P$ : Precipitación neta, en mm.

$D$ : duración de la lluvia, en h.

$I$ : Intensidad de precipitación para diferentes periodos de retorno, en mm/h.

$C$ : coeficiente de escorrentía, adimensional.

e) Finalmente, se calcula el caudal máximo, aplicando la formula (18):

$$Q_{max} = \frac{P * A}{1,8 * t_b} \quad (18)$$

Donde

$P$ : precipitación para diferentes periodos de retorno, en mm.

$t_b$ : tiempo base, en horas.

$A$ : área de la cuenca, en km<sup>2</sup>.

#### 5.3.4.4. *Estimación por el Método del Hidrograma adimensional SCS*

El proceso detallado por Ponce & Veneros (2011) es el siguiente:

a) Se calcula el tiempo de retraso con la ecuación (19):

$$t_r = 0,6 * t_c \quad (19)$$

Donde:

$t_r$ : tiempo de retraso, en h.

$t_c$ : tiempo de contacto, en h.

b) El tiempo pico, se determina con la ecuación (20):

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad (20)$$

Donde:

$t_r$ : tiempo de retraso, en h.

$t_p$ : tiempo pico, en h.

c) Se calcula el gasto pico con la ecuación (21):

$$q_p = 0,208 \frac{A}{t_p} \quad (21)$$

Donde:

$t_p$ : tiempo pico, en h.

$q_p$ : gasto pico, en m<sup>3</sup>/s.

d) Finalmente, el caudal máximo se determina tomando en cuenta la precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno, como indica la fórmula (22):

$$Q_{max} = q_p * P_e \quad (22)$$

#### 5.3.4.5. Estimación por el método del Hidrograma Unitario de Snyder

Para la determinación del caudal máximo Mera (2019) señala el proceso siguiente:

a) Snyder, estableció que el tiempo de retardo será igual a (23):

$$t_p = 0,75 C_t (L \times L_c)^{0.3} \quad (23)$$

Donde:

$t_p$ : Tiempo de retardo de la cuenca, en horas.

$C_t$ : Coeficiente de retardo de Snyder, depende de las características físicas de la cuenca.

$L$ : Longitud de la corriente principal del río desde la estación de aforos al punto más alejado de la cuenca, en km.

$L_c$ : Longitud desde el punto de interés hasta el cauce más cercano al centro de gravedad de la cuenca, en km.

**Coefficiente  $C_t$  y  $C_p$ :** El coeficiente  $C_t$  varía de 1,35 a 1,65 para áreas de montaña, si se trata de cuencas con pendientes altas, este valor disminuirá. El coeficiente  $C_p$  de 0,56 a 0,69, de acuerdo con el porcentaje de vegetación. En la Tabla 14 se indican los valores de  $C_t$  y  $C_p$  según (González et al., 2007).

Tabla 14. Valores de  $C_t$  y  $C_p$  para la estimación del Hidrograma Sintético de Snyder

<b>Pendiente del terreno (%)</b>	<b><math>C_t</math></b>	<b>Porcentaje de vegetación (%)</b>	<b><math>C_p</math></b>
100,0	1,35	100,0	0,56
96,7	1,36	92,5	0,57
93,4	1,37	85,0	0,58
90,1	1,38	77,5	0,59
86,8	1,39	70,0	0,60
83,5	1,40	62,5	0,61
80,2	1,41	55,0	0,62
76,9	1,42	47,5	0,63
73,6	1,43	40,0	0,64
70,3	1,44	32,5	0,65
67,0	1,45	25,0	0,66
63,7	1,46	17,5	0,67
60,4	1,47	10,0	0,68
57,1	1,48	2,5	0,69
53,8	1,49		
50,5	1,50		
47,2	1,51		
43,9	1,52		
40,6	1,53		
37,3	1,54		
34,0	1,55		
30,7	1,56		
27,4	1,57		
24,1	1,58		
20,8	1,59		
17,5	1,60		
14,2	1,61		
10,9	1,62		
7,6	1,63		
4,3	1,64		
1,0	1,65		

Fuente: González et al. (2007)

- b) Conocido el valor de tiempo de retardo, se procede a calcular la duración de la lluvia unitaria, con la siguiente fórmula (24).

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (24)$$

Donde:

$t_r$ : duración de la lluvia unitaria, en h.

$t_p$ : tiempo de retardo, en h.

- c) Se determina el caudal pico del hidrograma, con la aplicación de la fórmula (25):

$$q_p = \frac{2,75 \times C_p \times A}{t_p} = (m^3/s) \quad (25)$$

Donde:

$q_p$ : caudal pico, en  $m^3/s$ .

$C_p$ : coeficiente de pico, adimensional.

$A$ : área de la cuenca, en  $km^2$ .

El valor obtenido, resultará para una lluvia unitaria de  $h_e = 25$  mm y de una duración unitaria  $t_r$ .

Para el análisis de una lluvia de duración TR distinta de la unitaria ( $t_r$ ) definida por Snyder, el tiempo de retardo se modifica y se expresa recalculado en función de la nueva duración (26):

$$t_{pr} = T_p + \frac{T_R - t_r}{4} \quad (26)$$

- d) Para obtener los caudales máximos, se aplica la fórmula (27):

$$Q_{max} = q_p \times I \times t_c \quad (27)$$

Donde:

$Q_{max}$ : caudal máximo, en  $m^3/s$ .



$q_p$ : caudal pico, en  $m^3/s$ .

$I$ : intensidad de precipitación, para diferentes tiempos de retorno, en  $mm/h$ .

$t_c$ : tiempo de contacto, en h.

#### 5.3.4.6. Estimación por el método de Ven Te Chow

Según Springall (1969), el proceso para estimar caudales máximos por este método es el siguiente:

a) Se calcula el tiempo de concentración a través de la expresión de Giandotti (28):

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0,8\sqrt{H}} \quad (28)$$

Donde:

$T_c$ : tiempo de concentración, en horas

$L$ : longitud del cauce principal, en km.

$H$ : desnivel de la cuenca, en m

b) Se asume que el valor de la duración de la tormenta ( $d$ ) es igual al tiempo de concentración.

c) Luego se determina la Intensidad máxima de lluvia, para ello se seleccionó la ecuación del INAMHI (2019) para la zona de estudio.

d) La lluvia de diseño es igual a (29):

$$P = t_c * I_{TR} \quad (29)$$

Donde:

$I_{TR}$ : Intensidad de precipitación, en  $mm/h$ .

$t_c$ : tiempo de concentración, en horas.

e) La precipitación en exceso se calcula con la ecuación (30):

$$P_e = \frac{(P - \frac{508}{N} + 5,08)^2}{(P + \frac{2032}{N} - 20,32)} \quad (30)$$

f) Con la precipitación en exceso se calcula el factor de escurrimiento (31)

$$X = \frac{Pe}{d} \quad (31)$$

g) Para determinar el tiempo de retraso se usa la siguiente fórmula (32):

$$t_p = 0,00505 * \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,64} \quad (32)$$

Donde:

$L$ : longitud del cauce, en m

$S$ : pendiente del cauce, en porcentaje.

Con la relación  $d/t_p$  se calcula el valor de  $Z$ , utilizando las siguientes ecuaciones (33) y (34)

$$\text{Para } d/t_p \text{ entre } 0,05 - 0,4 \quad z = 0,73 * (d/t_p)^{0,97} \quad (33)$$

$$\text{Para } d/t_p > 0,04 \text{ y } < 2 \quad z = 1,89 * (d/t_p)^{0,23} - 1,23 \quad (34)$$

h) Con la fórmula (35), se calcula el factor climático:

$$Y = 2,78 * P/P_b \quad (35)$$

En este caso se considera que  $P/P_b = 1$ , en razón de que el cálculo es directo para cada zona, es decir  $Y = 2,78$ .

i) Finalmente, para estimar el caudal máximo, se aplica la siguiente fórmula (36):

$$Q_{m\acute{a}x} = A * X * Y * Z \quad (36)$$

Donde:

$X$ : factor de escurrimiento.

$Y$ : factor climático.

$Z$ : factor de reducción del pico.

## 5.4. Metodología para el segundo objetivo

Para dar cumplimiento con el segundo objetivo, la metodología empleada fue la siguiente:

### 5.4.1. Establecimiento del punto de aforo

Para determinar el punto de aforo, se realizó un recorrido por la microcuenca, desde el puente de la Universidad Nacional de Loja hasta el parque Lineal La Tebaida, tomando en cuenta que el punto de aforo según (Guzmán, 2022), debe cumplir requisitos como: la sección transversal debe estar bien definida y que en lo posible no se presente degradación del lecho, tener fácil acceso, estar en un sitio recto, para evitar las sobre elevaciones y cambios en la profundidad producidos por curvas y libre de efectos de controles aguas abajo, que puedan producir remansos que afecten luego los valores obtenidos con la curva de calibración.

Para el estudio, el punto de aforo se estableció en el parque Lineal La Tebaida, en las coordenadas geográficas, Latitud: 04°01'18,76" S y Longitud: 79°12'5,95" W.

### 5.4.2. Generación de la relación caudal – nivel del agua de la Cuenca

Para la generación de esta relación, se realizó una serie de aforos que permitieron conocer el caudal de la cuenca en un determinado instante y luego con ayuda de una regleta (Anexo 4) se registró la altura del agua, estos dos datos permitieron graficar la Curva de Descarga.

Durante la época lluviosa, no es posible realizar aforos de manera directa en los cauces, debido principalmente a la velocidad del flujo y a la profundidad de que desarrolla el cauce, por esta razón los aforos fueron realizados posterior a los eventos de gran intensidad.

Para medir el caudal, se utilizó el método de la sección - velocidad, que consiste en medir en un área transversal de la corriente las velocidades de flujo. Según el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2017) la metodología es la siguiente:

#### **Desarrollo del Método:**

- a. En el sitio del aforo, se realizó un levantamiento de la sección transversal del río para luego calcular el área de la sección, con la fórmula (37)

$$A = \frac{a + b}{2} \times L \quad (37)$$

Donde:

$A_1$ : área de la sección, en  $m^2$ .

$a$ : profundidad inicial del tramo, en m.

$b$ : profundidad final de tramo, en m.

$L$ : ancho de la sección, en m.

- b. La sección se dividió en tramos iguales (Figura 14). En cada vertical se miden velocidades con ayuda del molinete, cuando las profundidades de la sección son pequeñas, menores a 0,6 m, se mide la velocidad a 0,6 de la profundidad, velocidad que se considera representativa de la velocidad media de la vertical.

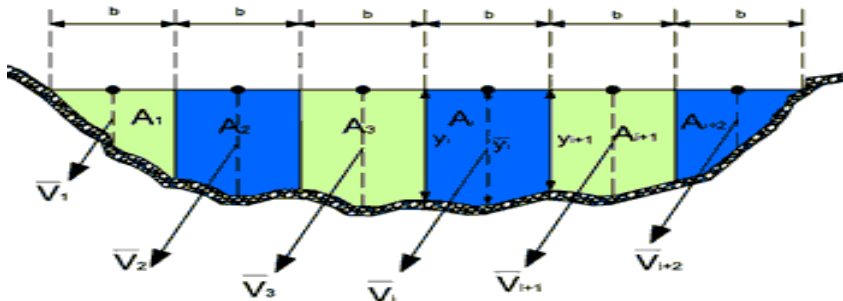


Figura 11. Sección transversal para el punto de aforo.

Fuente: Toro (2016)

- c. El caudal  $Q_1$  correspondiente al área de influencia  $A_1$ , se calcula con la siguiente fórmula (38):

$$Q_1 = V_1 A_1 \quad (38)$$

Donde:

$Q_1$ : caudal en la sección 1, en  $m^3/s$ .

$V_1$ : velocidad de la sección 1 medida con molinete, en m/s.

$A_1$ : área de la sección 1, en  $m^2$ .

- d. El caudal total  $Q_T$ , se calcula con la fórmula (39):

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad (39)$$

Donde:

$Q_T$ : caudal total, en  $m^3/s$ .

$Q_1, Q_2, Q_n$ : caudal en la sección 1, 2, n, en  $m^3/s$

Los aforos realizados por este método fueron varios, con el fin de encontrar una relación no lineal entre el nivel del agua y el caudal, conocida también como curva de descarga.

### **Generación de la Curva de Descarga**

Para determinar la curva de descarga se debe relacionar los niveles de agua con los caudales registrados en los aforos, con ello se conoce el caudal a partir de una determinada altura.

Juela (2011) señala que el trazado de la Curva de Descarga permite deducir la relación continua  $H - Q$  para el rango de caudales o alturas aforadas cuando el río tiene escurrimiento en régimen establecido, que por lo general resultan valores medios o bajos. La extrapolación de la curva de descarga significa establecer la relación en un rango de caudales que nunca han sido aforados ( $Q$  de crecientes) y que tienen posibilidad física de ocurrir sobre la estación hidrométrica analizada.

Matemáticamente la curva de descarga se expresa con la ecuación (40) según Arnoldo (2017)

$$Q = K * (H - H_0)^n \quad (40)$$

Donde:

$Q$ : Caudal.

$K$  y  $n$ : Son parámetros de ajuste.

$H_0$ : Nivel al cual el caudal es cero.

$H$ : Nivel del agua.

Aplicando logaritmos a la ecuación (40) se tiene (41):

$$\text{Log } Q = \text{Log } K + n \log (H - H_0) \quad (41)$$

#### **5.4.3. Registro de máximas crecidas en el punto de interés.**

En el periodo marzo – diciembre de 2022, se realizó la toma de datos de nivel de agua e intensidad de precipitación.

Se registró el nivel del agua alcanzado en precipitaciones de gran intensidad, teniendo en cuenta que el valor de altura del flujo a registrar es el valor máximo de una precipitación, además en el punto de aforo no debe existir material sedimentando u otros materiales que puedan alterar la toma de datos.

En la estación meteorológica La Argelia, se tomó el dato precipitación máxima en 24 horas registrada y con la ecuación propuesta por el (INAMHI, 2019) se determinó la intensidad de precipitación.

#### **5.4.4. Comparar los registros obtenidos con los resultados de los métodos empíricos aplicados.**

Se calculó las máximas crecidas por métodos empíricos con la intensidad de precipitación registrada en la estación meteorológica La Argelia en los eventos de mayor intensidad, datos que fueron comparados con los estos resultados con los caudales observados en el sitio de aforo.

Para la comparación, se usó el porcentaje de error, que según Rodríguez (2023) es una medida indicadora de la diferencia entre un valor real y el estimado de una variable.

El autor Parra (1989) en su investigación de comparación de métodos para la estimación de avenidas máximas propone usar la formula (42):

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{Q_e - Q_o}{Q_o} * (100) \quad (42)$$

Donde:

$Q_e$ : caudal máximo estimado con diferentes métodos, para determinados periodos de retorno.

$Q_o$ : caudal máximo observado en el periodo marzo – diciembre de 2022.

## 6. Resultados

En el presente capítulo, se presentan los resultados de los métodos aplicados en el estudio de la estimación de máximas crecidas en la microcuenca Malacatos, representativa de la Cuenca Superior del río Zamora.

### 6.1. Resultados del primer objetivo

Estimar los valores de máximas crecidas, de la Cuenca Superior del río Zamora, a través de la aplicación de diferentes métodos empíricos.

#### 6.1.1. Análisis de los parámetros físicos y morfológicos de la Cuenca

Las principales características de la cuenca, obtenidas con el programa *ArcGIS 10,8* se indican en la Tabla 15:

Tabla 15. Parámetros físicos y morfométricos de la microcuenca Malacatos

<i>Parámetros de forma</i>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
Área (km <sup>2</sup> )	54,09	Microcuenca
Perímetro (km)	34,80	-
Coefficiente de compacidad	1,33	De oval redonda a oval oblonga
Longitud (km)	4,88	-
<i>Parámetros de relieve</i>		
Pendiente media (%)	44,11	Colinado
Elevación media (m)	2 544,33	-
<i>Parámetros relativos a la red de drenaje</i>		
Orden de corrientes	3,00	Medio
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	1,20	Baja
Densidad de corrientes	0,92	-
Pendiente media del cauce (%)	13,50	Moderado
Longitud del cauce principal (km)	10,37	-
Tiempo de concentración		
Ven Te Chow (min)	48,00	Moderado
Kirpich (min)	52,00	Moderado

La microcuenca del río Malacatos, delimitada desde el parque Lineal La Tebaida hasta el nudo de Cajanuma, posee un área de 54,09 km<sup>2</sup>, lo que la clasifica como microcuenca, además tiene un perímetro de 34,8 km, pendiente media de 44,11 % (relieve colinado), y elevación media de 2 544,33 m. En la Figura 12, se presenta la curva hipsométrica de la microcuenca, que según González (2001) es de categoría tipo B, se encuentra en etapa de equilibrio y por lo tanto es una cuenca geológicamente madura.

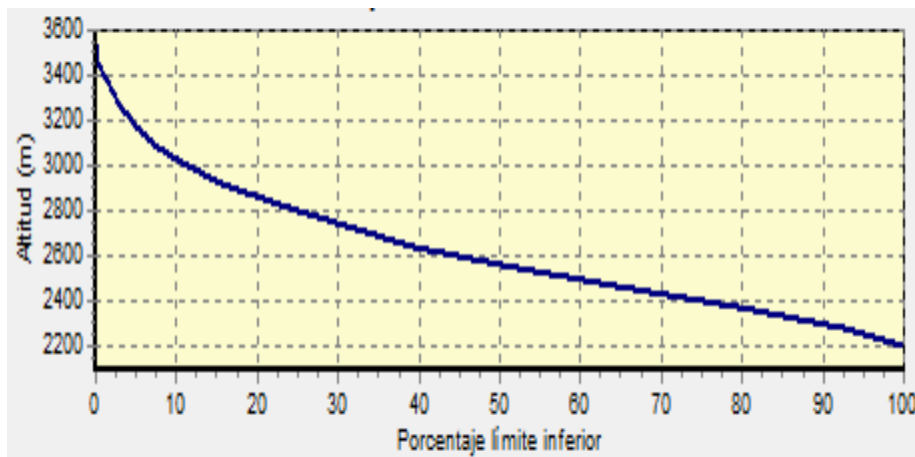


Figura 12. Curva Hipsométrica de la microcuenca del río Malacatos

El cauce principal tiene pendiente media de 13,50 % y longitud de 10,37 km, en la Figura 13, se presenta el perfil del cauce principal.

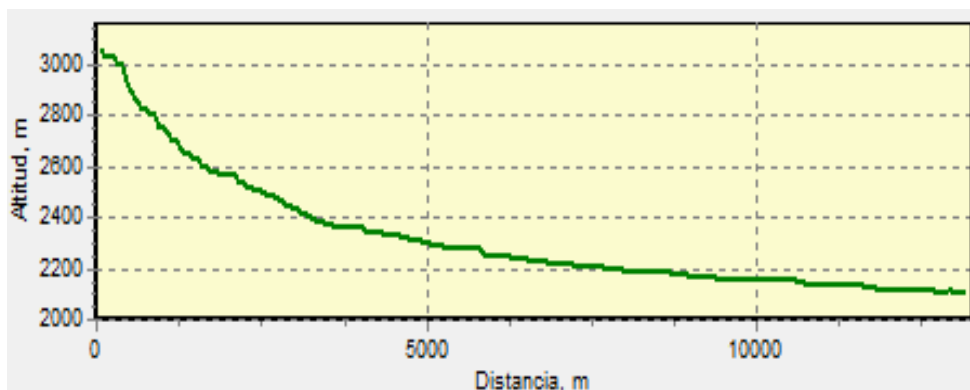


Figura 13. Perfil del cauce principal de la microcuenca del río Malacatos

### 6.1.2. Curvas de Intensidad- Duración-Periodo de retorno (I-D-T) de la microcuenca

Del estudio Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación realizado por INAMHI (2019), se procedió a tomar los datos de la estación meteorológica La Argelia, luego en la hoja electrónica se graficó dichos valores, obteniendo así las Curvas de Intensidad–Duración–Periodo, indicadas en la Figura 14.



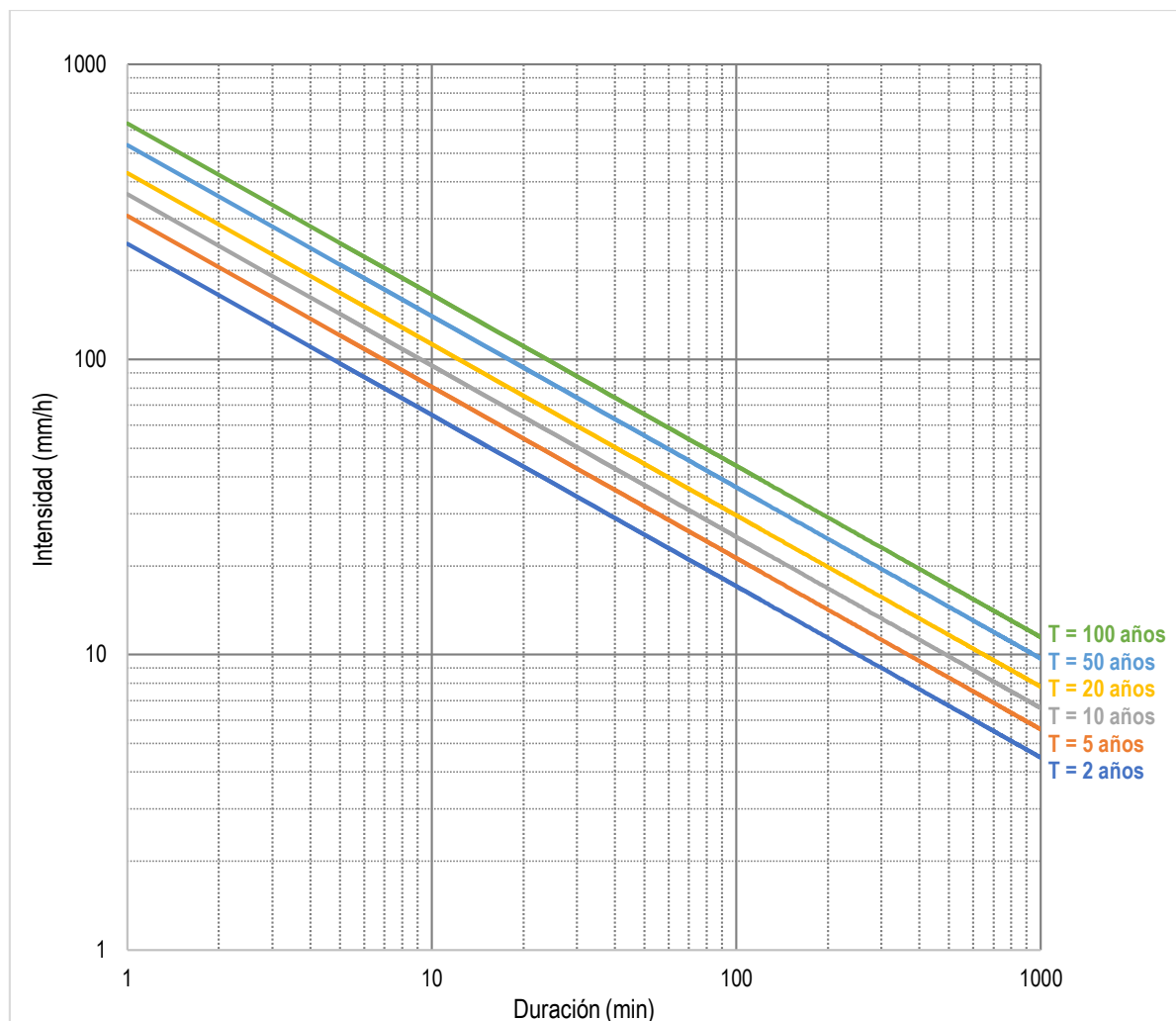


Figura 14. Curvas de Intensidad – Duración – Periodo de retorno de la estación La Argelia (periodo 1990 - 2012)

### 6.1.3. Precipitación máxima en 24 horas de la microcuenca

De la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones meteorológicas a través del método de Gumbel se determinó la precipitación media máxima para diferentes periodos de retorno (Anexo 1), luego se realizó la interpolación de datos para obtener la precipitación máxima de la microcuenca del río Malacatos (Tabla 16).

El Anexo 2 detalla los mapas generados en la interpolación de la precipitación máxima en 24 horas de la microcuenca del río Malacatos.

Tabla 16. Precipitación máxima en 24 horas de la microcuenca del río Malacatos

Periodo de retorno (años)	2	5	10	20	50	100
Precipitación máxima en 24 h (mm)	42,00	53,88	61,51	71,15	78,30	85,40

#### 6.1.4. Estimación de Máximas Crecidas en la microcuenca del río Malacatos.

De la aplicación de los diferentes métodos para la estimación de máximas crecidas. Se obtuvo los siguientes resultados:

##### 6.1.4.1. Estimación por el Método Racional

El coeficiente de escorrentía para la microcuenca del río Malacatos se calculó a partir del cruce de información de los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura. El mapa de pendientes de la microcuenca del río Malacatos (Figura 15) indica que las pendientes mayores a 30 % abarcan 3 992,28 ha (73,84 %) de la superficie de la microcuenca, mientras que las pendientes de 0 a 5 % ocupan 63,35 ha (0,96 %) del territorio.

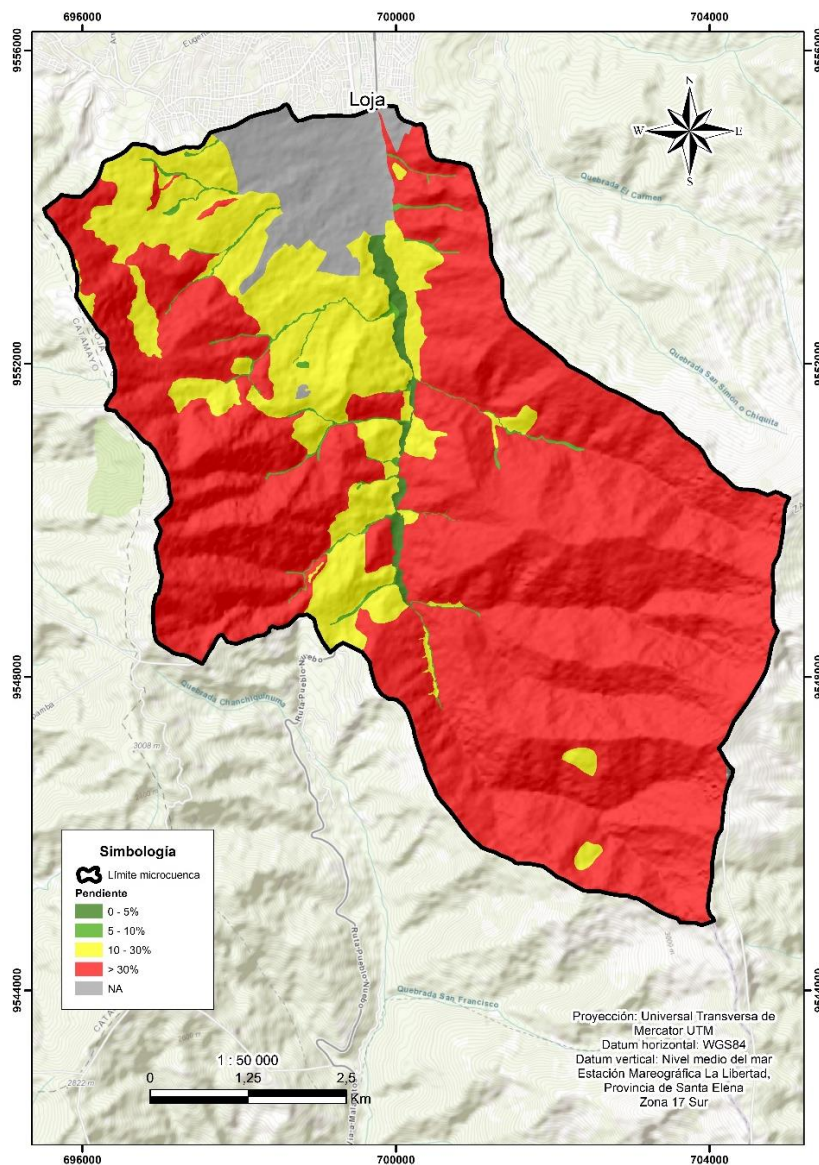


Figura 15. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Malacatos.

La Figura 16 señala la cobertura vegetal de la microcuenca del río Malacatos, evidenciándose que predominan las coberturas del tipo bosque abarcando 2 042,83 ha (37,76 %) de superficie y pastizales 1 386,48 ha (25,62 %), en menor proporción se encuentran las coberturas infraestructura antrópica, erial y cuerpos de agua con superficies de 42,37 ha (0,78 %), 5,66 ha (0,10 %) y 3,12 ha (0,05 %), respectivamente.

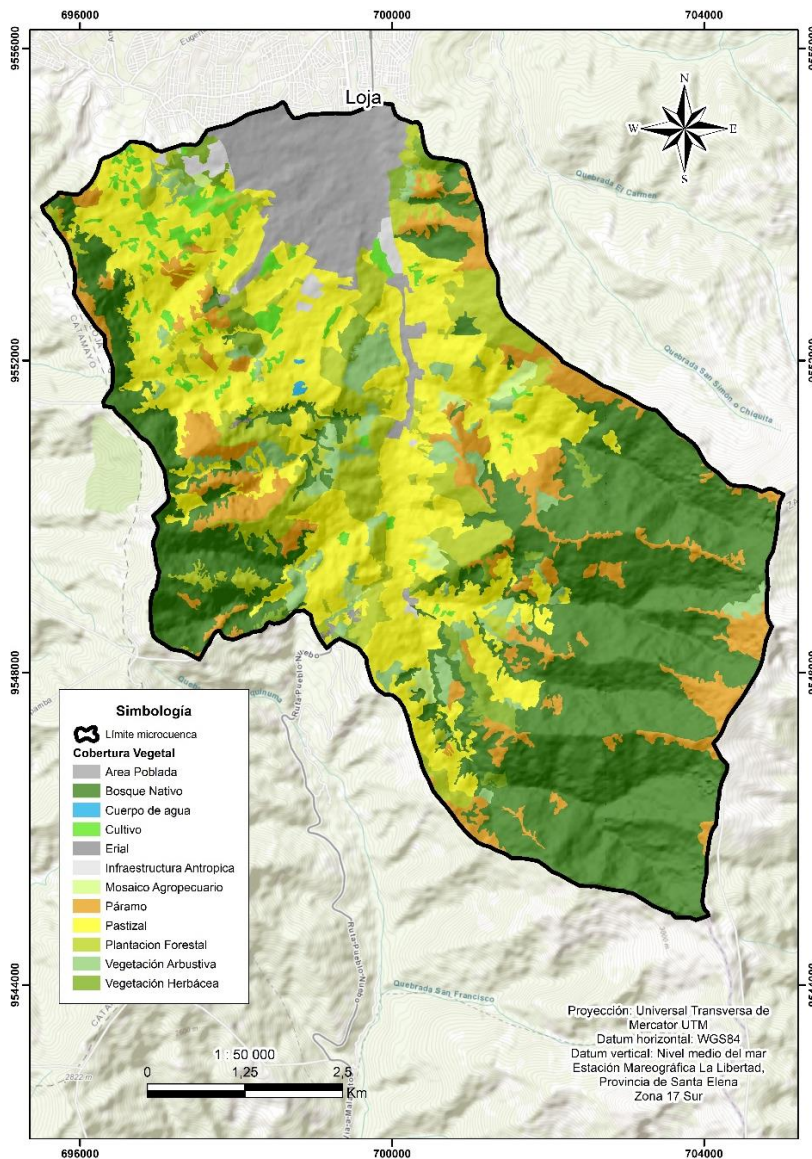


Figura 16. Cobertura vegetal de la microcuenca del río Malacatos.

La Figura 17 muestra el mapa de texturas de la microcuenca, en donde sobresale la clase Franco arcilloso ocupando 3 697,95 ha (68,40 %) de superficie, en menor proporción se encuentran las clases franco arenoso, franco, no aplica, franco arcillo – arenoso y arcillo arenoso con 627,66 ha (11,60 %), 349,20 ha (6,45 %), 346,90 ha (6,41 %), 205,32 ha (3,79 %) y 179,76 ha (3,32 %), respectivamente.

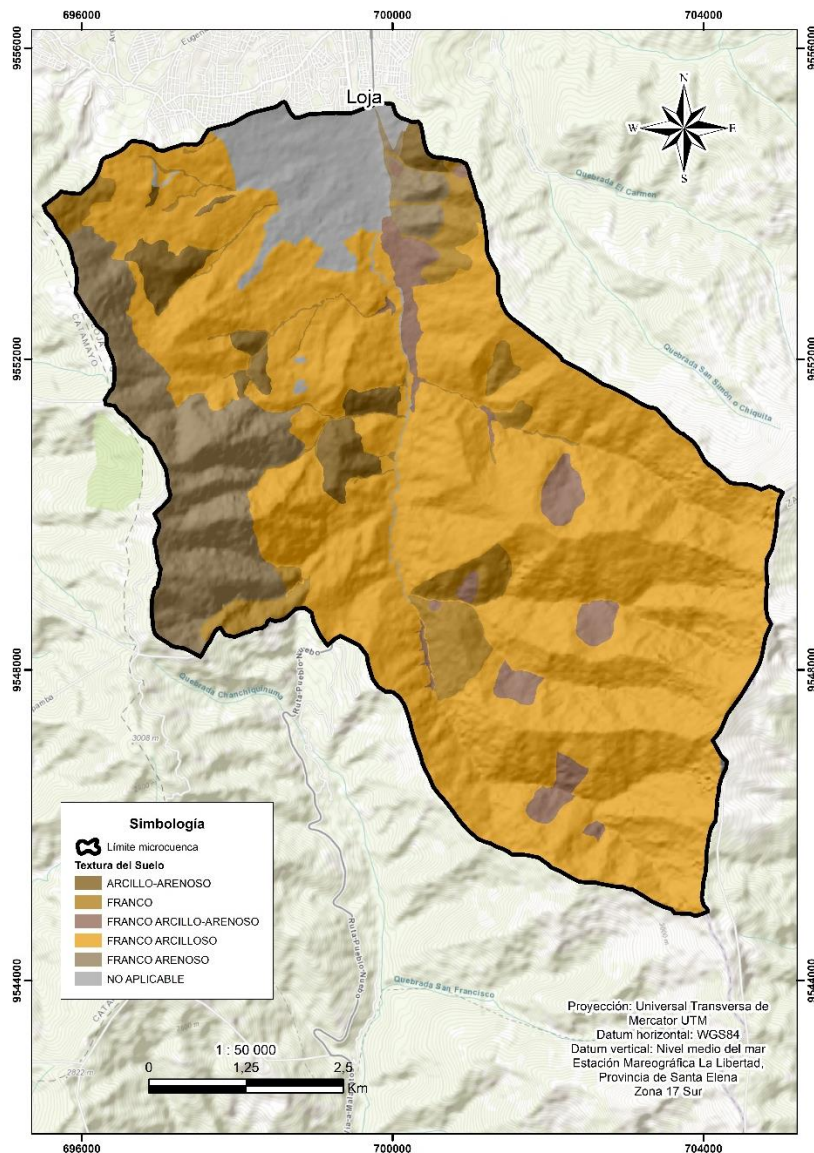


Figura 17. Textura de suelo de la microcuenca del río Malacatos.

El coeficiente de escorrentía general (C) fue 0,38, y para máximas crecidas ( $C_e$ ) de 0,29, detallado en el Anexo 3.

Se determinó la intensidad de precipitación para diferentes periodos de retorno (Tabla 17), la intensidad incrementa al aumentar el periodo de retorno: para dos años la intensidad máxima será de 24,69 mm/h, mientras que para un periodo de 100 años será de 50,18 mm/h. Los caudales máximos obtenidos por el método Racional se indican en la Tabla 21.

Tabla 17. Intensidad de precipitación para diferentes periodos de retorno de la microcuenca del río Malacatos

Periodo de retorno (años)	2	5	10	20	50	100
Intensidad (mm/h)	24,69	31,66	36,15	41,81	46,01	50,18

### 6.1.4.2. Estimación por el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Para este método, se calculó el Número de Curva, a través del cruce de información entre los mapas de textura y cobertura y uso de suelos, cuyos resultados se indican en el Anexo 4 y su respectivo mapa (Figura 18). En la microcuenca predominan los números de Curva 83 y 71 ocupando 1 917,09 ha (35,45 %) y 1 891,87 ha (35,00 %) respectivamente, le siguen las curvas número 58 (12,50 %), 77 (8,60 %) y 86 (6,15 %), en menor proporción se encuentran 81 (1,30 %), 72 (0,75 %), 87 (0,20 %) y 100 (0,05 %).

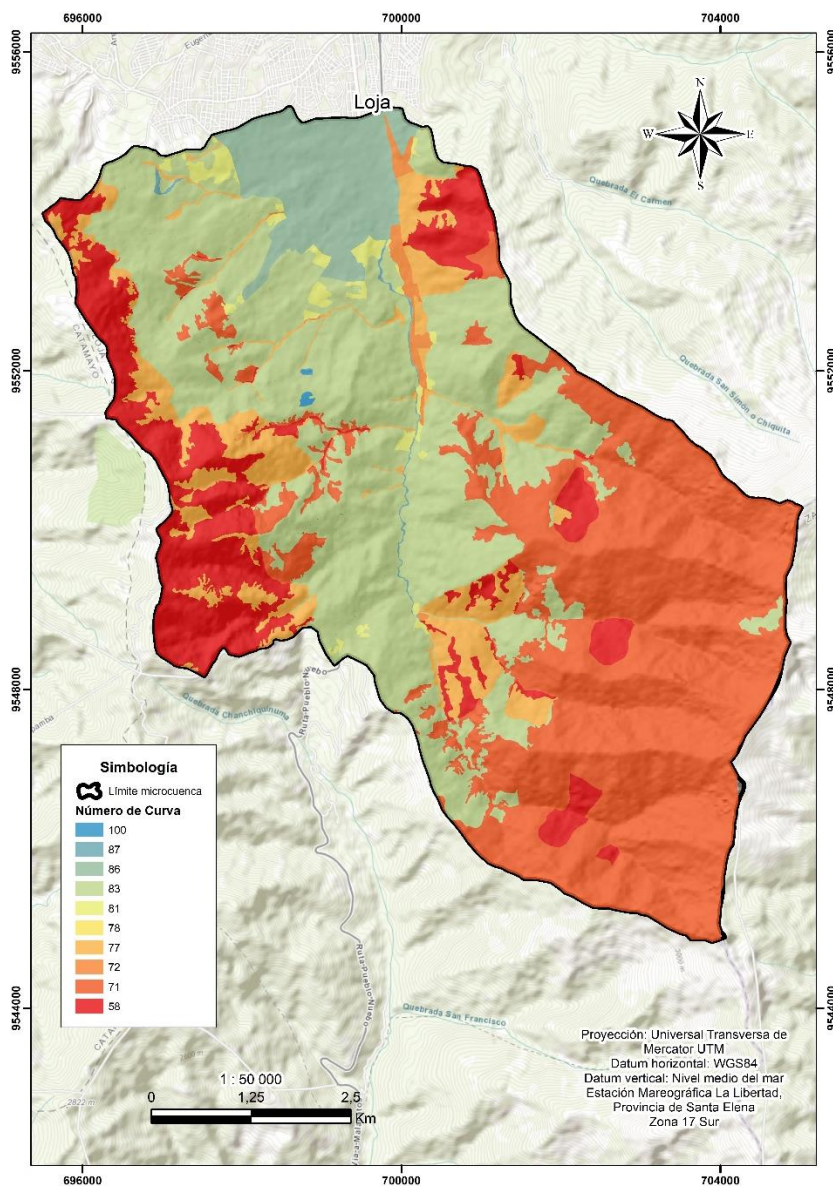


Figura 18. Mapa de Número de Curva de la microcuenca del río Malacatos.

A partir de la intensidad de precipitación (Tabla 16), se calculó la precipitación de la tormenta (P), obteniendo como resultado los valores indicados en la Tabla 18. En la Tabla 21 se visualizan los resultados de la estimación por el método del Servicio de Conservación de Suelos o Número de Curva.

Tabla 18. Precipitación de la tormenta para diferentes periodos de retorno de la microcuenca del río Malacatos.

<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Precipitación (mm)</b>	21,23	27,23	31,09	35,96	39,57	43,16

#### ***6.1.4.3. Estimación por el Método del Hidrograma Triangular***

Para la estimación de caudales máximos se calculó el tiempo pico (1,69 h), duración en exceso (1,78 h) y tiempo base (4,52 h). La precipitación neta se presenta en la Tabla 19 y la estimación de caudales máximos en la Tabla 21.

Tabla 19. Precipitación neta de la microcuenca del río Malacatos

<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Precipitación neta (mm)</b>	6,24	8,00	9,14	10,57	11,63	12,69

#### ***6.1.4.4. Estimación por el método del Hidrograma Adimensional del SCS***

Para la estimación de caudales máximos por este método, se obtuvo: tiempo de retraso (0,48 h), tiempo pico (1,37 h) y gasto pico (8,18 m<sup>3</sup>/s). Los resultados obtenidos con la aplicación de este método se indican en la Tabla 21.

#### ***6.1.4.5. Estimación por el Método del Hidrograma Unitario de Snyder***

Los cálculos para la estimación de máximas crecidas por este método fueron: Coeficiente de retardo de *Snyder* (1,51), tiempo de retardo (3,68 h), duración de la lluvia unitaria (0,67) y caudal pico (21,40 m<sup>3</sup>/s). La Tabla 21 señala los caudales máximos resultado de la estimación por el método del Hidrograma de *Snyder*.

#### ***6.1.4.6. Estimación por el Método de Ven Te Chow***

El tiempo de concentración (1,81 h) permitió el cálculo de otros factores como: factor de reducción de pico (0,80) calculado a partir del tiempo de retraso (0,82 h); el factor climático (2,78) se calculó considerando que el cálculo es directo para la microcuenca del río Malacatos:

factor de escurrimiento y precipitación neta (Tabla 20); finalmente, se estimó los caudales máximos por el método de *Ven Te Chow* (Tabla 21).

Tabla 20. Lluvia de diseño para la microcuenca del río Malacatos.

<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
Precipitación neta (mm)	7,81	12,26	16,69	22,24	31,58	40,46
Factor de escurrimiento (X)	0,43	0,68	0,92	1,23	1,75	2,24

La Tabla 21 señala los valores estimados de máximas crecidas por los diferentes métodos empíricos, con los métodos de los Hidrogramas Triangular, Adimensional del SCS y el propuesto por *Snyder*, se estiman menores caudales máximos y con los métodos de *Ven Te Chow*, Racional y Número de curva se sobreestiman las máximas crecidas.

Tabla 21. Estimación de máximas crecidas por diferentes métodos empíricos en la microcuenca del río Malacatos.

<b>Método empírico</b>	<b>Período de retorno (años)</b>					
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
	<b>Máximas crecidas (m<sup>3</sup>/s)</b>					
Racional	117,20	150,31	171,60	198,49	218,44	238,24
Número de Curva (SCS)	132,51	187,97	224,49	271,28	306,32	341,34
Hidrograma Triangular	51,10	65,54	74,82	86,54	95,24	103,87
Hidrograma Adimensional SCS	51,08	65,51	74,79	86,51	95,21	103,84
Hidrograma Unitario de <i>Snyder</i>	44,78	57,43	65,56	75,84	83,46	91,03
<i>Ven Te Chow</i>	46,42	89,25	121,36	165,97	201,47	238,43

## **6.2. Resultado para el segundo objetivo**

Para la comparación de los datos obtenidos con métodos empíricos con registros de máximas crecidas, se obtuvo los siguientes resultados:

### **6.2.1. Generación de la relación caudal – nivel del agua de la Cuenca**

Para la generación de la relación caudal – nivel del agua en la cuenca se obtuvo la sección transversal del río en el punto de aforo (Figura 19). La sección transversal se dividió en varias subsecciones o dovelas, dos de ellas situadas a 0,25 m de la orilla del cauce y ocho de

1,0 m; la velocidad del agua se registró con molinete hidráulico en el centro de cada dovela y al 60 % de profundidad.

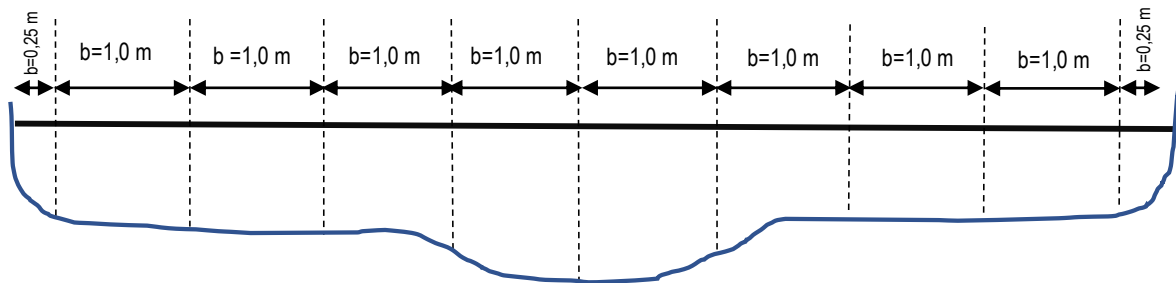


Figura 19. Sección Transversal del río Malacatos en el punto de aforo

Se realizó una serie de aforos para generar la Curva de Descarga (Figura 20) y determinar la ecuación que relaciona altura y caudal, útil para la obtención de caudales máximos. La estadística de aforos y el proceso para la obtención de la ecuación se indica en el Anexo 5.

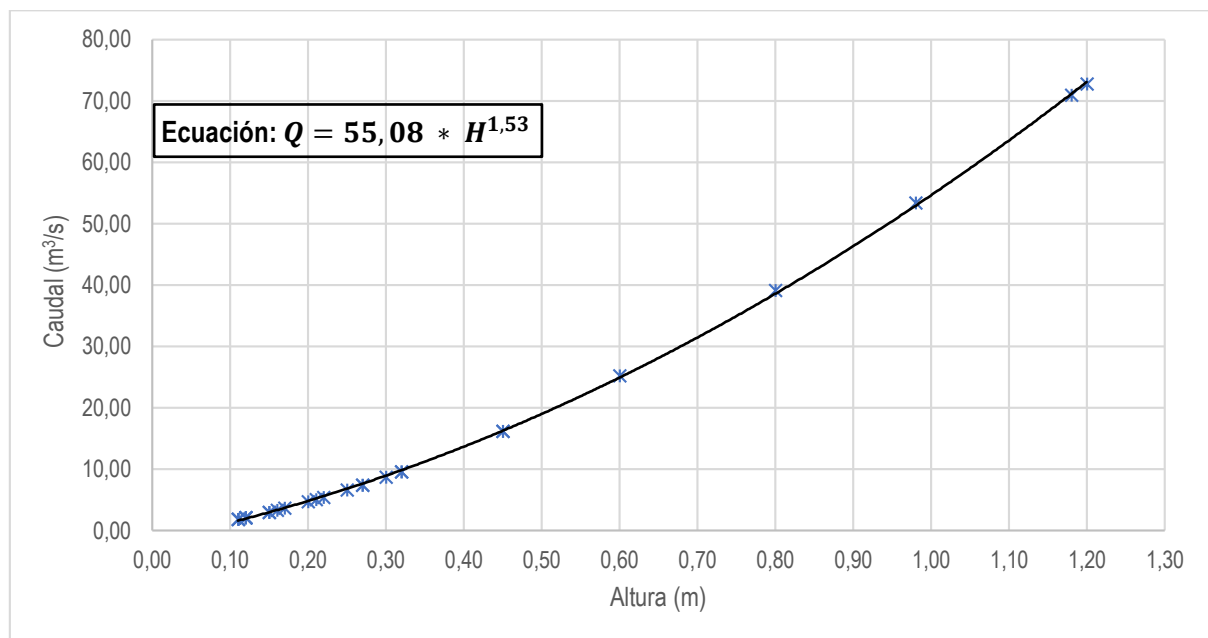


Figura 20. Curva de Descarga de la microcuenca del río Malacatos.

### 6.2.2. Registro de máximas crecidas en el punto de aforo.

Cuando las precipitaciones fueron de gran intensidad se registraron en el punto de aforo datos de altura del agua (Anexo 6) para determinar el caudal con la curva de descarga para el periodo marzo – diciembre de 2022. Los eventos más representativos (Tabla 21) se presentaron



el 15 de marzo de 2022 con una altura de agua de 1,20 m y caudal de 72,80 m<sup>3</sup>/s, y el ocurrido el 30 de diciembre de 2022 con 0,99 m y caudal de 54,23 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 22. Registro de eventos de gran intensidad en la microcuenca del río Malacatos

<b>Fecha</b>	<b>Nivel del agua (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Intensidad (mm/h)</b>
15 – 03 – 2022	1,20	72,80	30,90
30 – 12 – 2022	0,99	54,24	23,30

### 6.2.3. Comparación de los registros obtenidos con los resultados de los métodos empíricos.

La Tabla 23 señala el reajuste de máximas crecidas estimadas por métodos empíricos, calculadas con la intensidad de precipitación registrada en la estación meteorológica La Argelia. Se observa que los métodos racional y número de curva estiman caudales altos en comparación con los otros métodos, por otro lado, el Hidrograma de Snyder, estima caudales bajos.

Tabla 23. Reajuste de máximas crecidas mediante el uso de la intensidad de precipitación registrada en la microcuenca del río Malacatos

<b>Fecha registro</b>	<b>15 – mar – 2022</b>	<b>30 – dic – 2022</b>
<b>Método empírico</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
Racional	138,60	104,35
Número de Curva	168,12	111,63
Hidrograma Triangular	74,43	56,04
Hidrograma Adimensional SCS	74,40	56,02
Hidrograma de Snyder	52,95	39,90
Ven Te Chow	73,00	42,70
Caudal observado	72,80	54,24

Para conocer el método de mayor aproximación, en la Tabla 24 se indican los valores de porcentaje de error obtenidos en la comparación entre los caudales observados el 15 de marzo y 30 de diciembre de 2022 y los caudales reajustados (Tabla 22).

Tabla 24. Porcentaje de error de los diferentes métodos aplicados para estimación de máximas crecidas comparados con los caudales observados el 15 de marzo de 2022

<b>Fecha registro</b>	<b>15 – mar – 2022</b>	<b>30 – dic – 2022</b>
<b>Método empírico</b>	<b>Porcentaje de error (%)</b>	<b>Porcentaje de error (%)</b>
Racional	90,38	92,38
Número de Curva	130,93	105,81
Hidrograma Triangular	2,24	3,32
Hidrograma Adimensional SCS	2,20	3,28
Hidrograma de Snyder	-27,26	-26,49
Ven Te Chow	0,27	-21,28

El porcentaje de error con valores positivos mayor a 5 % sobrestiman y los valores negativos subestiman las máximas crecidas. Para la microcuenca del río Malacatos, existen estimaciones de caudales precisas y confiables, las máximas crecidas ocurridas el 15 de marzo y 30 de diciembre de 2022 se asemejan a las estimadas por los métodos de los Hidrogramas Triangular y Adimensional del SCS.

## 7. Discusión

### 7.1. Estimación de los valores de máximas crecidas para la cuenca Superior del río Zamora, a través de la aplicación de diferentes métodos empíricos.

#### *Caracterización física y morfométrica de la microcuenca.*

Ibáñez *et al.*, (2011) mencionan, una cuenca hidrográfica es el área o superficie de terreno que aporta sus aguas a un punto de desagüe y según Cañibano *et al.*, (2016) se deben clasificar atendiendo a su tamaño. La cuenca del río Malacatos posee una extensión de 54,09 km<sup>2</sup>, según Campos-Aranda (1998) es considerada una unidad hidrográfica pequeña, al encontrarse su superficie entre el rango de 25 y 250 km<sup>2</sup>, mientras que Jiménez y Materón (1993) clasifican como microcuencas a aquellas unidades que comprenden un área entre 20 y 100 km<sup>2</sup>. El perímetro de la microcuenca es de 34,80 km y según Ordoñez (2011) este parámetro es útil para determinar la forma de la cuenca.

La forma de la cuenca es esencial para determinar su comportamiento hidrológico (Villegas, 2013), a partir del cálculo del coeficiente de compacidad se puede conocer la influencia del área y perímetro en la escorrentía (Merma, 2020a). La microcuenca del río Malacatos tiene un coeficiente (Kc) de 1,33, que según González (2001) corresponde a la forma de oval redonda a oval oblonga, con tendencia media a las crecidas. Resultado similar a los obtenidos por Pardo *et al.* (2005) y Ramón (2023), que para la misma cuenca, calcularon valores de Kc de 1,27 y 1.45 respectivamente.

Respecto a los parámetros de relieve, Vásconez *et al.* (2019) señala que la pendiente de una cuenca tiene gran influencia en la respuesta de ésta a un evento de precipitación; además, de ser un indicador del relieve de la cuenca. La pendiente media de la microcuenca Malacatos es de 44,11% lo que según el IGM se clasifica como relieve colinado, valor similar a los obtenidos por Carbajal & Piedra (2007) en la cuenca superior del río Zamora con una pendiente media de 40,01%, y Muñoz (2013) en la microcuenca del río Malacatos con 49,92%. Dichos valores entran en el rango de pendientes colinadas (25,0 a 50,0 %), por ende, se considera que tiene alta velocidad de escurrimiento, baja capacidad de infiltración y retención en la mayor parte de la superficie.

La curva hipsométrica es utilizada para definir el relieve de una cuenca y está asociada a las edades de los ríos respecto a las cuencas (Villegas, 2013). A partir de la Figura 12, la

curva hipsométrica permitió determinar la categoría de la microcuenca del río Malacatos, que es del tipo B, según (R. González, 2001) corresponde a unidades hidrográficas en etapa de equilibrio y geológicamente maduras. Este resultado se asemeja con los obtenidos por Ramón (2023) y Ordóñez (2015), que en sus estudios en las microcuencas del cantón Loja y en las parroquias San Lucas, Tambo Blanco y Jimbilla, determinaron que en estas zona las microcuencas son del tipo B.

Respecto a los parámetros relativos a la red de drenaje, el orden de corrientes indica el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca (Gómez, 2020), la microcuenca del río Malacatos presenta orden tipo 3, es decir orden medio, indicando que, según Fuentes (2004) el cauce principal posee ramificaciones de primer y segundo orden, por ende la cuenca tiene una respuesta rápida a la precipitación. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Muñoz y González (2013), que en su estudio determinaron el orden 3 para las microcuencas de las quebradas Mónica y Santa Urcu, pertenecientes al sistema hidrográfico del río Zamora.

La densidad de drenaje de la microcuenca es de  $1,19 \text{ km/km}^2$ , que según Fuentes (2004) se considera baja, resultados similares a los calculados por (Carbajal et al., 2007), en las microcuencas Las Violetas, Mendieta, Mónica y Namanda, pertenecientes a la cuenca superior del río Zamora, en las que se determinaron valores de densidades de  $0,68$  a  $1,42 \text{ km/km}^2$ , indicando con ello que los suelos de la zona son muy permeables, con vegetación densa y relieve débil.

En referencia al cauce principal, (Ibáñez et al., 2011) mencionan que influye en la generación de escorrentía, es determinante para el cálculo de otros índices morfométricos como tiempo de concentración y le da nombre a la cuenca de estudio (Rojo, 2014). El cauce principal de la microcuenca corresponde al río Malacatos, hasta el punto de aforo ubicado en el parque Lineal La Tebaida posee longitud de  $10,37 \text{ km}$  y pendiente media del  $13,5\%$ , que según Fuentes (2004) se interpreta como moderado. Estos resultados difieren a los obtenidos por Álvarez (2017) y Luna (2017) en la subcuenca Zamora Huayco y cuenca San Agustín, donde su cauce principal posee  $10 \text{ km}$  de longitud y pendiente de  $19,7 \%$  y  $8,29 \text{ km}$  de longitud y pendiente de  $21,3 \%$ , respectivamente, lo que indica terrenos pronunciados con alto potencial erosivo y susceptible a deslizamientos de tierras.

El tiempo de concentración de la microcuenca es de  $48 \text{ min}$  y según Fuentes (2004) se categoriza como moderado. Este parámetro indica la respuesta hidrológica de una cuenca y de

acuerdo a (Cañibano et al., 2016) una cuenca alargada tiene un tiempo de concentración mayor, el peligro de inundación ante eventos de precipitación es mucho menor que en cuencas redondas.

### ***Estimación de máximas crecidas en la microcuenca***

#### ***Método Racional***

Este método es aplicable a cuencas pequeñas con superficies menores a 13 km<sup>2</sup>, duración de lluvia de 30 min y tiempo de concentración de 12 horas (Ulloa, 1989; Quispe, 2016). En referencia a esto, se evidencia la sobreestimación de los caudales máximos por este método en la microcuenca del río Zamora (Tabla 20), el caudal máximo obtenido para Tr de 2 años, es de 117,20 m<sup>3</sup>/s, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Pardo *et al.* (2005) en la microcuenca La Argelia del cantón Loja, cuya área es de 45,42 km<sup>2</sup>, y los caudales máximos posibles entre los años 1976 y 2030 se encuentran en un intervalo de 120,27 a 130,8 m<sup>3</sup>/s. Para un Tr de 25 años, se estimó un caudal máximo de 198,49 m<sup>3</sup>/s, resultado que difiere de los obtenidos por Herencia & Carrera (2019), en su estudio en la cuenca del río Checras, ubicada en Lima, Perú, cuya área es de 820,5 km<sup>2</sup> y para un Tr de 25 años se determinó un caudal máximo tres veces menor (64,83 m<sup>3</sup>/s), según Sandoval y Aguilera (2014) este método es idóneo en cuencas hidrográficas que carecen de información hidrológica y puede ser aplicado en cuencas del Ecuador y cuencas alto andinas del Perú de hasta 1000 km<sup>2</sup>, a pesar de ello se observa una sobreestimación de caudales en microcuenca del río Malacatos, debido principalmente a que el método asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación, además de ello depende de factores que no son considerados como precipitaciones anteriores, condiciones de humedad del suelo, etc.

#### ***Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos***

De acuerdo con Gaspari et al. (2013) este método depende del tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente del terreno, González (2018) añade, ha sido adaptado a cuencas pequeñas con áreas inferiores a 100 km<sup>2</sup> y en áreas con cobertura mixta tiende a sobreestimar los valores de máximas crecidas. Según los datos de la Tabla 21, el método sobreestima los caudales máximos en la microcuenca del río Malacatos, para un periodo de retorno entre 5 y 50 años varía de 187,97 a 306,32 m<sup>3</sup>/s, resultados que difieren de los obtenidos por Carbajal & Piedra (2007) en la microcuencas El Carmen (12,1 km<sup>2</sup>) y Las Pavas (22,1 km<sup>2</sup>), pertenecientes a la Cuenca superior del río Zamora, en las que se estimaron caudales de 96,17 a 145,04 m<sup>3</sup>/s y

57,27 y 86,39 m<sup>3</sup>/s respectivamente. La sobreestimación de caudales por este método se debe principalmente a que es sensible al parámetro número de curva, cuyas tablas para su determinación no han sido contrastadas fuera de Estados Unidos.

#### ***Método del Hidrograma Triangular***

Los autores Pérez y Rodríguez (2009) mencionan que este método tiene un amplio rango de aplicabilidad al ser utilizado en cuencas con superficies de hasta 2590 km<sup>2</sup>, los caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno, en la microcuenca del río Malacatos (Tabla 21), dieron como resultado que para periodos entre 50 y 100 años, los caudales varían desde 92,24 a 103,87 m<sup>3</sup>/s, valores que difieren de Luna (2017) que en la microcuenca de la quebrada San Agustín, determinó caudales máximos de 35,8 y 41,7 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno de 50 y 100 años. Este método, según se observa en la Tabla 20, genera resultados aceptables, sin embargo; al aumentar el periodo de retorno puede sobreestimar los valores de caudales máximos.

#### ***Método del Hidrograma Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.***

Este método, según menciona Acero-Colla (2014), permite calcular los caudales máximos en cuencas grandes de hasta 2590 km<sup>2</sup> de superficie. En la Tabla 20 se visualizan los caudales para diferentes periodos de retorno, estimados por este método. Para los periodos de retorno de 50 y 100 años, los caudales son 95,24 y 108,44 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, en el estudio realizado por Muñoz y González (2013) en la cuenca del río Malacatos, se observa que para el caso del periodo de retorno de 50 años se obtuvo un caudal de 65,7 m<sup>3</sup>/s, valor que difiere con el estimado en el estudio, mientras que para un periodo de 100 años el caudal es de 103,1 m<sup>3</sup>/s, caudal similar al estimado. El método del Hidrograma adimensional del Servicio de Conservación de Suelos da resultados aceptables debido a que considera variables como la cuenca hidrográfica, factor de escorrentía, tiempo de concentración y precipitación.

#### ***Método del Hidrograma Unitario de Snyder***

El Método del hidrograma de *Snyder* tiene aplicabilidad en cuencas 30 a 30000 km<sup>2</sup>, se aplica cuando no se tiene disponible datos históricos de caudal y precipitación y para ser utilizado requiere las características morfológicas de la cuenca (Carías et al., 2014). Los caudales máximos estimados por este método (Tabla 21) varían de 44,78 a 91,03 m<sup>3</sup>/s dependiendo del periodo de retorno. En el caso del periodo de retorno de 50 años, se estimó un

caudal de 83,46 m<sup>3</sup>/s, resultados que se asemejan a los obtenidos por Muñoz y González (2013) en la cuenca del río Malacatos cuyo caudal estimado es de 87,7 m<sup>3</sup>/s, pero a su vez difieren de los obtenidos por Carbajal *et al.* (2007) en la microcuenca Las Pavas donde el caudal fue de 35,41 m<sup>3</sup>/s.

### ***Método de Ven Te Chow***

Según Flores (2017), el método de *Ven Te Chow* permite conocer el gasto máximo para un determinado periodo de retorno y es aplicable a cuencas no urbanas con áreas menores a 250 km<sup>2</sup>. En la Tabla 21 se indican los caudales máximos obtenidos para distintos periodos de retorno. Para el periodo de retorno de 50 y 100 años se tuvo como resultado caudales de 201,47 y 238,43 m<sup>3</sup>/s, valores que difieren de Muñoz y González (2013) que en la microcuenca del río Malacatos determinó caudales de 63,5 y 99,7 m<sup>3</sup>/s. Si bien Valenzuela (2022) menciona que se debe tener en cuenta el área de la cuenca para evitar sobreestimaciones, en el caso de la microcuenca de estudio, se observaron incrementos considerables de caudales en periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años.

## **7.2. Comparación de los datos de máximas crecidas, obtenidos a través de métodos empíricos, con registro de máximas crecidas observadas en el periodo de estudio.**

### ***Generación de la relación caudal – nivel del agua de la cuenca***

La generación de la relación caudal – nivel del agua requiere de una serie de aforos y del registro de niveles, los aforos se realizaron de acuerdo a la metodología del Manual de medición de caudales elaborado por (Alvarado, 2017), teniendo un total de 19 mediciones de caudal (Anexo 5) y con ayuda de una regleta se pudo registrar la variación del nivel del agua. Se graficó la curva de descarga, al respecto Hermi (2017) indica que la realización de aforos directos permite mantener actualizadas las curvas de gasto. La curva de descarga permite medir en una sección del cauce caudales altos que no pueden ser medidos en situaciones de avenidas máximas.

### ***Registro de máximas crecidas en el punto de aforo***

Según (Arboleda *et al.*, 2018) el registro del nivel de agua se realiza a través de limnímetros, en este caso la regleta graficada en la pared del canal del río Malacatos, cumple la función de facilitar la toma de datos acerca de la variación de caudales. En el periodo marzo – diciembre se registraron 2 eventos de gran intensidad. Algunas consideraciones a tomar en

cuenta son: el valor de altura del flujo a registrar es el valor máximo de una precipitación, además en el punto de aforo no debe existir material sedimentando u otros materiales que puedan alterar la toma de datos.

***Comparar los registros obtenidos con los resultados de los métodos empíricos aplicados.***

Para realizar la comparación entre los caudales observados (Tabla 22) y los caudales de reajuste estimados por métodos empíricos (Tabla 23), se utilizó el porcentaje de error, que según Rodríguez (2023) es una medida indicadora de la diferencia entre un valor real y el estimado de una variable. El porcentaje de error (Tabla 24) varía en cada uno de los métodos, sin embargo, proporciona resultados aceptables en el caudal observado el 15 de marzo de 2022, siendo similar a los métodos caudales del Hidrograma Triangular (2,24 %) e Hidrograma Adimensional del SCS (2,20 %) y método de *Ven Te Chow* (0,27 %); el caudal observado el 30 de diciembre de igual forma, se asemeja a los caudales reajustados por los métodos del Hidrograma Triangular (3,32 %) e Hidrograma Adimensional del SCS (3,28 %). Según Arboleda *et al.* (2018) se recomienda que en las estimaciones de caudales exista un desvío de hasta 5% con respecto a los caudales observados para que los resultados sean precisos y confiables.

Los eventos de gran intensidad ocurridos en el mes de marzo y diciembre coinciden con la época lluviosa del cantón Loja, que según Ramón y González (2023) se da entre los meses de diciembre a abril. En general, los métodos de los hidrogramas Triangular y Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos estiman valores de máximas crecidas similares a los caudales observados en el periodo marzo – diciembre de 2022. Autores como (Herencia & Carrera, 2019; Cedeño et al., 2022 y Sandoval & Aguilera, 2014) recomiendan el método racional para la estimación de máximas crecidas, sin embargo señalan que este método debe ser aplicado en cuencas con superficies menores a 45 km, por otro lado (Carrera et al., 2017) sugieren que el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Número de Curva) es aplicable en cuencas del Ecuador debido a que consideran todas las características morfométricos de las cuencas. Sin embargo, en el presente estudio los métodos empíricos que estiman caudales máximos que se asemejan a los observados son los hidrogramas Triangular y Adimensional del Sservicio de Conservación de Suelos.



## 8. Conclusiones

- La cuenca del río Malacatos es una unidad hidrográfica clasificada como microcuenca, tiene forma de oval redonda a oval oblonga, por lo que es propensa a las crecidas, sus pendientes le proporcionan una alta velocidad de escurrimiento, baja capacidad de infiltración y retención de agua en la superficie. De acuerdo a la curva hipsométrica, la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio y es geológicamente madura, y respecto a la red hídrica tiene una respuesta rápida a la precipitación.
- Los métodos empíricos para estimación de máximas crecidas varían de acuerdo con las variables que requieren, los métodos simples como el racional y número de curva tienden a sobreestimar los caudales máximos, mientras que los métodos de los hidrogramas y Ven Te Chow determinan valores más bajos debido a que requieren mayor número de datos y sus estimaciones pueden ser más precisas para establecer el comportamiento real de los cauces.
- Los métodos que mejor se ajustan a las condiciones físicas y morfométricas de la microcuenca del río Malacatos son los Hidrogramas Triangular y Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos.
- Los métodos Racional y Número de Curva (SCS) pueden estimar caudales máximos que sirven para el dimensionamiento de obras hidráulicas, mientras que los hidrogramas y el método propuesto por Ven Te Chow sirven para conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca.
- Las principales limitantes para la estimación de máximas crecidas fueron: la falta de acceso a los datos meteorológicos, la variabilidad climática, el arrastre escombros y material pétreo que limitan el acceso al punto de aforo.

## 9. Recomendaciones

Se recomienda:

- Para el área de estudio, se recomienda utilizar los métodos de los Hidrogramas Triangular y el del SCS, debido a su fácil aplicación y a la similitud que se observó en la comparación de los caudales estimados con los caudales observados.
- Tener en cuenta la superficie del área de estudio con respecto a las especificaciones de cada método con el fin de evitar sobreestimaciones y subestimaciones de caudales máximos.
- Se recomienda usar los resultados obtenidos en esta investigación en cuencas con características similares al área de estudio y no en cuencas urbanas con diferentes características físicas, morfométricas o climáticas.
- Contar con una estación meteorológica para el estudio, puesto que el INAMHI, institución encargada de la generación de información hidrometeorológica, no cuenta con registros de intensidades de precipitación, para que de esta manera los estudios e investigaciones no se limiten por falta de datos.
- Continuar con investigaciones de máximas crecidas debido a que, en la ingeniería son importantes estas estimaciones para la construcción de obras hidráulicas.

## 10. Bibliografía

- Acero-Colla, J. L. (2014). Análisis de precipitaciones máximas para la generación de caudales máximos mediante el método del servicio de conservación de suelos en la cuenca Collini-Pomata [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4531>
- ACUMAR. (2018, noviembre 13). AFOROS. ACUMAR. <https://www.acumar.gob.ar/monitoreo-ambiental/calidad-agua-superficial-aforos/aforos/>
- Aguilera, G., & Orozco, E. (2010). Análisis regional de crecidas máximas para Honduras [Tesis de Post Grado, Universidad San Carlos de Guatemala]. [https://www.sica.int/documentos/analisis-regional-de-crecidas-maximas-para-honduras-elvin-geovany-aguilera-sierra\\_1\\_62724.html](https://www.sica.int/documentos/analisis-regional-de-crecidas-maximas-para-honduras-elvin-geovany-aguilera-sierra_1_62724.html)
- Alvarado, E. (2017). Manual de Medición de Caudales. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2023/03/064.pdf>
- Álvarez, J. L. (2017). Disponibilidad y demanda del recurso hídrico superficial [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/66179>
- Anguizaca, D. M., & Mendieta, S. A. (2012). Estudio para tres pasos de agua de la quebrada Quimandel en las vías de acceso a la parroquia Cuchil, cantón Sigsig, provincia del Azuay [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/765>
- Aparicio, F. J. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie (Primera Edición). Editorial Limusa. [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos\\_de\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_-\\_Aparicio.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf)
- AquaFlow. (2022, noviembre). Aforos de Caudal ¿Qué es y qué consideraciones se deben tener? <https://es.linkedin.com/pulse/aforos-de-caudal-qu%C3%A9-es-y-consideraciones-se-deben-tener-aquaflow-1c>

- Aranda, J. Á. (2014). Estimación de la probabilidad de sobrevertido y caudales máximos aguas abajo de presas de embalse. Efecto del grado de llenado inicial [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. En Riunet.  
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/36537>
- Arboleda, J. F., Felipe, O. G., & Yerrén, J. E. (2018). Manual de Hidrometría. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).  
<https://core.ac.uk/download/288311752.pdf>
- Arnoldo. (2017, octubre 10). (114) Curva de calibracion de caudales excel—YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=O5uWICAerXc&t=3s&ab\\_channel=WalterArnoldoBardalesEspinoza](https://www.youtube.com/watch?v=O5uWICAerXc&t=3s&ab_channel=WalterArnoldoBardalesEspinoza)
- Arriaga, P. (2015, octubre 30). La medida de la precipitación [Text]. iAgua; iAgua.  
<https://www.iagua.es/blogs/pedro-arriaga/medida-precipitacion>
- ASF. (2022). Búsqueda de datos ASF. <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- Barbero, I. (2014). Estudio del comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca forestal. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/49260>
- Benito, C. (2020, mayo). ¿PARA QUÉ SIRVE?  
<https://www.eltiempodelosaficionados.com/PARAQUESIRVE.html>
- Bermúdez, D. (2014, mayo). Aforo con Trazadores. prezi.com.  
[https://prezi.com/bvobfsm\\_pzba/aforo-con-trazadores/](https://prezi.com/bvobfsm_pzba/aforo-con-trazadores/)
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principios y fundamentos de la Hidrología Superficial (Universidad Autónoma Metropolitana). <https://casadelibrosabiertos.uam.mx/gpd-principios-y-fundamentos-de-hidrologia-superficial.html>
- Camino, M., Bó, M. J., & Cionchi, J. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27.  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf>

- Campos-Aranda, D. F. (2011). Identificación del número N mediante el método del HUT, en siete cuencas del alto río Grijalva, México. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XII(3), 269-276.
- Campos-Aranda, D. F. C. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico* (Tercera Edición). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
<https://books.google.com.ec/books?id=tkUYqd0Aac8C>
- Campoverde-Salas, M. Á., & González González, A. E. (2019). Balance hídrico diario de la microcuenca hidrográfica del Río Malacatos en la provincia de Loja [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/22525>
- Cañibano, A., Sastre, P., & Rodolfo, D. A. (2016). Área y perímetro para la caracterización de formas. [https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area\\_y\\_perimetro.pdf](https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area_y_perimetro.pdf)
- Carbajal, K., Piedra, R., & González, A. (2007). Inventario hidrológico de la cuenca superior del río Zamora aplicando sistemas de información geográfica (sig) [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/5854>
- Cárdenas. (2022, abril 21). Los caudales y algunos de sus conceptos. *Agua y Medio Ambiente con ciencia*. <https://aguaymedioambienteconciencia.com/los-caudales-y-algunos-de-sus-conceptos/>
- Carías, B. E., Chacón, E. T., & Martínez, M. Á. (2014). Validación de metodologías para el cálculo de caudales máximos en El Salvador [Tesis de Pregrado, Universidad Centroamericana «José Simeón Cañas»].  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/13080268/validacion-de-metodologias-para-el-calculo-de-caudales-maximos->
- Carrera, D., Sandoval, W., Andrade, V., Piedra, P., & Sánchez, V. (2017). Cálculo de caudales hidrológicos de la subcuenca del río Ambi utilizando el programa HEC-HMS para la comprobación de su aplicabilidad en el Ecuador. 1, 38-47.

- Carrera, M. (2022, marzo 15). Fuerte aguacero inunda calles y casas en Loja; una niña está desaparecida. El Comercio.  
<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/aguacero-inundacion-casas-loja-desaparecida.html>
- Carvajal, G., Ramos, A., Segovia, X., & Arteaga, D. (2012, julio 19). Amenazas en el Ecuador. <https://docplayer.es/31419352-Z-amenazas-en-el-ecuador-z-3-inundaciones-z-3-1-descriptivo.html>
- Castellón, F. (2015, abril 17). Métodos de aforo. SlideShare.  
<https://es.slideshare.net/slideshow/mtodos-de-aforo/47127187>
- Castillo, L. (2021, 2021). Los lojanos soportan más inundaciones por el río Malacatos. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/loja-inundaciones-rio-malacatos-lluvias.html>
- Cedeño, D. M., Cedeño, H. A., & Dueñas, S. (2022). Caudales máximos con varios periodos de retorno de una microcuenca del cantón Rocafuerte (Manabí, Ecuador). Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 7(9), 429-438.
- Cevallos, M. P. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural de Apuela. <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Parroquial/PDOT%20APUELA.pdf>
- Chow, V. te, Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada (McGRAW-HILL).  
<https://www.udocz.com/apuntes/53980/hidrologica-aplicada-ven-te-chow>
- Claudio. (2011, abril 20). El Pluviógrafo—Meteo [Text]. Nevasport.com.  
<https://www.nevasport.com/meteo/art/9640/El-Pluviografo//>
- Córdova, M. (2016, abril 30). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas.  
[https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)
- Cruz, P. (2013, abril 20). Caracterización de las Cuencas. SlideShare.  
<https://es.slideshare.net/slideshow/cuencas-19312652/19312652>

- Daver. (2012, septiembre). Evaporacion De El Agua. Club Ensayos.  
<https://www.clubensayos.com/Historia/Evaporacion-De-El-Agua/306463.html>
- Díaz, C., Mamadou Bâ, K., Iturbe Posadas, A., Esteller, M. V., & Reyna Sáenz, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: Caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. CIENCIA ergo-sum, 6(2), 124-134.
- Dombeck, M. (2010). El agua y las cuencas hidrográficas.  
[https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb5338930.pdf](https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5338930.pdf)
- Eastman, J. R. (2012). IDRISI selva. Worcester, MA: Clark University.  
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=10000921473496256280&hl=en&oi=scholar>
- Eremchuk, J. E. (2019). Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 42, 35-47.
- España, E. (2017, febrero 12). Metodo de Gumbel. SlideShare.  
<https://es.slideshare.net/ederespaa/metodo-degumbel>
- Falchini, L. (2020). Metodo de la Curva Numero O Metodo del Servicio de Conservacion DE Suelos de los EE UU - Studocu. <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-tecnologica-nacional/hidrologia-y-obras-hidraulicas/333671510-metodo-de-la-curva-numero-o-metodo-del-servicio-de-conservacion-de-suelos-de-los-ee-uu/32837934>
- FAO. (1997). Capítulo 7 estimaciones a partir de modelos.  
<https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s09.htm#c%3%A1lculo%20de%20la%20escorrent%C3%ADa>
- Farfán, C. (2021, marzo 18). 15 cantones en emergencia debido a las precipitaciones: Inundaciones, deslizamientos y más. [www.vistazo.com](http://www.vistazo.com).  
<https://www.vistazo.com/actualidad/nacional/cantones-en-emergencia-debido-las-precipitaciones-inundaciones-DGVI227411>

- Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). Manejo de Cuencas Hidrográficas.  
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo\\_de\\_cuencas\\_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Flores, D. (2017). Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales. Informe de estudios Hidrológico Puente Azteca—PDF Descargar libre. <https://docplayer.es/217246949-Vulnerabilidad-de-estructuras-de-puentes-en-zonas-de-gran-influencia-de-ciclones-tropicales-informe-de-estudios-hidrologico-puente-azteca.html>
- Formaggio, L. (2021, mayo). ¿Qué es el ciclo hidrológico? – Revista Ciencias de la Tierra.  
<https://revistacienciasdelatierra.com/geociencias/el-ciclo-hidrologico/9149/>
- Francisco, N., Turrent, A., Flores, H. E., Martínez, M. R., & Enríquez, J. F. (2010). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS-CN en el trópico subhúmedo de México. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 71-78.
- Fuentes, J. de J. (2004). Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. *Agua.org.mx*. <https://agua.org.mx/biblioteca/analisis-morfometrico-de-cuencas-caso-de-estudio-del-parque-nacional-pico-de-tancitaro/>
- Fuentes, Ó., & Franco, V. (1999). Estudio Hidrológicos para obras de protección. Universidad Autónoma de México.  
[http://eias.utelca.cl/isi/publicaciones/unam/estudio\\_hidrologico.pdf](http://eias.utelca.cl/isi/publicaciones/unam/estudio_hidrologico.pdf)
- Fuster, R., & Uribe, J. (2020). Capítulo 2: La Precipitación.  
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-ingenieria/hidrologia-general/capitulo-2-precipitaciones/26182313>
- Galárraga-Sánchez, R. (2004, marzo 26). Hidrored—Estado de los Recursos Hídricos en Ecuador—Bases de Datos. <http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>
- Galeano, L. F., & Palacios, Y. J. (2012). Estudio comparativo de los diferentes métodos para el diseño de alcantarillas en carreteras y vías férreas, tomando como área de análisis la cuenca del río El Ojoche en el Municipio de Masatepe-Masaya [Other, Universidad Naciunal Autónoma de Nicaragua,Managua]. <https://doi.org/10/2/cc.jpg>



- Gámez, W. R. (2009). Texto Básico de Hidrología (Primera Edición). Managua: Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf>
- García, M. (2011, octubre 16). Estimación de caudales máximos en cuencas sin información. Slideshare. <https://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/estimacin-de-caudales-mximos>
- Garnica, E. (2019, mayo). Aforo de caudales y batimetrías. prezi.com. <https://prezi.com/p/ti9axxnnhfgb/aforo-de-caudales-y-batimetrías/>
- Garrido, M., Cea, L., & Puertas, J. (2017). Cálculo de la transformación lluvia—Escorrentía mediante un modelo Saint Venant 2D. <https://core.ac.uk/download/pdf/143423768.pdf>
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Vagaría, A. M. R., & Besteiro, S. I. (2009). Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas (Primera Edición). <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/2473>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de Cuencas Hidrográficas (Primera). Edulp. <https://core.ac.uk/download/pdf/153563964.pdf>
- GeoCastAway (Director). (2021, abril 20). Cálculo de caudal con Hidrograma Unitario Triangular [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=yzmWHuIlyJE>
- Gerencia de Seguridad en el Transporte. (2000, mayo). Instrucción Técnica sobre estudios de Hidrología de Crecidas. Comisión Nacional de Regulación del Transporte. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/normas\\_via\\_y\\_obras/I\\_GVO\\_OA\\_004.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/normas_via_y_obras/I_GVO_OA_004.pdf)
- Goigochea, J. D. (2012). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas en el ámbito del Alto Huallaga. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/549>
- Gómez, A. (2020, febrero 4). Caracterización de una cuenca: Principios y métodos. <https://www.riego.mx/files/webinars/webinar04.pdf>

- Gómez, A. N. (2012). Avenidas de diseño para los túneles de conducción del río Grijalva. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/506>
- González, A. E. (2022). Hidrología Superficial. calameo.com. <https://www.calameo.com/read/007062763a78c6d2b9176>
- González, A. G., Vélez, O. P., Vélez, E. P., Morales, J. C., & Galindo, R. S. (2001). Planificación de los recursos hidráulicos con fines de riego en la zona Andina del Ecuador. *Agrociencia*, 35(1), 1-12.
- González, I. A., Lugo, O., Ayala, J., González Manríquez, I. A., Lugo Espinosa, O., & Ayala de la Vega, J. (2016). Diseño y desarrollo de un pluviógrafo semiautomático tipo Hellman. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(1), 95-101.
- González, M. (2018). Tema 12: Hidrología de cuencas de tamaño medio. Hidrograma unitario. UNIDAD DOCENTE DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL. [http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1230/mod\\_label/intro/Tema12.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1230/mod_label/intro/Tema12.pdf)
- González, R. (2001). Hidrología en Cuencas. Universidad Nacional de Loja.
- Grajales, D., & Carvajal, L. F. (2019). Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia no estacionarias para la cuenca del río Medellín. *DYNA*, 86(208), 321-328.
- Guichard, D., Aguilar, M., Muciño, J., & Pérez, C. (2018). Obtención de factores de ajuste por duración y curvas I-D-Tr, a partir de precipitaciones históricas en la cuenca de Chicoasén, perteneciente a la RH 30, en Chiapas. *Revista Pakbal*, 41, 26-30.
- Gutiérrez, C. (2014). Hidrología básica y aplicada. Editorial Universitaria Abya-Yala. <https://es.scribd.com/document/467572670/2-hidrologia-basica-pdf>
- Guzmán, L. (2022). Levantamiento de datos Topográficos e Hidráulicos en cauces. Scribd. <https://es.scribd.com/document/661148674/INFORME-DE-PRACTICA-5>
- Hämmerly, R. del C. (2011). Modelación de la evapotranspiración con métodos de balance de agua. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/262>

- Herencia, B., & Carrera, C. (2019). (PDF) Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera Metalúrgica y Geográfica.  
[https://www.researchgate.net/publication/339565311\\_Estimacion\\_caudales\\_medios\\_y\\_maximos\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Checras\\_mediante\\_ecuaciones\\_sinteticas\\_y\\_racionales](https://www.researchgate.net/publication/339565311_Estimacion_caudales_medios_y_maximos_de_la_cuenca_del_rio_Checras_mediante_ecuaciones_sinteticas_y_racionales)
- Hermi, R. (2017). La realización de aforos: Un pilar básico de la hidrometría | Es el agua.  
<https://eselagua.com/2017/04/30/la-realizacion-de-aforos-un-pilar-basico-de-la-hidrometria/>
- Hernández, A., Mejía, E., Justo, J., & Vázquez, L. (2019, mayo 13). Unidad 5 Avenidas Maximas | PDF | Precipitación | Hidrología. Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/437745000/323268934-Unidad-5-Avenidas-Maximas>
- iAgua. (2017, marzo 3). Medición de caudales. Cómo, cuándo y dónde [Text]. iAgua; iAgua.  
<https://www.iagua.es/blogs/conoce-che-y-gestion-agua/medicion-caudales-como-cuando-y-donde>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- INAMHI. (2022). Anuarios Meteorológicos. <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- INAMHI, F. (2019). Determinación de Ecuaciones para el cálculo de Intensidades máximas de precipitación (Segunda Edición).  
[https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO\\_DE\\_INTENSIDAD\\_ES\\_V\\_FINAL.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDAD_ES_V_FINAL.pdf)
- Instituto Geográfico Militar. (2013, enero). Cartografía de Libre Acceso Escala 50k – Geoportal Ecuador. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019, julio). La importancia de la medición del agua de lluvia. gov.mx. <http://www.gob.mx/imta/articulos/la-importancia-de-la-medicion-del-agua-de-lluvia>

Jiménez, E. H., & Materón, M. H. (1993). Estudio de Aguas de las Cuencas Hidrográficas del Departamento de Risaralda. Memorias II encuentro Nacional de Cuencas Hidrográficas, RENORDE, CUAO.

Juela Sivisaca, O. L., & González González, R. E. (2011). Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca alta del río Catamayo hasta la estación el Arenal en el sitio el Boquerón, provincia de Loja [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/4950>

Loor, Y. S., & Duque, P. J. (2017). Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas sector San Juan y San Bartolomé en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protector Aguarongo [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14459>

Lopardo, R., & Seonane, R. (2000). Algunas reflexiones sobre crecidas e inundaciones. <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2833/2838>

Lozano, W. A. (2018). Clima, hidrología y meteorología: Para ciencias ambientales e ingeniería (Primera Edición). Universidad Piloto. <https://doi.org/10.2307/j.ctv7fmfh3>

Luna, A. A., & González González, A. (2017). Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (sig) [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/19710>

Maderey, L. E. M. (1977). El agua de escurrimiento en la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. [https://books.google.com.ec/books/about/El\\_agua\\_de\\_escurrimiento\\_en\\_la\\_Rep%C3%BAblic.html?id=qK4MAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/El_agua_de_escurrimiento_en_la_Rep%C3%BAblic.html?id=qK4MAAAAYAAJ&redir_esc=y)

- Marcillo, D. A., Vivas, P. A., & Alarcón, J. R. (2021). Evaluación de la fuente de incertidumbre en la curva de descarga de la microcuenca “Las Flores”, San Sebastián, Manabí, Ecuador. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(SPE2). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2603>
- Martínez, J. J. (2019). Aforos de Vertederos. Scribd. <https://es.scribd.com/document/476016618/Aforos-de-vertederos>
- Mediero-Orduña, L. (2021). *Hidrología*. Editorial Paraninfo. <https://www.google.com.ec/books/edition/Hidrolog%C3%ADa/nqAIEAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=Hidrolog%C3%ADa+de+mediero&printsec=frontcover>
- Mera, C. (2019). Determinación del Hidrograma unitario sintético de Snyder, Hidrograma unitario triangular, Hidrograma unitario adimensional del SCS y el caudal pico mediante el método de Chow. [https://www.academia.edu/40113978/Determinaci%C3%B3n\\_del\\_Hidrograma\\_unitario\\_sint%C3%A9tico\\_de\\_Snyder\\_Hidrograma\\_unitario\\_triangular\\_Hidrograma\\_unitario\\_adimensional\\_del\\_SCS\\_y\\_el\\_caudal\\_pico\\_mediante\\_el\\_m%C3%A9todo\\_de\\_Chow](https://www.academia.edu/40113978/Determinaci%C3%B3n_del_Hidrograma_unitario_sint%C3%A9tico_de_Snyder_Hidrograma_unitario_triangular_Hidrograma_unitario_adimensional_del_SCS_y_el_caudal_pico_mediante_el_m%C3%A9todo_de_Chow)
- Merma, H. L. (2020a). La cuenca hidrológica. <https://hebmerma.com/wp-content/uploads/2020/10/CAP-02.-CUENCA-HIDROLOGICA-1.pdf>
- Merma, H. L. (2020b). Precipitación. <https://hebmerma.com/wp-content/uploads/2020/11/CAP-03.-PRECIPITACION-1-1.pdf>
- Merma, H. L. (2020c, noviembre). Caudales Máximos. <http://hebmerma.com/wp-content/uploads/2020/11/CAP-06.-CAUDALES-MAXIMOS-1.pdf>
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Marcombo. [https://www.google.com.ec/books/edition/Hidrolog%C3%ADa\\_en\\_la\\_Ingenier%C3%ADa/NdbTOgAACAAJ?hl=es](https://www.google.com.ec/books/edition/Hidrolog%C3%ADa_en_la_Ingenier%C3%ADa/NdbTOgAACAAJ?hl=es)
- Montaner, M. E. M., & Sánchez, E. S.-A. (1988). APROXIMACION, POR EL METODO DE THORNTHWAITE, AL CALCULO DE INFILTRACION DE LLUVIA UTIL. *Papeles de Geografía*, 14, Article 14.

Municipio de Loja. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja 2014-2022. <http://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/podt2014.pdf>

Muñoz Guayanay, J. F., & González González, R. (2013). Estudio hidrológico correspondiente a las microcuencas del río Malacatos y las quebradas Amanda, Mónica y Santa Urcu para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/11485>

Naranjo, M. G. (2011, octubre 16). Estimación de caudales máximos. <https://es.slideshare.net/mgarciannaranjo/estimacin-de-caudales-mximos>

Nieto, S. (2014, diciembre 10). Hidrología Modulo 2. <https://es.slideshare.net/StewardNieto/hidrologa-modulo-2>

Núñez, S. (2020, octubre 26). TIPOS de PRECIPITACIONES - Clasificación, nombres y características. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html](https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html)

Ollero, A. (1997, octubre 2). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico: Un planteamiento didáctico / Alfredo Ollero. <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/200oller/ollero20.htm>

Ordoñez, J. J. (2011). Balance Hídrico Superficial (Edición Primera). [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/balance\\_hidrico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf)

Ordóñez, J. M. (2015). Determinación de la respuesta hidrológica de la subcuenca alta del río Zamora [masterThesis, Loja: Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/10298>

Ortiz, M. (2019, agosto 22). AFOROS: Métodos para medir caudales de ríos y cursos de agua. SlideShare. <https://es.slideshare.net/MauricioOrtiz6/aforo-de-caudales>

- Pardo, J. C., Novillo, J. C., & Oñate, F. (2005). Estudio de los caudales de crecida en el río Zamora, por la influencia del crecimiento urbano en la ciudad de Loja [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja].  
<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17588>
- Parra, J. de D. (1989). Comparación de métodos para la estimación de avenidas máximas de cuencas pequeñas que no cuentan con información hidrométrica [Tesis de Post Grado]. Colegio de Postgraduados.
- Pérez, G., & Rodríguez, A. (2009). Apuntes de Hidrología Superficial.  
<http://hidraulica.umich.mx/bperez/HIDROLOGIA-SUPERF.pdf>
- Pérez, J. (2020, agosto 18). El Caudal y sus tipos. SlideShare.  
<https://es.slideshare.net/slideshow/el-caudal-y-sus-tipos/238007273>
- Pimiento, D. F., & Galvez, J. P. (2015). Cálculo Del Caudal Máximo De Creciente De La Quebrada La Artesa Que Desemboca En La Quebrada De Ortega, En El Municipio De Güican (Boyacá), Con El Método Racional.  
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4979>
- Ponce, T., & Veneros, L. (2011). Aplicación de tres Modelos Precipitación Escorrentia para estimar el caudal máximo de diseño en la Cuenca de la Quebrada Carrizal. Distrito Llama • Provincia de Chota • Departamento Cajamarca [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/79f9bf8e-d974-4bab-9c4f-7b0b6cc1ce25>
- Prefectura de Loja. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja. <https://prefectura Loja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- Prieto, J., Farias, H., & Amarilla, M. (2018, octubre). Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo.  
<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/tierra/27-prieto.pdf>

- Quispe, J. C. (2016). Parámetros físicos y estimación del caudal de escurrimiento en la cuenca de la Estación Experimental de Choquenaira [Thesis].  
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/7609>
- Ramírez, J. C., Ramírez, G. A. R., & Forero, G. A. (2020). Propuesta de almacenamiento de agua lluvia para suministrarla al municipio de Albán utilizando HEC-GeoHMS. *Avances Investigación en Ingeniería*, 17(1 (Enero-Junio)), Article 1 (Enero-Junio).  
<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6031>
- Ramón Jaramillo, R. A., & González González, A. (2023). Índice de retención y regulación hídrica de las principales microcuencas del cantón Loja [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/26388>
- Reyes, A., Barroso, F. U., & Carvajal, Y. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Universidad del Valle.  
[https://www.google.com.ec/books/edition/Gu%C3%ADa\\_b%C3%A1sica\\_para\\_la\\_caracterizaci%C3%B3n\\_m/6jinEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=Gu%C3%ADa+b%C3%A1sica+para+la+caracterizaci%C3%B3n+morfom%C3%A9trica+de+cuencas+hidrogr%C3%A1ficas.&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Gu%C3%ADa_b%C3%A1sica_para_la_caracterizaci%C3%B3n_m/6jinEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=Gu%C3%ADa+b%C3%A1sica+para+la+caracterizaci%C3%B3n+morfom%C3%A9trica+de+cuencas+hidrogr%C3%A1ficas.&printsec=frontcover)
- Rodríguez, S. (2023, diciembre 5). Porcentaje de Error: Importancia y Métodos para su Control - LAB-ES. <https://labes-unizar.es/porcentaje-de-error-importancia-y-metodos-para-su-control/>
- Rojas, P. (2015, febrero 9). ¿Qué es una curva hipsométrica? Ingeciv.  
<https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>
- Rojas, R. (2016). La Escorrentía. <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/cap42303.pdf>
- Rojo, J. (2014). Morfometría de Cuencas.  
<http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Rondón, A. (2013, noviembre 23). Medición de la Escorrentía. Medición de la Escorrentía.  
<http://escorrentiaanyelarondon.blogspot.com/2013/>



- Rosario, K. (2016). Propuesta metodológica para la determinación de descargas máximas en función de parámetros morfométricos y de infiltración [Universidad Técnica Particular de Loja].  
<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/14992/1/Rosario%20Santos%20Katty%20Del%20Cisne%20.pdf>
- Ruberto, A., Depettris, C. A., Pilar, J., Ramos, R., & Mentasti, C. (2013, octubre). Coeficientes de ajuste de hidrogramas sintéticos en ríos de Llanura—Método de Snyder—Río Tapenagá—Chaco. Departamento de Hidráulica – Facultad de Ingeniería- UNNE.  
[https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/28451/RIUNNE\\_FING\\_AC\\_Ruberto-Depettris-Pilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/28451/RIUNNE_FING_AC_Ruberto-Depettris-Pilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ruiz, E., & Martínez, M. (2021, abril). Hidrología Aplicada: Escorrentía.  
<https://es.scribd.com/document/480974953/Hidrologia-Aplicada>
- Sánchez, F. J. (2013, abril). Medida de caudales. Dpto. Geología. Universidad de Salamanca (España). <https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>
- Sandoval, W., & Aguilera, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica.
- Sandoval, W. R. S., & Ortiz, E. P. A. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Revista Ciencia Unemi*, 7(12), 100-110.
- Sanz, E. (2013, marzo). ¿Qué es un pluviómetro y cómo mide la lluvia?  
<https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2023/que-es-el-pluviometro-y-como-se-mide-la-lluvia.html>
- SensorGO. (2020, diciembre 29). Conoce el pluviómetro para medir la precipitación.  
<https://sensorgo.mx/pluviometro-para-medir-precipitacion/>  
<https://sensorgo.mx/pluviometro-para-medir-precipitacion/>
- Serra, J. (2008). Metodología Integrada de estimación de crecidas en ambientes torrenciales típicos de áreas de meseta en la región semiárida patagónica (Primera Edición).  
<https://dich.edu.ar/files/MIEC-EbookMay08.pdf>

- Silva, G. (2009). Hidrogramas Unitarios Triangulares.  
[https://www.oocities.org/gsilvam/hidrogramas\\_scs.htm](https://www.oocities.org/gsilvam/hidrogramas_scs.htm)
- Soler-Martínez, J. L. (2020, octubre 8). Inundaciones, crecidas y futuro [Text]. iAgua; iAgua.  
<https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-soler-martinez/inundaciones-crecidas-y-futuro>
- Springall, R. (1969). Drenaje en cuencas pequeñas.  
<https://es.scribd.com/document/87853511/143-Drenaje-en-Cuencas-Pequeñas>
- Subdirección Ambiental, M. del V. A. (2019). Manual para la realización de aforos de caudal en fuentes superficiales de agua.  
<https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA-RR-03%20Manual%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20aforos%20caudal%20fuentes%20superficiales.pdf>
- Suemy, N. (2019). Avenidas maximas.  
[https://www.academia.edu/25972457/Avenidas\\_maximas](https://www.academia.edu/25972457/Avenidas_maximas)
- Témez, J. (1987). Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales (Dirección General de Carreteras).
- Temez, J. (1987). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales (Normativa de Carreteras).  
<http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/otros/pdfs/tellez.pdf>
- Toro, F. (2016). Análisis de Caudales. <https://docplayer.es/13314583-Capitulo-7-analisis-de-caudales.html>
- Torres-Abello, A. E. (2004). Apuntes de clase sobre hidrología urbana. Pontificia Universidad Javeriana.  
<https://books.google.hn/books?id=Vw1HHmMdvQ4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Ulloa, J. C. (1989). Cálculo de caudales máximos para diseño de obras de drenaje [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. [https://catalogobiblioteca.puce.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=117602&shelfbrowse\\_itemnumber=160163](https://catalogobiblioteca.puce.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=117602&shelfbrowse_itemnumber=160163)

- Valdivielso, A. (2020a, septiembre 2). ¿Qué es la evaporación del agua? [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-evaporacion-agua>
- Valdivielso, A. (2020b, septiembre 21). ¿Qué es un caudal? [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>
- Valenzuela, V. S. (2022). Estudio Hidrológico en el km 40+160, San José del sitio – Valle del Rosario, Satevo, Chiguagua [Tesis de Post Grado, Universidad Autónoma de Chihuahua]. <http://repositorio.uach.mx/484/>
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, & Ortíz, L. (2019). Cuencas Hidrográficas. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Vélez, M. (2000). Hidrología para Ingenieros. [https://www.researchgate.net/profile/Velez-Maria/publication/338778972\\_HIDROLOGIA\\_PARA\\_INGENIEROS/links/5e2a13964585150ee77dede5/HIDROLOGIA-PARA-INGENIEROS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Velez-Maria/publication/338778972_HIDROLOGIA_PARA_INGENIEROS/links/5e2a13964585150ee77dede5/HIDROLOGIA-PARA-INGENIEROS.pdf)
- Villanueva, J. I. A., & Vidaurre, J. F. H. (2022). Modelos hidrológicos para la estimación de caudal ecológico. *Manglar*, 19(2), Article 2.
- Villanueva, P. (2019). Aforo de caudales: Métodos y aplicaciones | PDF | Río | Descarga (hidrología). Scribd. <https://es.scribd.com/document/245952696/AFOROS>
- Villate, J. J., Gualdrón, D. F., & Rodríguez, A. P. (2023). Cálculo y aplicación del método del Número de Curva del Soil Conservation Services (SCS) para la cuenca alta del río Suárez usando Sistemas de Información Geográfica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/view/347/277/6995>
- Villegas, P. (2013, octubre 16). Análisis Morfométrico de una cuenca. *Agua y SIG*. <https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/>
- Villegas, P. (2017, enero 9). Método del Número de Curva del SCS. *Agua y SIG*. <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>

Villón, M. (2002). Hidrología (Primera). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Walterdry. (2009, diciembre 26). Hidrología: Curva de calibración de caudales. Hidrología.  
<http://walterbardalesrecursoshidricos.blogspot.com/2009/12/curva-de-calibracion-de-caudales.html>

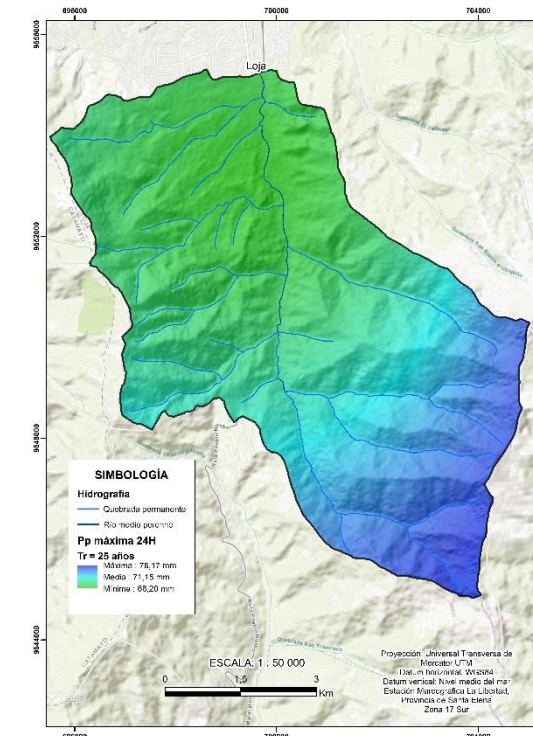
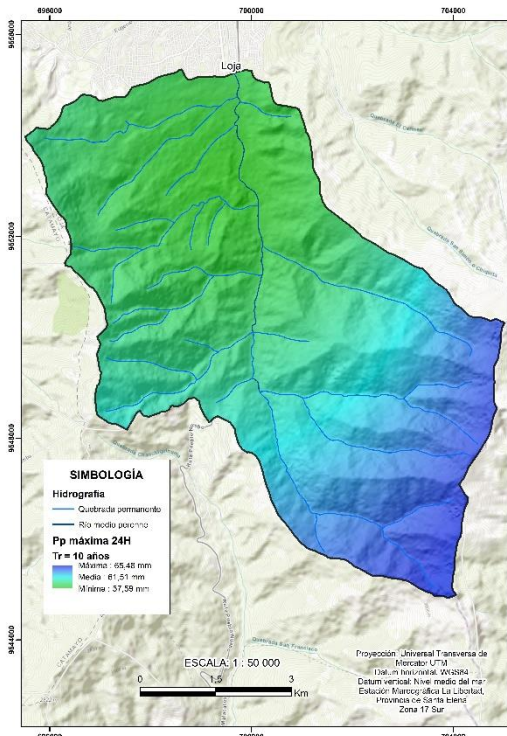
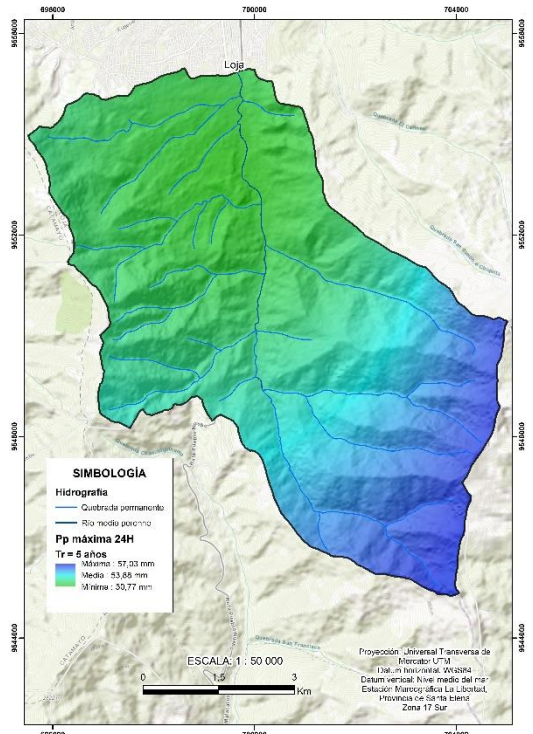
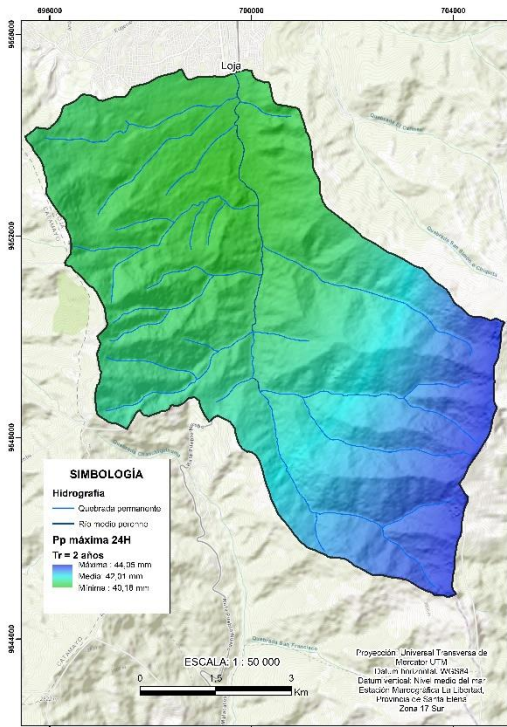
## 11. Anexos

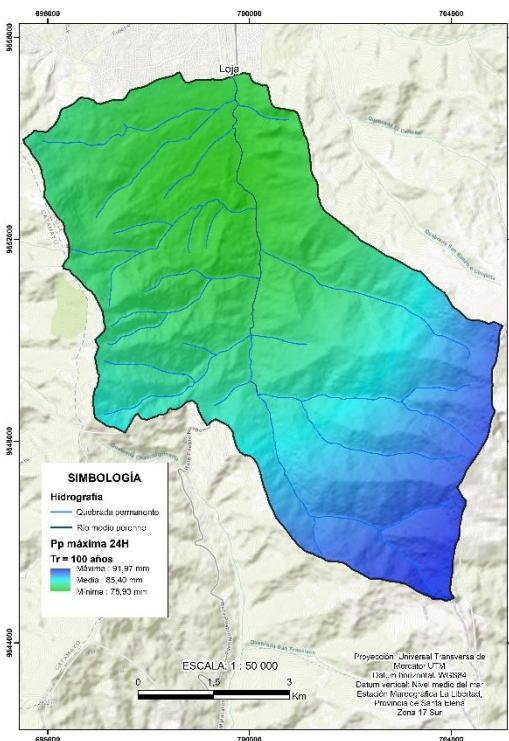
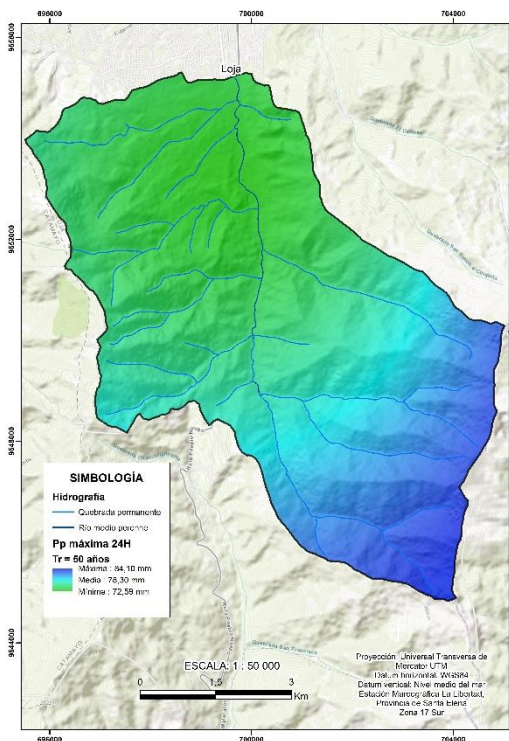
*Anexo 1. Precipitación media máxima en 24 horas (mm) de las estaciones meteorológicas que rodean la microcuenca*

<b>Estación</b>	<b>Argelia</b>	<b>San Francisco</b>	<b>Malacatos</b>	<b>El Pangui</b>	<b>Catamayo</b>
<b>X</b>	699469	713833	691652	757970	680749
<b>Y</b>	9553261	9561247	9533403	9564544	9558154
Altitud (msnm)	2160	1620	1453	820	1237
1990	27,7	70,0	39,3	49,3	36,7
1991	59,2	78,3	53,5	70,4	34,7
1992	29,1	43,4	24,1	65,7	33,9
1993	59,7	55,3	28,3	63,4	41,3
1994	53,2	53,9	20,8	-	37,7
1995	26,6	71,4	24,6	52,7	83,8
1996	45,1	61,9	26,1	39,4	57,7
1997	45,3	78,9	27,9	65,1	22,8
1998	38,7	56,4	32,7	46,8	36,7
1999	34,8	72,3	-	46,0	22,4
2000	31,7	83,1	40,6	46,8	24,7
2001	51,6	99,6	32,4	84,1	42,5
2002	31,7	64,3	29,4	55,1	29,5
2003	38,4	91,5	41,2	61,4	47,3
2004	48,6	103,9	50,3	82,0	33,8
2005	36,2	66,4	42,7	50,3	28,7
2006	42,6	35,7	59,0	59,6	35,6
2007	37,6	68,8	48	56	99,9
2008	41,8	50,9	52	42,6	32,9
2009	56,6	70,7	52,7	53,7	36,9
2010	31,1	52,2	75,3	108,3	37,1
2011	35,7	58,4	59,1	73,4	34,3
2012	36,2	63,2	35,4	57,2	-
2013	39,2	74,1	59,5	50,3	33,8
2014	50,3	111,5	64,1	79,3	33,7

2015	39,9	76,3	50,8	57,5	42,3
2016	59,7	77,1	36,5	43,2	29,3
2017	33,2	74,8	24,6	34,0	34,6
2018	28,9	-	-	36,4	39,6
2019	46,7	-	-	-	36,2
2020	53,8	-	-	-	39,2
2021	54,4	-	-	-	43,8
<b>Suma</b>	1345,3	1964,3	1130,9	1630,0	1223,4
<b>Media</b>	42,0	70,2	41,9	58,2	39,5
<b>Máxima</b>	59,7	111,5	75,3	108,3	99,9
<b>Mínima</b>	26,6	35,7	20,8	34,0	22,4
<b>Desv est</b>	10,2	17,4	14,5	16,4	15,8
<b>Var</b>	103,4	303,2	209,6	269,5	248,6
<b>Nro. Datos</b>	32,0	28,0	27,0	28,0	31,0
<b>Yn</b>	0,53799	0,53426	0,53319	0,53426	0,53713
<b>sn</b>	1,11929	1,1047	1,10054	1,1047	1,11592
<b>Tr = 2 años</b>	40,18	66,99	39,26	55,23	36,59
<b>Tr = 5 años</b>	50,78	85,37	54,60	72,57	53,07
<b>Tr = 10 años</b>	57,59	97,20	64,48	83,72	63,67
<b>Tr = 25 años</b>	66,21	112,15	76,95	97,81	77,07
<b>Tr = 50 años</b>	72,59	123,23	86,20	108,26	87,01
<b>Tr = 100 años</b>	78,94	134,24	95,39	118,64	96,87

Anexo 2. Precipitación máxima en 24 horas para la microcuenca del río Malacatos





Anexo 3. Coeficiente de escorrentía de la microcuenca del río Malacatos

Coeficiente de escorrentía						
Unidad	Area	%	Coeficiente	Area * Coef	Coef. pond	Ce
A1	0,003	0,00	0,3	0,00		
A2	0,441	0,00	0,35	0,15		
A3	1,621	0,00	0,4	0,65		
A4	27,146	0,00	0,42	11,40		
A5	5,393	0,00	0,45	2,43		
A6	7,276	13,45	0,47	3,42		
A7	0,152	0,28	0,5	0,08		
A8	0,006	0,01	0,55	0,00	0,39	0,298
A9	3,663	0,61	0,6	2,20		
A10	0,588	1,09	0,63	0,37		
A11	0,107	0,20	0,66	0,07		
A11	0,582	1,08	0,68	0,40		
A12	2,199	4,07	0,7	1,54		
A13	3,4725	6,42	0,74	2,57		
A14	1,4381	8,82	0,8	1,15		
<b>Suma</b>	<b>54,09</b>	<b>100,00</b>	<b>0,550</b>	<b>26,42</b>		



Anexo 4. Número de Curva de la microcuenca del río Malacatos

Uso del Suelo o Cobertura	Grupo hidrológico de suelo				Área		N
	A	B	C	D	Km <sup>2</sup>	%	
Área Poblada		72			0,284	0,005	0,378
			81		0,338	0,006	0,505
				86	3,320	0,061	5,279
Bosque Nativo		58			5,090	0,094	5,458
			71		15,310	0,283	20,097
				78	0,001	0,000	0,001
Cuerpo de agua			100		0,000	0,000	0,000
				100	0,031	0,001	0,058
Cultivo		77			0,079	0,001	0,112
			83		1,013	0,019	1,554
				87	0,007	0,000	0,012
Erial			72		0,016	0,000	0,021
				81	0,044	0,001	0,066
Infraestructura Antrópica		72			0,114	0,002	0,152
			81		0,316	0,006	0,472
Mosaico Agropecuario				86	0,001	0,000	0,001
		77			0,040	0,001	0,057
Páramo			83		0,409	0,008	0,627
			58		1,661	0,031	1,781
				71	3,617	0,067	4,747
Pastizal		77			2,728	0,050	3,884
			83		11,079	0,205	17,00
				87	0,064	0,001	0,104
Plantación Forestal		77			0,847	0,016	1,205
			83		4,077	0,075	6,256
				87	0,015	0,000	0,025
Vegetación Arbustiva		77			0,580	0,011	0,826
			83		1,645	0,030	2,524
				87	0,021	0,000	0,033
Vegetación Herbácea		77			0,384	0,007	0,547
			83		0,959	0,018	1,472
			<b>Total</b>	<b>54,090</b>	<b>1,000</b>	<b>73,470</b>	

Anexo 5. Estadística de aforos realizados en la microcuenca del río Malacatos

N	Nombre del río	Escala (H)	Caudal (Q)	H-Ho	Log (H-Ho)	Log (Q)
1,00	Río Malacatos	0,15	3,06	0,15	-0,82	0,49
2,00	Río Malacatos	0,11	1,95	0,11	-0,96	0,29
3,00	Río Malacatos	0,12	2,18	0,12	-0,92	0,34
4,00	Río Malacatos	0,27	7,54	0,27	-0,57	0,88
5,00	Río Malacatos	0,17	3,71	0,17	-0,77	0,57
6,00	Río Malacatos	0,30	8,85	0,30	-0,52	0,95
7,00	Río Malacatos	0,12	2,05	0,12	-0,92	0,31
8,00	Río Malacatos	0,16	3,28	0,16	-0,80	0,52
9,00	Río Malacatos	0,11	1,91	0,11	-0,96	0,28
10,00	Río Malacatos	0,22	5,50	0,22	-0,66	0,74
11,00	Río Malacatos	0,12	2,24	0,12	-0,92	0,35
12,00	Río Malacatos	0,12	2,16	0,12	-0,92	0,33
13,00	Río Malacatos	0,20	4,72	0,20	-0,70	0,67
14,00	Río Malacatos	0,11	1,65	0,11	-0,96	0,22
15,00	Río Malacatos	0,15	3,08	0,15	-0,82	0,49
16,00	Río Malacatos	0,32	9,78	0,32	-0,49	0,99
17,00	Río Malacatos	0,21	5,13	0,21	-0,68	0,71
18,00	Río Malacatos	0,27	7,43	0,27	-0,57	0,87
19,00	Río Malacatos	0,32	8,84	0,32	-0,49	0,95

**Ecuación**  $Q = K * (H - H_o)^b \rightarrow Q = 55,08 * (H - 0)^{1,53}$   
 $Q = 55,08 * (H)^{1,53}$

<b>Log (K)</b>	1,74
<b>K</b>	55,08
<b>n</b>	1,53
<b>Ho</b>	0
<b>R</b>	0,99

Anexo 6. Eventos de gran precipitación registrados en el periodo marzo - diciembre de 2022

Fecha	Nivel del agua (m)
05 – marzo – 2022	0,70
15 – marzo – 2022	1,20
25 – marzo – 2022	1,20*
17 – octubre – 2022	1,20*
11 – noviembre – 2022	1,20*
16 – noviembre – 2022	1,18+
30 – diciembre – 2022	0,99

\* Eventos que por arrastre de materiales sólidos como troncos y sedimentos dificultaron la toma de datos.

+ Eventos sin registro meteorológico.

*Anexo 7. Evidencia fotográfica de la medición de caudales en el punto de aforo de la microcuenca del río Malacatos.*



*Anexo 8. Evidencia fotográfica de las variaciones del nivel del agua en el punto de aforo de la microcuenca del río Malacatos*



*Anexo 9. Certificado de traducción del abstract*

Loja, 04 de Octubre de 2024

**CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN**

Yo, Nadine Alejandra Narváez Tapia, con número de cédula 1150753067 y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-2019-2144786.

**CERTIFICO:**

Qué he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de titulación denominado **“Análisis de máximas crecidas, para diferentes períodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del Río Zamora (hoya de Loja)”** de autoría de **Jhuliana del Rocío Maza Medina**, portadora de la cédula de identidad, número **1104589096**, egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



Firmado digitalmente  
por NADINE  
ALEJANDRA  
NARVAEZ TAPIA

**Lic. Nadine Alejandra Narváez Tapia**

**C.I: 1150753067**

**Registro del SENESCYT: 1008-2019-2144786**