UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

PROYECTO A REALIZAR PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA:

Caracterización geomorfológica e hidrológica de la microcuenca del río Zuñac, ubicada en el Centro de Investigación Posgrado y Conservación Amazónica, CIPCA, Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador.

AUTORES:

Bazurto Castro Adriana Marisol

Crespo Pico Michelle Estefanía

DIRECTOR:

Ricardo Vinicio Abril Saltos PhD

PASTAZA – ECUADOR

2020

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben **BAZURTO CASTRO ADRIANA MARISOL** con C.I. **1600866824 y CRESPO PICO MICHELLE ESTEFANÍA** con C:I **1804079414,** hacemos constar que somos autoras del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "**Caracterización geomorfológica e hidrológica de la microcuenca del río Zuñac, ubicada en el Centro de Investigación Posgrado y Conservación Amazónica, CIPCA, Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador**", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. **ABRIL SALTOS RICARDO VINICIO**. En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de septiembre del 2020.



Bazurto Castro Adriana Marisol

CI: 1600866824



Crespo Pico Michelle Estefanía

CI: 1804079414

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: ***"Caracterización geomorfológica e hidrológica de la microcuenca del río Zuñac, ubicada en el Centro de Investigación Posgrado y Conservación Amazónica, CIPCA, Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador***".



Msc. Edison Suntasig Negrete

Presidente del Tribunal



Dr. Darwin Sucoshañay

Miembro del tribunal



Msc. Patricio Naranjo

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI-PLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. C. Ricardo Vinicio Abril Saltos con CI:1803113321 certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Caracterización geomorfológica e hidrológica de la microcuenca del río Zuñac, ubicada en el Centro de Investigación Postgrado y Conservación, CIPCA, Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador" ha sido examinado a través del sistema antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 2 %.

En el cantón Pastaza, a los 27 días del mes de agosto del 2020.

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos

Director del Proyecto de Investigación

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios que siempre guía nuestro camino, aun cuando en ocasiones nuestra Fe tambalea.

Gracias a quien me tuvo mucho tiempo en su pancita, gracias mamita por darme la vida, cuidarme y celebrar mis logros como tuyos. Soy como soy, porque soy un pedacito de ti, con tus mismos virtudes y defectos, que tanto amo, porque me recuerdan que soy tan tuya, como tan mía tu eres. Gracias por ser esa mano amiga, que no importa donde este, ni la situación en la que se encuentre, porque has movido cielo y tierra por estar a mí lado cuando más lo he necesitado y no me alcanzará la vida para agradecértelo. Que la vida me permita escuchar tus traducciones perrunas muchisimos años más mi Maribelita y disfrutar del verde bonito de tus ojos "pispiretos" por la eternidad.

Gracias papito por haberme dado la vida y haberme criado con mucho amor siempre, gracias de parte de tu pechuguita, porque hoy soy así por ti también, por ser un papito muy noble y lindo, que me crió con amor y paciencia, que me apoya siempre, por eso y más, te amo con todo mi corazón.

Gracias mamita del cielo, mi Laurita, que tan orgullosa y festiva estarías en estos tiempos por celebrar mis logros, porque siempre que pudiste, estuviste a mi lado pendiente de mí, orgullosa de mí, como la mamita mía que fuiste. También gracias a ti… estoy aquí, por tu tiempo y dedicación, mil gracias al cielo mi bonita.

Gracias a mis abuelitos, Clau, hermanita, a mis tías, tíos amados Picachu y Crespo, primos queridos, gracias a todos ustedes que siempre que pueden están ahí para echarme una manito auxiliadora, gracias a mi querido Joel que ha sido otro héroe en mis peores momentos a lo largo de estos años. A las hermanas que hice en la universidad y que tanto agradezco al cielo por haberlas conocido, porque este sentimiento por ustedes lo llevo en mi corazón, Mercy, Jenny, Adri, Xio, Gaby. Al novio de mi amiga Jenny, Choco, y su familia, que siempre nos brindaron su casita y un platito de comida cuando más lo necesitamos. Todos ustedes han estado para mí, como yo estoy para ustedes, que Dios les recompense todo lo buenos que son conmigo.

Gracias profe Abril, porque durante toda mi etapa universitaria lo admiré y lo seguiré admirando, no solo como profesor, sino como persona, porque destaca entre el resto y todos quienes le conocemos somos conscientes de ello, mil gracias.

A todos ustedes, les deseo, que todo lo bueno de esta vida les suceda.

Michelle Estefanía Crespo Pico

DEDICATORIA

Dedico este logro a todos mis ángeles de cuatro patitas, los que me han acompañado en esta vida y los que me quedan por conocer, aquellos que sufren en la calle y que tan invisible son ante mucha gente, no puedo cambiar la vida de todos, pero seguro que cambiaré la vida muchos. Les dedicó esto, porque me han hecho crecer como persona, encontrar mi propósito en esta vida y luchar para alcanzar el sueño, del cual cada día estoy más cerca.

Michelle Estefanía Crespo Pico

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por todas las bendiciones que he recibido en el transcurrir de mi vida, porque siempre que tuve miedo me demostró que está junto a mí y que no es suerte todo lo bueno que me ha pasado, sino que son sus bendiciones.

Quiero agradecer profundamente a cada uno de los docentes por compartir conmigo sus valiosos conocimientos; especialmente al profe Abril por compartir sus experiencias, momentos de alegrías y cansancio, y su agüita de guayusa durante las horas de vinculación. Se ha ganado mi admiración tanto como profesor y como ser humano, gracias por la paciencia que siempre nos ha sabido brindar.

Gracias a esas personas que, sin ser parte de la familia con cada vivencia, son capaces de convertirse en ella y que llegan a ocupar un lugarcito importante en el corazón.

Adriana Marisol Bazurto Castro

DEDICATORIA

Dedico este proyecto:

En primer lugar, a Dios ya que nunca me ha abandonado y su gran amor ha estado conmigo para guiarme y fortalecerme en cada momento de mi vida.

A mi abuelita Idaura, quien desde el cielo sé que se siente orgullosa por este logro, el cual anheló tanto mientras estaba presente pero que no hubiera sido posible sin sus consejos, su motivación y su infinito amor.

A mi papá quien, con su paciencia, esfuerzo y sobre todo su amor me ha inculcado la responsabilidad y perseverancia que me permitieron alcanzar hoy un logro más en mi vida.

A mis queridos suegros por el apoyo y el cariño que me han brindado desde que Dios me ha permitido estar a su lado, lo cual hizo posible este sueño.

A mi esposo y a mis hijos Clarisse y Adriel por su amor, su comprensión, su paciencia y su apoyo incondicional durante este proceso, gracias por estar siempre a mi lado ya que ustedes son mi mayor motivación e inspiración para superarme.

Finalmente quiero dedicar este proyecto a toda mi familia ya que siempre han confiado en mí, en que puedo superarme y cumplir mis sueños, a cada uno de los miembros de mi familia que fueron partícipes de uno u otro modo en mi formación académica y que me apoyaron para que pudiera de alguna manera llegar hasta este punto de mi vida tan importante.

Adriana Marisol Bazurto Castro

RESUMEN

El presente trabajo se enmarca en la geomorfología e hidrología de cuencas. Su propósito fue determinar las características geomorfológicas e hidrológicas de la microcuenca del río Zuñac, ubicada en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), Arosemena Tola, Napo, Ecuador, con el fin de suplir la falta de conocimiento de la misma.

Usando metodologías de recopilación de información bibliográfica, medición de parámetros en campo durante el periodo abril 2019 – febrero 2020, aplicación de fórmulas matemáticas y el uso del programa informático para modelamiento HEC-HMS.

Los parámetros geomorfológicos reportan que la microcuenca se clasifica como pequeña, con un área de 14 km^2 y perímetro de 21 km, obtenidos del programa Arc Map, pendiente del 9% que corresponde a una zona montañosa, según Chow et al (2004). Su coeficiente de compacidad, kc 1,6, definen su forma como oval oblonga y determina un bajo riesgo de inundación, ya que los puntos de la microcuenca no son equidistantes al cauce principal, mismo que cuenta con una longitud de 6,9 km. Se determinó según Manning el gasto base para los meses monitoreados, siendo octubre el mes de mayor caudal y septiembre el de caudal más bajo. La metodología del Soil Conservation Service, SCS, arrojó que, por cada centímetro de lluvia, en la microcuenca se genera 58 m^3/s de caudal. El modelamiento de la cuenca permitió la proyección del caudal para diferentes periodos de retorno. Por lo que este trabajo se torna en una herramienta de conocimiento y aprovechamiento disponible a la sociedad.

Palabras clave: Geomorfología, Hidrología, CIPCA, microcuenca, Soil Conservation Service (SCS), caudal, infiltración, lluvia de diseño, HEC-HMS.

ABSTRACT

The present work is framed in the geomorphology and hydrology of basins. Its purpose was to determine the geomorphological and hydrological characteristics of the Zuñac river micro-basin, located in the Center for Research, Postgraduate and Conservation Amazon (CIPCA), Arosemena Tola, Napo, Ecuador, in order to make up for the lack of knowledge about it.

Using bibliographic methodologies to collect information, measurement of parameters in the field during the period April 2019 - February 2020, application of mathematical formulas and using of the HEC-HMS modeling software.

The geomorphological parameters report that, micro-basin is classified as small, in order to the area of 14 km2 and it perimeter of 21 km, obtained from the Arc Map program, slope of 9% corresponding to a mountainous area, according to Chow et al (2004). Its compactness coefficient, kc 1.6, defines its shape as oblong oval and determines a low risk of flooding, main channel, has a length of 6.9 km. The base flow for the monitored months was determined according to Manning methodologyg, with October being the month with the highest flow and September the lowest. The methodology of the Soil Conservation Service, SCS, showed that, for every centimeter of rain, 58 m3 / s of flow is generated in the micro-basin. The basin modeling available the flow projection for different return periods. So this work becomes a tool of knowledge and use available to society.

Keywords: Geomorphology, Hydrology, CIPCA, micro-basin, Soil Conservation Service (SCS), flow, infiltration, design rain, HEC-HMS.

CONTENIDO

CAPÍTULO I 1

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Formulación del problema 2

1.3 Objetivos 2

1.3.1 General 2

1.3.2 Específicos 2

1.4 Justificación 2

CAPÍTULO II 4

2 FUNDAMENTACION TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 4

2.1 Cuenca Hidrográfica 4

2.1.1 Componentes principales de la cuenca 4

2.1.2 Tipos de cuencas 5

2.2 Hidrología 5

2.2.1 Ciclo hidrológico 5

2.3 Geomorfología de la cuenca 7

2.3.1 Parámetros relativos a la forma 8

2.3.2 Parámetros relativos al relieve 8

2.3.3 Parámetros relativos al drenaje 9

2.3.4 Tipo de suelo 10

2.4 Características hidrológicas 11

2.4.1 Escorrentía superficial 11

2.4.2 Estimación lluvia-diseño 12

2.4.3 Programa de modelamiento HEC-HMS 14

CAPÍTULO III 15

3 MATERIALES Y MÉTODOS 15

3.1 Localización 15

3.2 Clima 15

3.3 Tipo de investigación 16

3.4 Método de investigación 16

3.5 Diseño de la investigación 16

3.5.1 Parámetros relativos a la forma 17

3.5.2 Parámetros relativos al relieve 17

3.5.3 Parámetros relativos al drenaje 18

3.5.4 Caudal 19

3.5.5 Periodo de retorno 21

3.5.6 Determinación de la lluvia del proyecto 21

3.5.7 Hidrograma del SCS 22

3.5.8 Medición de la velocidad de infiltración mediante el método de infiltrómetro de doble anillo 23

3.5.9 Recursos 23

CAPÍTULO IV 24

4 RESULTADOS 24

4.1 Determinación de caudal por el método de Manning 25

4.2 Establecimiento del caudal de avenida por el método del Hidrograma Unitario del United States Soil Conservation Service, SCS 28

4.3 Infiltración 29

4.3.1 Velocidad de infiltración 29

4.4 Cálculo del número de curva de la microcuenca 30

4.5 Diseño de la lluvia del proyecto 30

4.6 Cálculo de lluvia efectiva 32

4.7 Caudal punta calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno 33

4.8 Cálculo de caudal total en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno 34

4.9 Modelamiento HEC-HMS 46

4.9.1 Pluviograma e hidrograma del punto de monitoreo 47

4.9.2 Desembocadura 48

CAPÍTULO V 51

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 51

5.1 Conclusiones 51

5.2 Recomendaciones 52

6 Bibliografía 53

7 ANEXOS 58

ANEXO 1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 58

ANEXO 2 MODELO DE PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE GASTO BASE POR EL METEDO DE MANNING 59

ANEXO 3 TIPO DE SUELO SEGÚN SU TASA MINIMA DE INFILTRACIÓN 59

ANEXO 4 NANOGRAMA USADO PARA DETERMINAR LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA 60

ANEXO 5 TABLA UTILIZADA PARA DETERMINAR NÚMERO DE LA CURVA 61

ANEXO 6 LLUVIA DE DISEÑO 62

ANEXO 7 MODELO DE LOS RESULTADOS EMITIDOS POR EL PROGRAMA DE MODELAMIENTO HEC-HMS (SEPT., T=100 AÑOS, DESEMBOCADURA) 63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Clases de valores de compacidad* 8

Tabla 2. *Características de la microcuenca* 25

Tabla 3. *Tabla de valores extremos de datos de caudal monitoreados durante el periodo, abril 2019 - febrero 2020* 26

Tabla 4. *Parámetros utilizados en la metodología del SCS para establecer el caudal de avenida hasta el punto de monitoreo* 28

Tabla 5. *Parámetros utilizados en la metodología del SCS para establecer el caudal de avenida hasta la desembocadura* 29

Tabla 6. *Número de curva NC, de la microcuenca del río Zuñac* 30

Tabla 7. *Pérdidas máximas según NC para el cálculo de lluvia efectiva* 32

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del área de estudio 15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caudales del río Zuñac estimados por el método de Manning. 26

Figura 2. Perfil del cauce Zuñac - punto de monitoreo, entrada. 27

Figura 3. Perfil del cauce Zuñac - punto de monitoreo, salida. 27

Figura 4. Perfil del cauce Zuñac - desembocadura, entrada. 27

Figura 5. Perfil del cauce Zuñac – desembocadura, salida 27

Figura 6. Velocidad de infiltración 30

Figura 7. Curvas IDF para la estación meteorológica M007 31

Figura 8. Lluvia diseñada para diferentes periodos de retorno 31

Figura 9. Lluvia efectiva acumulada para diferentes periodos de retorno 32

Figura 10. Caudal punta calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno – punto de monitoreo..... 33

Figura 11. Caudal punta calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - desembocadura..... 34

Figura 12. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - abril 2019..... 35

Figura 13. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - desembocadura - abril 2019 35

Figura 14. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - mayo 2019 36

Figura 15. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - desembocadura - mayo 2019..... 36

Figura 16. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - junio 2019..... 37

Figura 17. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - junio 2019 37

Figura 18. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - julio 2019..... 38

Figura 19. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura- julio 2019 38

Figura 20. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - agosto 2019..... 39

Figura 21. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - agosto 2019 39

Figura 22. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - septiembre 2019 40

Figura 23. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - septiembre 2019..... 40

Figura 24. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - octubre 2019 41

Figura 25. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - octubre 2019..... 41

Figura 26. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - noviembre 2019..... 42

Figura 27. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - noviembre 2019 42

Figura 28. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - diciembre 2019 43

Figura 29. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - diciembre 2019..... 43

Figura 30. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - enero 2020 44

Figura 31. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - enero 2020..... 44

Figura 32. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - febrero 2020..... 45

Figura 33. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - febrero 2020 46

Figura 34. Pluviograma e hidrograma del punto de monitoreo - septiembre 47

Figura 35. Pluviograma e hidrograma del punto de monitoreo - octubre 48

Figura 36. Pluviograma e hidrograma de la desembocadura - septiembre 49

Figura 37. Pluviograma e hidrograma de la desembocadura - octubre..... 50

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica actúa como un colector que recoge los aportes hídricos de los drenajes existentes, mismos que confluyen en un punto en común. La lluvia es uno de estos aportes, la cual se convierte en escorrentía una vez que alcanza el suelo y viaja por la superficie, este caudal, es medido en unidad de volumen sobre tiempo. Varios factores influyen en la cantidad de escorrentía efectiva, ya que, si bien es cierto, y existen aportes hídricos, del mismo modo se tienen perdidas en el sistema, en forma de evapotranspiración o infiltración. Conocer las características geomorfológicas como relieve, estructura de suelo, tipo de vegetación, permiten modelar posibles respuestas ante eventos meteorológicos (Ramakrishna, 1997).

Considerando el crecimiento poblacional y la expansión territorial; realidades que aquejan la actualidad de la Amazonía de Ecuador, una región rica en diversidad, pluviosidad y cuerpos hídricos, y que el agua es un elemento indispensable que condiciona la vida, los asentamientos humanos yacen a las cercanías de estos cuerpos hídricos. Por tal motivo, los planes de ordenamiento territorial deben contemplar, análisis de estudios geomorfológicos e hidrológicos, pues los PDOTS son una herramienta estratégica que conduce a una sociedad organizada y libre en la medida de lo posible de riesgos y desastres, para lo que requiere de conocimientos técnicos preliminares en diversas áreas, entre ellas la hidrología y la geomorfología, que son los temas principales a los que dedicó esfuerzos el presente estudio (Mateu, s.f.)

La microcuenca en mención, es tributaria del río Anzu se ubica en el centro de investigación, postgrado y conservación amazónica (CIPCA), donde la geomorfología, además de los factores climáticos, es condicionante para determinar la escorrentía superficial de la cuenca.

1.1 Planteamiento del problema

Existe un desconocimiento de las características geomorfológicas e hidrológicas de la microcuenca del río Zuñac, mismo que desemboca en el río Anzu en este último existen asentamientos humanos aguas abajo.

La problemática radica en que debido al desconocimiento de las características de la microcuenca del río Zuñac, se ignora también la dinámica del cauce y en los efectos que este

puede tener sobre su entorno; ya que, hasta el momento no se ha realizado un estudio de las características geomorfológicas e hidrológicas de la microcuenca en mención, por lo que se ignora el comportamiento del río y las respuestas que este puede tener ante los eventos meteorológicos producidos en el lugar.

1.2 Formulación del problema

El desconocimiento de las condiciones geomorfológicas e hidrológicas de la microcuenca del río Zuñac, impide saber cuál será el comportamiento del mismo, ante eventos meteorológicos presentes en el lugar.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Caracterizar geomorfológica e hidrológicamente la microcuenca del río Zuñac, ubicada en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica – Arosemena Tola, Ecuador.

1.3.2 Específicos

- Delimitar el área, y determinar parámetros de forma, relieve y sistema de drenaje de la microcuenca del río Zuñac.
- Realizar una caracterización edafológica de la microcuenca y del caudal del río Zuñac, durante el periodo de tiempo comprendido entre los meses de abril de 2019 – febrero de 2020, para conocer su comportamiento.
- Realizar el modelamiento de la microcuenca con el programa HEC-HMS

1.4 Justificación

El agua es la base fundamental para que la vida sea posible en sus distintas formas. El ser humano desde sus inicios ha condicionado su lugar de asentamiento por el recurso hídrico. Pues del cuerpo hídrico más cercano obtiene el agua, que utiliza tanto para consumo humano, así como para ejecutar el conjunto de actividades que se lleva a cabo diariamente.

Es así, que surge la necesidad de estudiar la microcuenca del río Zuñac, pues este, se constituye como tributario del río Anzu, el cual posee asentamientos aguas abajo. Para ello es importante considerar que la red de drenaje de la cuenca del río Zuñac está bien alimentada,

dado que en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola se reportan datos de pluviosidad que oscilan entre los 3800 a 4500 mm anuales (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, 2014), convirtiéndose en excelentes aportes hídricos a las corrientes, sin embargo, al desconocerse las características geomorfológicas de la cuenca del río Zuñac, se desconoce también su comportamiento frente a las condiciones meteorológicas del lugar.

De ahí la importancia de caracterizar geomorfológicamente e hidrológicamente la microcuenca del río Zuñac. Lo que, en materia de riesgos y desastres, es un factor clave, para realizar un correcto ordenamiento territorial que permita disminuir la aparición de los mismos y proponer medidas correctivas en caso de ser necesario. Puesto que los caudales de avenida del río pueden tornarse en amenazas tanto para la población humana como para infraestructura civil.

Por lo que el presente trabajo busca suplir este vacío cognitivo, y aportar con un estudio que recopile una serie de datos, análisis y resultados de la microcuenca del río Zuñac, que a la vez se torne una herramienta, al alcance de la comunidad académica y social.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACION TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Cuenca Hidrográfica

Para llevar a cabo el estudio de los procesos que se producen dentro de la cuenca y el comportamiento de estos, condicionados por las características de la misma, es necesario comprender la base teórica que será descrita a continuación:

Se considera un elemento geográfico el cual es alimentado por precipitaciones y deshielo de cumbres montañosas que dan lugar a un cauce principal, formando ríos y lagos que se dirigen hacia una corriente específica para ser drenada en un único cuerpo de agua (Brieva, 2018).

Dentro del sistema que constituye la cuenca hidrográfica se encuentran los factores bióticos y abióticos, los cuales se interrelacionan entre sí; además la cuenca hidrográfica permite el desarrollo e interdependencia de diversos subsistemas como el económico, social, demográfico, etc. (Reyes, Ulises, & Carvajal, 2014).

2.1.1 Componentes principales de la cuenca

Según (Aguirre, 2007), los componentes de una cuenca son:

- **Divisoria o parte aguas:** Parte de la cuenca que la delimita hidrográficamente con referencia a otras cuencas cercanas.
- **Vertientes (Áreas de captación de la cuenca):** Parte de la cuenca encargada de atraer la mayor cantidad de agua para todo el sistema de la cuenca, dentro de ella se pueden encontrar masas de aguas con diversas características ya sea de tipo físico y químico.
- **Cauce:** Es el espacio por donde discurre la corriente de agua o la serie de puntos de la cota más baja de las secciones transversales. Los cauces pueden variar su condición, todo depende la aplicabilidad que tenga la cuenca, estos pueden ser temporales, permanentes o efímeros.
- **Valle:** Comprende el área entre la vertiente y el cauce, en cuyo fondo se desplaza una masa de agua.

- **Interflujo:** Desplazamiento rápido de las aguas de las precipitaciones hacia un cauce, por debajo de la superficie de un suelo profundo.

2.1.2 Tipos de cuencas

Según (Aguirre, 2007), los tipos de cuenca con respecto al destino de sus escurrimientos se clasifican en:

- Exorréicas: También se denominan abiertas y sus ríos principales desembocan en el océano es decir fuera del territorio.
- Endorréicas: también se denominan cerradas debido a que sus ríos desembocan en la parte interna es decir que no llegan al océano.
- Arréicas: Sus aguas en lugar de llegar de manera directa al mar se desaparecen ya sea por medio de la infiltración o la evaporación.

2.2 Hidrología

Según Martínez (2001), la hidrología es una ciencia que se encarga del estudio del recurso hídrico en el planeta Tierra desde su ocurrencia, almacenamiento hasta su circulación, de manera cualitativa y cuantitativa. Si bien es cierto en el planeta existe una demanda creciente del agua, debido al aumento poblacional. En cuanto a la distribución, aproximadamente el 96% de dicho recurso se encuentra disponible en el océano, seguidamente un gran porcentaje se encuentra almacenado en aguas subterráneas (2,4%) y en glaciares y nieves (1,4 %), por lo que el agua de lagos (0,0064%), embalses (0.00078%), Ríos (0,00014%) corresponden a un porcentaje mínimo de agua potable, disponible para el uso humano.

2.2.1 Ciclo hidrológico

El sol, es la fuente de energía que acciona el ciclo hidrológico, el cual es un ciclo cerrado que tiene lugar en la atmosfera y las zonas emergidas. La transferencia de agua entre las zonas de almacenamiento como son; la atmosfera, ríos, lagos, embalses, océanos acuíferos, el suelo, vegetación, nieve y hielo; se da gracias a procesos como la evaporación, evapotranspiración, precipitación, infiltración, el deshielo, la sublimación y el flujo entre acuíferos y masas de agua. Es dentro de la troposfera, zona más baja de la atmosfera, donde se desarrollan los fenómenos hidrológicos, como el viento, la lluvia, etc. Que son parte del ciclo hidrológico. Es importante mencionar que existe una porción de agua en la atmosfera (0,00085%), en forma de vapor, donde existe una relación directa con la temperatura, pues a mayor temperatura, mayor cantidad

de vapor de agua existe en la atmosfera, es por ello que, en las zonas tropicales, existe mayor humedad en el ambiente, con valores de hasta 25g/Kilogramo de aire seco, contrariamente con zonas árticas, donde el vapor de agua en el aire es prácticamente nulo (Martínez, 2001).

Dentro del ciclo hidrológico existen diferentes procesos que suceden de manera continua, los mismos se describen a continuación:

2.2.1.1 Procesos del ciclo

2.2.1.1.1 Precipitación

La misma está definida según Martínez (2001), como agua que cae o se deposita sobre la superficie terrestre. La precipitación se forma en la atmosfera por la condensación, con la ayuda de partículas, como polvo, que actúan como núcleo, al cual se adhieren microgotas, hasta lograr una gota del tamaño común de 2 – 3mm. La lluvia se forma por dos procesos; el de coalescencia, refiere que a medida que desciende las microgotas, alcanzan otras microgotas y al unirse, adquieren mayor volumen, lo que permite que tengan mayor velocidad de caída. El segundo proceso es el de cristales de hielo, el mismo se basa en la existencia de nubes frías con cristales que tienen gran capacidad de atracción del vapor de agua y de este modo permiten la formación de las gotas de lluvia.

Existen varios tipos de lluvia según su formación; las convectivas, que se forman de la evaporación de agua por la acción del sol, el aire húmedo se eleva debido a su temperatura, hasta enfriarse, momento en el cual se da un proceso de condensación y se produce la lluvia; las orográficas, que se dan en zonas montañosas, donde las masas de aire húmedo se elevan hasta condensarse y así producirse la lluvia; y finalmente las lluvias ciclónicas (Martínez, 2001).

2.2.1.1.2 Infiltración

Para que se produzca el proceso de infiltración; que es la introducción del agua superficial a las capas más internas de la tierra, por acción de la gravedad, conjuntamente con fuerzas capilares; existen factores que controlan o interfieren en este proceso, como la permeabilidad del suelo, estructura, cubierta vegetal, estado superficial del suelo, características del agua y lluvia (Martínez, 2001). El nivel de infiltración disminuye a medida que avanza el tiempo, por diferentes factores como la saturación del suelo principalmente. Para medir la velocidad de infiltración existen diferentes metodologías, sin embargo, en este proyecto se

utilizó la del infiltrómetro de doble anillo, debido a que es uno de los métodos más usuales a la hora de medir la infiltración del suelo.

Para este método se utilizan dos anillos concéntricos, ya sea de plástico o de metal, que se introducen en el suelo (uno dentro del otro), el diámetro debe ser en relación de 2, por ejemplo 50cm y 25cm, el de menor diámetro va en la parte interna y el de diámetro mayor en la parte externa, asegurándose de que el anillo interno esté en el centro del anillo externo y que ambos se encuentren introducidos a la misma profundidad (10cm) y al mismo tiempo para que queden al mismo nivel, así al verter el agua se evita que se drene por los lados; su altura va de entre los 40 y 50 cm. Luego se llena los dos anillos con agua de manera cuidadosa, primero se llena el anillo externo, que tiene como función que el flujo del anillo interno sea de manera vertical, luego se llena el anillo interno en el que es recomendable colocar un plástico para evitar el taponamiento de los poros y la desagregación del suelo con la caída del agua al momento en que se llena. Posteriormente se registra la hora en que comienza el proceso de medición y el nivel inicial de agua, con una regla o flexómetro se mide el descenso del agua en el anillo interno en intervalos de tiempo determinado, para ello se utiliza un cronómetro y una tabla para registrar los datos. A medida que el agua va descendiendo se debe volver a llenar los anillos hasta el punto inicial de llenado, en este paso debe quedar registrado el tiempo y el nivel de agua antes de iniciar con otra medición del descenso. El proceso continúa hasta que el descenso del agua sea constante en intervalos de tiempos iguales y dé la misma lectura por lo menos unas tres veces seguidas.

2.2.1.1.3 Escurrimiento superficial

Es el caudal restante que fluye por la superficie, luego de eliminar la cantidad del agua interceptada, a la cantidad de agua aportada por una precipitación a una cuenca (Breña & Jacobo, 2006).

2.3 Geomorfología de la cuenca

Es parte fundamental del estudio, conocer las características de la cuenca, es decir, sus parámetros geomorfológicos, ya que estos, permitirán conocer el volumen de agua que recibe la cuenca de una tormenta, ya que el escurrimiento efectivo a la salida de la cuenca, variará en dependencia de estos factores. Por ello se debe delimitar el área de la cuenca considerando los puntos más altos que aportan con escorrentía a la misma.

2.3.1 Parámetros relativos a la forma

2.3.1.1 Área de la cuenca

Según (Gaspari, y otros, 2012) es la superficie encerrada por la divisoria de aguas.

2.3.1.2 Perímetro de la cuenca

Se refiere al borde de la cuenca, el cual suele ser muy irregular y que es obtenido tras haber delimitado el área de la cuenca según (Villón Bejar, 2002)

2.3.1.3 Forma de la cuenca

2.3.1.3.1 Coeficiente de compacidad (índice de Gravelius)

Según Delgado & Gaspari (2010) el coeficiente de compacidad se refiere a la relación existente entre los perímetros de una cuenca y una circunferencia de área equivalente.

El índice usualmente usado para definir la forma de la cuenca es el índice de compacidad de Gravelius, siendo este $Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$, donde P, el perímetro de la cuenca y A, el área de la cuenca (Martínez, 2001). Si el valor obtenido es cercano a uno, la cuenca tendra una forma redondeada, cuanto mas alejado de uno el valor, mas alargada será la forma de la cuenca.

Tabla 1. *Clases de valores de compacidad*

Valores de Kc	Forma
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: INE (2004)

2.3.2 Parámetros relativos al relieve

El relieve influye en varios factores, generalmente cuanto mayor es la pendiente, mayor es la velocidad de circulación del agua, debido a las fuerzas gravitacionales, y menor el tiempo de concentración de la cuenca, éste último puede ser calculado por medio de fórmulas empíricas

y nos permitirá conocer el tiempo que tarde en efectuarse el aumento del caudal por acción de la lluvia en un punto determinado.

2.3.2.1 Pendiente de la cuenca

Es el promedio de la inclinación que presenta el terreno con relación a la horizontal, donde se encuentra ubicada la cuenca (Brieva, 2018).

Según Guerra & Gonzalez (2002), la pendiente de la cuenca es uno de los puntos más importantes al estudiar la caracterización de la cuenca, ya que tiene mucha relación con diferentes procesos que ocurren alrededor de la misma como por ejemplo la escorrentía superficial, infiltración, humedad que presenta el suelo y el aporte a las corrientes de aguas subterráneas, pues de la pendiente de la cuenca depende el tiempo en que se dé la escorrentía y la concentración de las precipitaciones por los canales de drenaje e infiere de manera muy directa sobre la dimensión de las crecidas.

2.3.3 Parámetros relativos al drenaje

2.3.3.1 Longitud del cauce principal

Según Gaspari y otros (2012), la longitud del cauce principal se refiere a la longitud del río desde el punto más distante de la cuenca hasta su desembocadura.

2.3.3.2 Pendiente del cauce principal

Es importante conocer la pendiente del cauce principal a al momento de estudiar un recurso hídrico, ya que determina el comportamiento y las características para su aprovechamiento.

Según Carvallo & Delgado (2013), se refiere al desnivel entre los puntos del cauce, más alto y más bajo; y este valor se divide por su longitud.

2.3.3.3 Razón de bifurcación (Rb)

Los autores Campo, Aldalur & Fernandez (2011), señalan que según (Strahler, 1964) la relación de bifurcación corresponde a la relación entre el número de segmentos de un orden y el número de segmentos de orden inmediatamente superior. La media o promedio de Rb de estos valores parciales se considera un valor representativo de la cuenca y se reconoce como un valor característico del sistema y de su torrencialidad.

2.3.3.4 Red de drenaje

Sistema natural de red, alimentado por la lluvia, que forma el conjunto de corrientes de una cuenca, donde confluyen unas corrientes en otras, de manera que se realiza el transporte de agua por acción de la gravedad (Gonzales de Matauco, 2004).

2.3.3.5 Densidad de corriente

La densidad de corrientes se refiere al número de corrientes existentes por unidad de área dentro de la cuenca según (Bateman, 2007).

2.3.3.6 Densidad de drenaje

Según Gaspari y otros (2012), la densidad de drenaje se refiere a la relación existente entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por una cuenca con respecto al área de la misma.

2.3.3.7 Tiempo de concentración

Según Campos Aranda (2010), el tiempo de concentración de una cuenca es definido como el tiempo que se demora el escurrimiento de una tormenta en viajar desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.

2.3.4 Tipo de suelo

El tipo de suelo puede clasificarse en concordancia con USDA, en los grupos hidrológicos A, B, C, D de manera práctica, basados en datos granulométricos, para lo que se debe conocer el tamaño de partículas del suelo, arcilla (inferior a 2 micras), limo (2-50 micras) y partículas gruesas (arenas de 50 micras a 2 mm), lo que nos permite conocer el rango de infiltración en cada tipo de suelo, haciendo uso de la clasificación de suelos según USDA, sintetizada en una figura triangular (Martínez, 2001, pág. 89).

2.3.4.1 Número de la curva

Debido a la complejidad del proceso de retención, resulta difícil evaluar la lluvia eficaz de la tormenta, por lo que es posible usar trabajos de la U.S Soil Conservation Service, que en función del tipo de vegetación y el nivel de infiltración, cuantifica las abstracciones totales, usando datos de P: precipitación total, PE: exceso de precipitación (lo que produce escorrentía),

F: retención existente, y S: retención potencial máxima. Para hallar esta última se usa la fórmula del número de la curva, $CN = \frac{1000}{10+S}$, donde si CN=100, entonces S=0. Por otro lado, si CN=1 casi toda la lluvia se infiltra o es retenida en la cuenca (Martínez, 2001). Para establecer el número de la curva, se necesita conocer parámetros como; el tipo de suelo (bosque, pastizal, etc.), tratamiento agrícola, condiciones hidrológicas; pobres (menos del 50% de cobertura), medias (entre el 50% y 75%) y buenas (más del 75%) y antecedentes hidrológicos, y adaptarlos dentro de los rangos establecidos en tablas para mejor y más practico reconocimiento del número de curva, que se encuentra en S.C.S Hidrology. Sección 4. National Engineering Handbook, 1972 (Martínez, 2001, pág. 90).

2.4 Características hidrológicas

2.4.1 Escorrentía superficial

La escorrentía o escurrimiento superficial es la cantidad de agua lluvia que no se infiltra, que transita sobre la superficie de la Tierra y luego se deposita en cauces para posteriormente salir de la cuenca, también conocido como flujo rápido (Hidalgo, 2017).

2.4.1.1 Gasto base

Se considera gasto base al flujo mínimo que presenta un curso de agua o el escurrimiento que se da a lo largo de un determinado tiempo sin precipitaciones y que se dirige a un punto de salida de la cuenca de desembocadura. Para calcularlo puede representarse como una constante mensual donde se tiene en consideración parámetros como el ancho y la profundidad del río, perímetro y área de mojado, pendiente, radio hidráulico, velocidad y coeficiente de rugosidad de Manning (Villarroel & Caicedo, 2018).

2.4.1.2 Caudal

Se define como el volumen o la cantidad de agua que fluye por la sección transversal del cauce por unidad de tiempo (Tsamaraint, 2012).

Las unidades que corresponden al cálculo de caudal se expresan en metros cúbicos por segundo m3/s o litros por segundo (l/s) (Arboleda, Obando, & Yerrén, 2018).

2.4.1.3 Estimación de caudal (Manning)

Para la estimación de caudal se utiliza la metodología Manning que es un índice que permite deteminar la resistencia que presenta una corriente de agua dentro de un canal (Araya, González, & Jiménez, 2018).

Según Valle & Vargas (2018) de acuerdo con (Flores, 1999) este método depende de la relación que existe entre las características geométricas e hidráulicas del cauce constituidas mediante una fórmula matemática.

2.4.1.4 Caudal de avenida (caudal punta)

Como plantea Yánez & Tapia (2017), de acuerdo a Robredo (2014), el caudal de avenida se refiere al aumento de los niveles de agua en cuanto a valores particulares, sujeto a un incremento del caudal por precipitaciones elevadas y que la cuenca no es capaz de confrontar totalmente. Se debe contar con diversos datos sobre las precipitaciones a la hora de calcular la caudal punta o de avenida. Es fundamental dicho cálculo ya que permite dimensionar estudios respecto a las inundaciones.

2.4.1.5 Velocidad de caudal

Según Tapia, Molina, Pérez, & Torres, (2012) la velocidad de caudal es la distancia en metros que recorre una corriente de agua en una unidad de tiempo.

2.4.2 Estimación lluvia-diseño

2.4.2.1 Análisis de precipitación

La lluvia es un importante contribuyente para los cuerpos hídricos, sin embargo, el volumen efectivo de lluvia, es aquel del cual se han descontado las pérdidas de infiltración, evapotranspiración, etc. La cobertura vegetal actúa en la retención de la lluvia, pues en lugares muy vegetados la retención anual de lluvia por la cubierta vegetal puede alcanzar valor entre el 20 y 25% (Martínez, 2001). Cabe mencionar que estos valores son dependientes de las características de la vegetación, el tipo de lluvia, etc.

2.4.2.2 Periodo de retorno

Es la periodicidad con la que ocurre un acontecimiento. El nivel de la dimensión de un fenómeno intenso esta conexo de forma contrapuesta con su periodo de ocurrencia, las lluvias

o caudales más fuertes se presentan con una frecuencia mínima de las módicas o débiles (Gutiérrez, y otros, 2010).

2.4.2.3 Tiempo de punta

Se denomina tiempo en punta al tiempo que trasciende a partir del inicio hasta el momento en que se genera el máximo caudal. Los trayectos del hidrograma, alcanzados durante el tiempo de base, se reconocen como crecida o a su vez de decrecida, dependiendo de que los caudales incrementen o reduzcan con el tiempo (Valle & Vargas, 2018)

2.4.2.4 Hidrograma

Según Illanes & Paucar (2019) señalan que según Hernández, (2016) un hidrograma de diseño representa el avance de un escurrimiento a través de una corriente, además se puede analizar las variaciones de masas de agua durante un determinado tiempo, es primordial la elaboración de un hidrograma para una duración específica y diversos periodos de retorno, además es imprescindible para el diseño de obras hidráulicas de control de ríos.

Es decir, son gráficos que muestran la variación del caudal en un punto monitoreado durante un periodo de tiempo, el cual consta de partes como; el caudal base, que es aquel caudal normal constante sin efectos de la lluvia. La curva de concentración, que es la rama ascendente en el hidrograma, está dada en función de la intensidad y distribución de la lluvia, así como de las características de la cuenca, las condiciones iniciales de la misma, influyen directamente en la curva de concentración (Martínez, 2001), otra parte del hidrograma es la punta del mismo, que denota el caudal máximo, y finalmente la curva de bajada.

2.4.2.5 Hidrograma unitario sintético SCS

Este tipo de hidrograma es usado cuando existe escaso conocimiento de la cuenca. Su estudio es basado en cuencas y provee una forma de hidrograma unitario (Martínez, 2001).

2.4.2.6 Curvas IDF

La lluvia presenta variabilidad en espacio y tiempo, sin embargo, existen métodos pluviométricos que nos permiten analizar la precipitación, para ello es importante considerar algunos parámetros básicos como; la duración, la intensidad, frecuencia y volumen total de precipitación.

Según Martínez (2001), el método de curvas intensidad-duración de Yarnell y Hathway permite calcular las aportaciones de agua en pequeñas cuencas y cuencas urbanas, para las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia), es importante, además, considerar la frecuencia de ocurrencia con el fin de evaluar riesgos.

2.4.3 Programa de modelamiento HEC-HMS

El programa de modelamiento HEC–HMS es un piloto de parámetros agregados con distribución espacial. Mediante su operación se logra derivar la cuenca en microcuencas, tomando como referencia los tributarios del flujo principal. Posteriormente proceden a agruparse por áreas lo más posiblemente semejantes en la vegetación, uso de suelo, grupo de suelo y situación hidrológica. Permite representar la evolución de las precipitaciones históricas en gasto a través de una técnica que relaciona diversos procesos hidrológicos. Contempla tres modelos primordiales que se distinguen como la cuenca, precipitación y control, los mismos que antes de comenzar a realizar la simulación se deben encontrar totalmente definidos. Existen cinco bases de información que deben proporcionarse a la hora de operar el programa de modelamiento HEC–HMS como el antecedente de las precipitaciones en el tiempo o de diseño, particularidades del suelo, morfometría de las microcuencas, datos hidrológicos acerca del proceso de transformación de lluvia en escurrimiento, información hidráulica de los intervalos de conducto y de las capacidades de las presas (Miranda, Ibáñez, Valdez, & Hernández, 2008)

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización



Ilustración 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaborado por autores

La microcuenca del rio Zuñac se encuentra ubicada en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, perteneciente a la provincia de Napo, cuenta con 502 Km^2, siendo el cantón más pequeño de la misma. Se encuentra a una altitud de 500 msnm (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, 2014)

3.2 Clima

Su clima se ubica entre los rangos de templado y húmedo a tropical lluvioso, con un 90% de humedad, su temperatura oscila entre los 22 y 25 °C. Las lluvias se producen a lo largo de todo el año, con un promedio de 3800 a 4500mm anuales. Y se presentan con mayor intensidad entre los meses de enero a julio, desatando crecidas y desbordes de sus ríos. En los meses de agosto y de octubre a noviembre, las precipitaciones descienden con valores de 230 - 250 mm diarios. El balance hídrico resulta generalmente positivo todo el año. El área cantonal de Carlos Julio Arosemena Tola corresponde a la formación ecológica bosque muy húmedo

Sub tropical (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, 2014).

3.3 Tipo de investigación

Descriptiva, analítica.

3.4 Método de investigación

El presente trabajo se desarrolló con data secundaria con datos tomados previo a la emergencia sanitaria por COVID 19 que atraviesa el mundo y que limita las posibilidades del investigador.

Se realizó mediante recopilación de información bibliográfica, medición de parámetros en campo (realizados durante abril 2019 – febrero 2020), aplicación de fórmulas matemáticas y el uso de programas informáticos para modelamiento.

3.5 Diseño de la investigación

En primer lugar, se identificó la zona de estudio, a continuación, se llevó a cabo la recopilación bibliográfica sobre los temas referentes a hidrología y geomorfología. Así como la revisión de fotografías satelitales de Google Earth pro, imágenes TIF descargadas de Earth explorer, para tener un conocimiento preliminar del estado actual de la zona de estudio.

En el programa Arc Map 10,5 se determinó el área y perímetro de la microcuenca con la aplicación Hidrology y se analizó la información con respecto a la red de drenaje de la microcuenca. Para adquirir información general del lugar se realizó la revisión del PDOT de Arosemena Tola.

Para la obtención de datos climatológicos, de precipitación, se trabajó con el informe "Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación" publicado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, en el año 2015.

Los fenómenos que ocurren en esta microcuenca fueron analizados a través de fórmulas y modelos matemáticos conjuntamente con la recopilación de datos en campo. Donde se modeló el comportamiento real de la microcuenca.

3.5.1 Parámetros relativos a la forma

Según Martínez (2001), para determinar el Coeficiente de compacidad se utiliza la siguiente formula:

$$Kc = (0.28 * P)/(\sqrt{A}) \quad (1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (Km)

3.5.2 Parámetros relativos al relieve

Según Carvallo & Delgado (2013) la fórmula para calcular la pendiente del cauce es la siguiente:

$$Pm = \frac{\Delta h}{L} * 100 \quad (2)$$

Donde:

Pm: Pendiente de la media del cauce

Δh: Diferencia de nivel de una sección

L: Longitud de la sección

3.5.3 Parámetros relativos al drenaje

Para realizar el cálculo de relación de bifurcación se emplea la siguiente fórmula (Campo, Aldalur, & Fernandez, 2011):

$$Rb = \frac{No}{Nos} \tag{3}$$

Donde:

Rb: Relación de bifurcación

No: Número segmentos de un orden

Nos: Número de segmentos de un orden inmediatamente superior

Según (Bateman, 2007), la densidad de corriente se puede calcular por la fórmula:

$$Ds = \frac{Ns}{A} \tag{4}$$

Donde:

Ds: Densidad de corriente

Ns: Número de corrientes perennes o intermitentes

Ls: Longitud total de las corrientes

Según (Bateman, 2007), la densidad de drenaje se puede calcular por la fórmula:

$$Dd = \frac{Ls}{A} \tag{5}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje

Ls: Longitud total de las corrientes

Ls: Longitud total de las corrientes

Según (Campos Aranda, 2010), la fórmula que se emplea para el cálculo del tiempo de concentración según el método de Kirpich es:

$$Tc = (0.06628 * L)^{0.77} / S^{0.385} \quad (6)$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hrs)

L: Longitud del canal (Km)

S: Pendiente

3.5.4 Caudal

Según (Ortega, 2012) el método de área-velocidad se realiza a través de la determinación del área de una sección transversal del flujo de agua y la velocidad que presenta el agua a través de ésta. El gasto o caudal se representa como un producto del área transversal de la corriente y su velocidad promedio, como se aprecia por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = A * v \quad (7)$$

Donde:

Q: Gasto o caudal de la corriente, m3/s

A: Área de la sección transversal de la corriente, m2

v: Velocidad media de la corriente, m/s

3.5.4.1 Velocidad

Según (Hudson, 1997) para la estimacion de caudal empleando el método de Manning se utiliza la fórmula siguiente:

$$v = \frac{1}{n} * (Rh)^{2/3} * S^{1/2} \quad (8)$$

Donde:

v: Velocidad (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Maning

Rh: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente media del canal

Para establecer el coeficiente de rugosidad, se utilizó el diámetro de las piedras o partículas que cubren por lo menos el 50% del lecho del río y en las cuales se aplicó la ecuación de Bray (Abril, 2019).

3.5.4.2 Radio hidráulico

Según Martínez (2001), la fórmula para determinar el radio hidráulico es la siguiente:

$$Rh = \frac{A}{P} \quad (9)$$

Donde:

Rh: Radio hidráulico

A: Área de la cuenca

P: Perímetro de la cuenca

3.5.5 Periodo de retorno

Según Martínez (2001), el periodo de retorno se determina por la siguiente fórmula.

$$T = \frac{1}{p} \tag{10}$$

Donde:

T: Periodo de retorno

P: La probabilidad de que una magnitud (de caudal o lluvia) exceda un valor dado.

3.5.6 Determinación de la lluvia del proyecto

3.5.6.1 Construcción de curvas IDF

Para realizar el análisis de la lluvia de proyecto, se utilizaron las curvas IDF presentadas en el informe de "Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación" publicado por el INAMHI, en el año 2015.

3.5.6.2 Determinación del hietograma

Teniendo en cuenta la curva del periodo de retorno con el que se calcula el hietograma, se divide la duración del hietograma en partes iguales (n). Calcular la intensidad correspondiente a cada uno de los tiempos. Obteniendo como resultado la intensidad para cada hora (Martínez, 2001).

$$\begin{aligned} H_1 &= I_1 \\ H_2 &= 2I_2 - H_1 \\ H_3 &= 3I_3 - H_1 - H_2 \\ H_n &= nI_n - H_{n-1} - H_{n-2} - H_2 - H_1 \end{aligned} \tag{11}$$

3.5.7 Hidrograma del SCS

Para diseñar los modelos de lluvia y escurrimiento se trabajó con el hidrograma SCS. Se utilizó la fórmula del tiempo punta, que se muestra a continuación, donde se requiere la duración de lluvia, expuesta abajo.

$$t_p = \frac{D}{2} + t_r \tag{12}$$

$$D = 0{,}133 t_c \tag{13}$$

Donde:

T_p: Tiempo de punta en horas

D: Duración de la lluvia en horas

t_r: Tiempo de retardo (t_r=0,6*t_c)

t_c: Tiempo de concentración

Para el cálculo de caudal punta por el método del SCS, según Martínez (2001), el caudal tiene la expresión:

$$Q_p = (2{,}08 * A)/t_p \tag{14}$$

Donde:

Q_p: Caudal en m^3/s que produce una lluvia neta de 1 cm

t_p: Tiempo de punta en horas

A: Área en Km^2

3.5.8 Medición de la velocidad de infiltración mediante el método de infiltrómetro de doble anillo

Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizó el método de doble anillo (Weber, 2015), y se consideró los datos de textura del suelo establecidos por Villacís y Tapuy (2020).

Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar los cálculos mediante las siguientes fórmulas para la taza de infiltración de acuerdo al modelo de Horton según Weber (2014):

$$f(t) = f_b + (f_0 - f_b)e^{-kt} \quad (15)$$

Donde:

f_b = Tasa base de infiltración (capacidad mínima de infiltración)

f_0 = Tasa inicial de infiltración

k = Coeficiente de decrecimiento de la capidad de infiltración

t = Tiempo en horas

3.5.9 Recursos

- Computador
- GPS
- Libreta de campo
- Lápiz
- Botas
- Flexómetro
- Cinta métrica

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

Los datos presentados a continuación fueron obtenidos del programa ARC GIS, donde se identificaron las curvas de nivel para el sector.

El área y perímetro de la microcuenca del río Zuñac reportan valores de 14 km^2 y 21 km respectivamente **(VER TABLA 2).** Lo que la define como una cuenca de tamaño pequeño. Según Chow, Maidment, & Mays (1994), una cuenca es pequeña cuando se encuentra entre los 4 a 130 km^2, pudiéndose extender hasta los 250 km^2, la subjetividad del límite de tamaño de una cuenca se debe a la variabilidad natural de las pendientes y coberturas vegetales (Aranda, 2010).

La longitud del cauce principal es de 6,9km, lo que se interpreta como un curso largo. La cota máxima de la microcuenca se halla a los 800msnm y la mínima a los 525msnm. Se determinó una pendiente moderada según Ibal (2009), del 9%, lo que indica que el área de la microcuenca corresponde a una zona montañosa según Chow et al. (1994).

Otros parámetros geomorfológicos de la microcuenca como lo es el coeficiente de compacidad Kc, dio como resultado 1,6, lo que denota que la forma de la cuenca es de oval oblonga a rectangular oblonga, según Instituto Nacional de Ecología (2004), por lo que el riesgo de inundación es bajo ante la presencia de un fenómeno de lluvia, debido a que no todos los puntos de la cuenca son equidistantes al cauce principal (como ocurre en cuencas esféricas, con valores de Kc cercanos a 1) y por tanto la escorrentía puede fluir gradualmente (Flores & Flores, 2016).

El tiempo de concentración de la microcuenca reportó un valor de 0,34 horas (20,4 minutos) hasta el punto de monitoreo y 0,75 horas hasta la desembocadura, lo que quiere decir que, en caso de presentarse un fenómeno de lluvia en la parte alta de la cuenca, con el consiguiente incremento en el caudal, éste tardará 45 minutos en reflejarse en la parte baja de la cuenca.

Tabla 2. *Características de la microcuenca*

Características de la cuenca	UNIDADES		
	Km	**M**	**Otras**
Área (km^2)			14
Perímetro	21		
Longitud del cauce principal	6,9		
Distancia lineal		3252	
Altitud de la naciente		800	
Altitud de la desembocadura		525	
Diferencia de altura		325	
Pendiente (%)			9
Tiempo de concentración (horas)			0,75
Coeficiente de compacidad			1,6

Fuente: Elaborado por autores

4.1 Determinación de caudal por el método de Manning

Para la determinación del gasto base en el río Zuñac, se consideró dos puntos. El primer punto al que llamaremos, punto de monitoreo a los 625 msnm y el segundo punto, en la desembocadura a los 525 msnm.

La pendiente en el punto de monitoreo fue del 2,8% y en la desembocadura de 4%. Para el coeficiente de rugosidad de Manning se tomó el valor de 0,03, en función de las características del canal.

El caudal promedio calculado para el punto de monitoreo y la desembocadura reportaron valores de 0,93 m3/s y 2,11 m3/s respectivamente. El mes con menor caudal fue septiembre con 0,20 m3/s en el punto de monitoreo y 0,49 m3/s en la desembocadura. El de mayor caudal fue octubre con valores de 3,16 m3/s para el punto de monitoreo y 6,74 m3/s para la desembocadura **(VER TABLA 3).**

A continuación, se muestran valores mínimos, máximos y promedio obtenidos de los cálculos realizados para determinar el caudal por el método de Manning, mensualmente desde abril 2019 hasta febrero 2020.

Tabla 3. *Tabla de valores extremos de datos de caudal monitoreados durante el periodo, abril 2019 - febrero 2020*

DATOS EXTREMOS DE GASTO BASE (m3/s)			
DESCRIPCIÓN	**MES**	**PUNTO DE MONITOREO**	**DESEMBOCADURA**
Mínimo	septiembre	**0,20**	**0,49**
Máximo	octubre	**3,16**	**6,74**
Promedio de caudal abril 2019 - febrero 2020		**0,93**	**2,11**

Fuente: Elaborado por autores

En el siguiente gráfico se muestran los caudales obtenidos a través del método de Manning para cada mes durante el periodo abril 2019 – febrero 2020. El caudal en la desembocadura es mayor con respecto al punto de monitoreo debido a que existen varios aportes fluviales a lo largo del río.

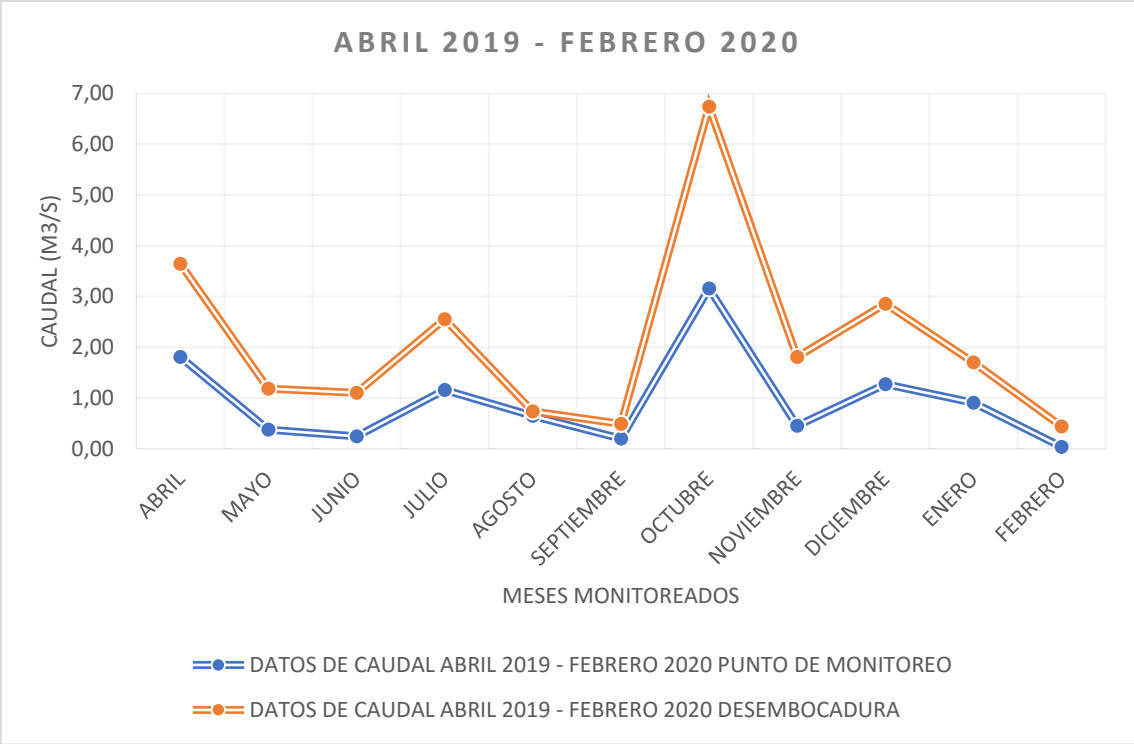


Figura 1. Caudales del río Zuñac estimados por el método de Manning.

Fuente: Elaborado por autores

En las ilustraciones que se muestran a continuación, se muestra el perfil del cauce con los datos de profundidad en metros, tomados en el mes de septiembre de 2019.

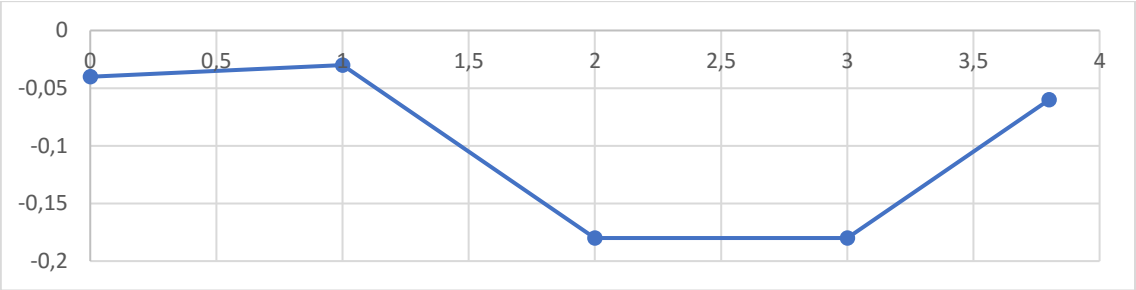


Figura 2. Perfil del cauce Zuñac - punto de monitoreo, entrada.

Fuente: Elaborado por autores

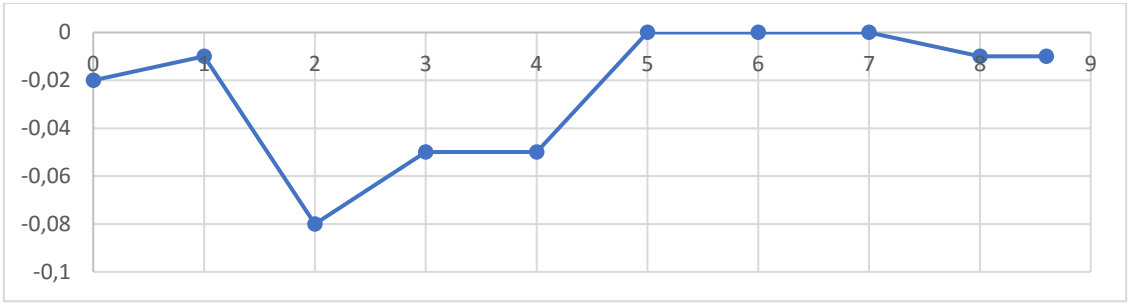


Figura 3. Perfil del cauce Zuñac - punto de monitoreo, salida.

Fuente: Elaborado por autores

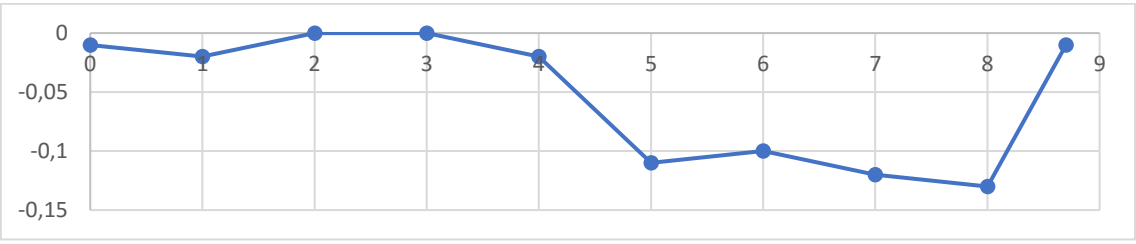


Figura 4. Perfil del cauce Zuñac - desembocadura, entrada.

Fuente: Elaborado por autores

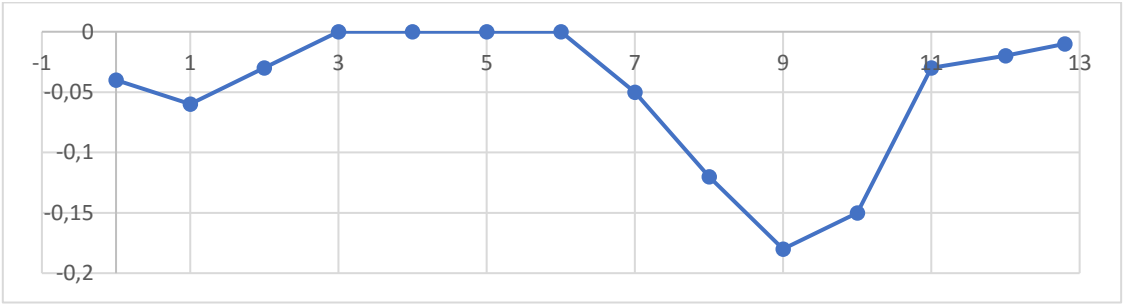


Figura 5. Perfil del cauce Zuñac – desembocadura, salida

Fuente: Elaborado por autores

4.2 Establecimiento del caudal de avenida por el método del Hidrograma Unitario del United States Soil Conservation Service, SCS.

En la microcuenca del río Zuñac, se generan 37,05 m^3/s hasta el punto de monitoreo y 58,15 m^3/s de caudal hasta la desembocadura por cada centímetro de lluvia **(VER TABLAS 4 Y 5),** según la metodología del Hidrograma del SCS, usada para cuencas de las cuales se tiene poco conocimiento (Martínez, 2001). A continuación, se muestran los parámetros utilizados para el modelamiento del hidrograma SCS.

Tabla 4. *Parámetros utilizados en la metodología del SCS para establecer el caudal de avenida hasta el punto de monitoreo*

HASTA EL PUNTO DE MONITOREO			
Parámetro	**Símbolo**	**Unidad**	
Área	A	km^2	4
Longitud del cauce	Lc	km	2,45
Pendiente	S		0,09
Cota máxima		m	800
cota mínima		m	625
Distancia lineal		m	1990
Tiempo de concentración	Tc	horas	0,34
Duración de lluvia efectiva	D		0,04
Tiempo de retardo	Tr		0,20
Tiempo punta	Tp	horas	0,22
Caudal punta	Qp	m^3/s	37,05

Fuente: Elaborado por autores

Tabla 5. *Parámetros utilizados en la metodología del SCS para establecer el caudal de avenida hasta la desembocadura*

HASTA DESEMBOCADURA			
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Área	A	km^2	14
Longitud del cauce	Lc	km	6,9
Pendiente	S		0,09
Cota máxima		m	800
cota mínima		m	525
Distancia lineal		m	3150
Tiempo de concentración	Tc	horas	0,75
Duración de lluvia efectiva	D		0,10
Tiempo de retardo	Tr		0,45
Tiempo punta	Tp	horas	0,50
Caudal punta	Qp	m^3/s	58,15

Fuente: Elaborado por autores

4.3 Infiltración

4.3.1 Velocidad de infiltración

En la prueba de infiltración tomada en el punto de monitoreo del río Zuñac se puede observar según el gráfico como la velocidad de infiltración va disminuyendo gradualmente en función del tiempo, mientras que la infiltración acumulada va aumentando **(VER FIG. 6).**

La velocidad de infiltración en el primer minuto presenta un valor de 0,6cm/min y a medida que el tiempo transcurre a los 60 minutos desciende a un valor de 0,2cm/min; para la infiltración acumulada en el minuto 1 presenta un valor de 0,6 y en el minuto 60 un valor de 12,5cm.

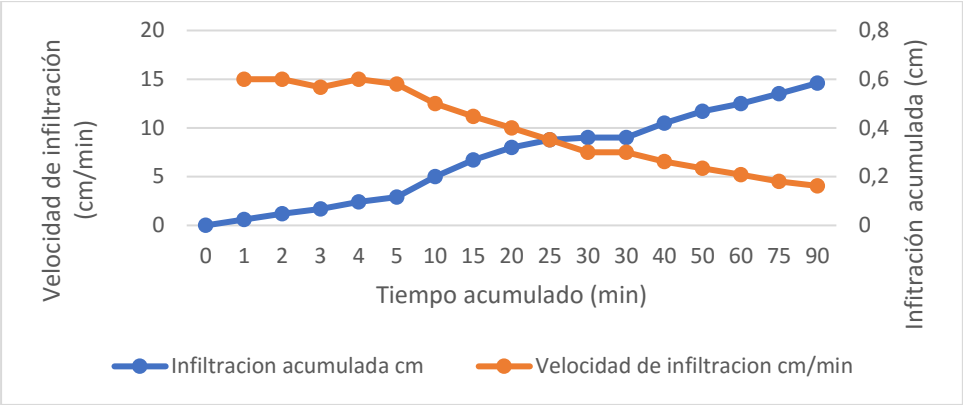


Figura 6. Velocidad de infiltración

Fuente: Elaborado por autores

4.4 Cálculo del número de curva de la microcuenca

Para establecer el número de curva de la microcuenca del río Zuñac, se determinó previamente el tipo de suelo, tipo de vegetación y la condición hidrológica. Los parámetros utilizados fueron: los datos de lluvia de los días previos a realizar las pruebas de infiltración, que dieron como resultado un coeficiente de 1,3mm, que corresponde a una condición de humedad II (normal), el tipo de suelo corresponde al grupo A, la condición hidrológica del suelo dio como resultado III (regular). Lo que arrojó como resultado un número de curva NC 36 **(VER TABLA 6)** (Martínez de Azagra, Mongil, & Del Río, 2003).

Tabla 6. *Número de curva NC, de la microcuenca del río Zuñac*

Menor tasa de infiltración	**5 días antes de infiltración**	**Tipo de suelo**	**Condición hidrológica del suelo**	**Numero de curva**
97,3	1,3	A	III Regular	36

Fuente: Elaborado por autores

4.5 Diseño de la lluvia del proyecto

El cálculo de intensidades máximas de precipitación para la lluvia de diseño fue realizado en base a curvas IDF, obtenidas del manual de determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación del INAMHI, publicado en el año 2015.

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R^2
CÓDIGO	NOMBRE				
M0070	TENA HDA. CHAUPISHUNGO	5 <20	$i = 116.3259 * T^{0.1966} * t^{-0.1415}$	0.9821	0.9646
		20<60	$i = 389.3503 * T^{0.1935} * t^{-0.5444}$	0.9928	0.9857
		60<1440	$i = 992.6468 * T^{0.1981} * t^{-0.7021}$	0.9973	0.9947

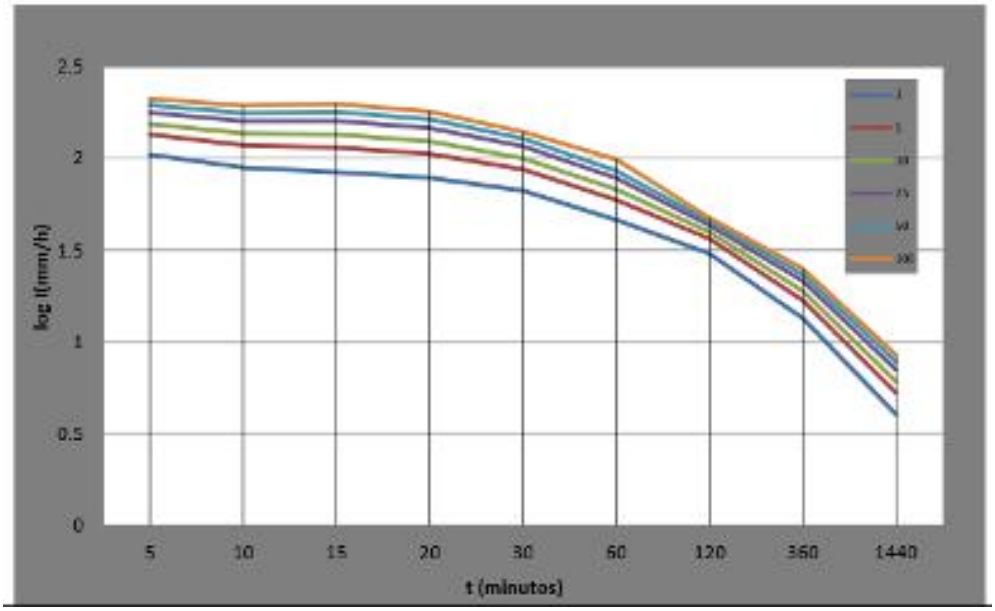


Figura 7. Curvas IDF para la estación meteorológica M007

Fuente: INAMHI, 2015

El siguiente gráfico muestra la distribución de la precipitación diseñada para el presente proyecto.

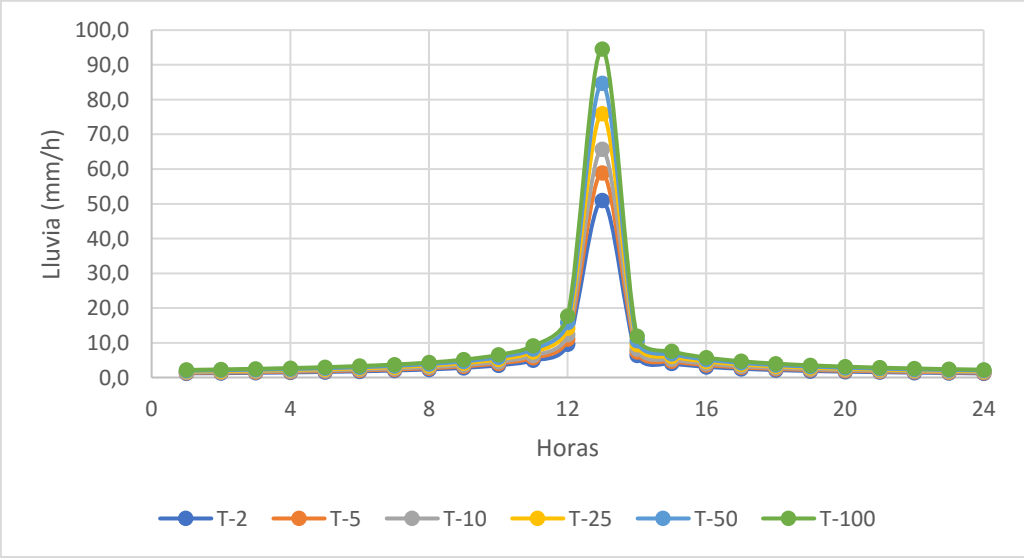


Figura 8. Lluvia diseñada para diferentes periodos de retorno

Fuente: Elaborado por autores

4.6 Cálculo de lluvia efectiva

Luego de diseñar la lluvia del proyecto y calcular el número de curva, en base al tipo de suelo grupo A, tomando como parámetros, una condición II de humedad; bosque, como tipo de vegetación, y condición hidrológica regular (III). Se obtuvo como resultado NC 36. Valor considerado para determinar las pérdidas de lluvia y obtener los valores de lluvia efectiva (Velazco, s.f.).

Tabla 7. *Pérdidas máximas según NC para el cálculo de lluvia efectiva*

NUMERO DE LA CURVA (NC)	**36**
Pérdidas máximas - S (mm)	451,5555556
0,2S	90,3111111
0,8S	361,2444444

Fuente: Elaborado por autores

Se determinó según el número de curva que, la capacidad de infiltración de suelo, permite que la lluvia se infiltre en las primeras 12 horas de precipitación hasta que el suelo se satura, a partir de ese momento la lluvia comienza a generar escorrentía lo que se conoce como lluvia efectiva.

La siguiente ilustración muestra la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno.

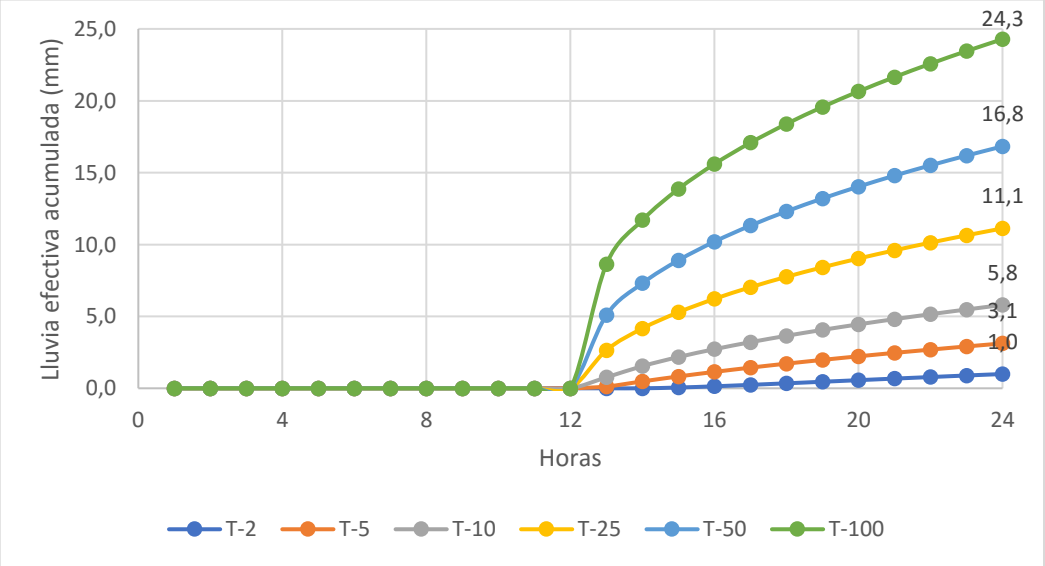


Figura 9. Lluvia efectiva acumulada para diferentes periodos de retorno

Fuente: Elaborado por autores

4.7 Caudal punta calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno

Luego de calcular el caudal punta que genera cada centímetro de lluvia dentro de la microcuenca **(VER TABLA 4 Y 5),** según el método del SCS y posteriormente realizar el diseño de lluvia del proyecto que permite calcular la lluvia efectiva en base al número de curva para determinar las pérdidas **(VER TABLA 6 Y 7).** Se llevó a cabo el cálculo de caudal punta considerando la lluvia efectiva.

Se reportaron valores de 90 m^3/s de caudal punta generados por la lluvia efectiva hasta el punto de monitoreo y de 141,2 m^3/s hasta la desembocadura, ambos resultados para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 10 Y 11).**

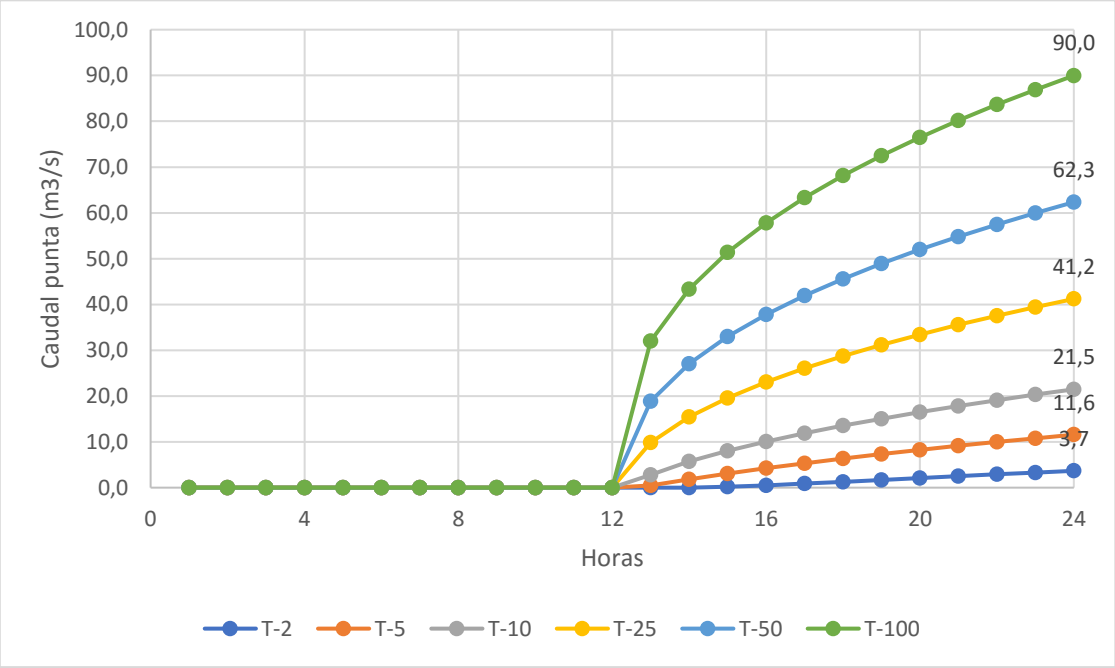


Figura 10. Caudal punta calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno – punto de monitoreo

Fuente: Elaborado por autores

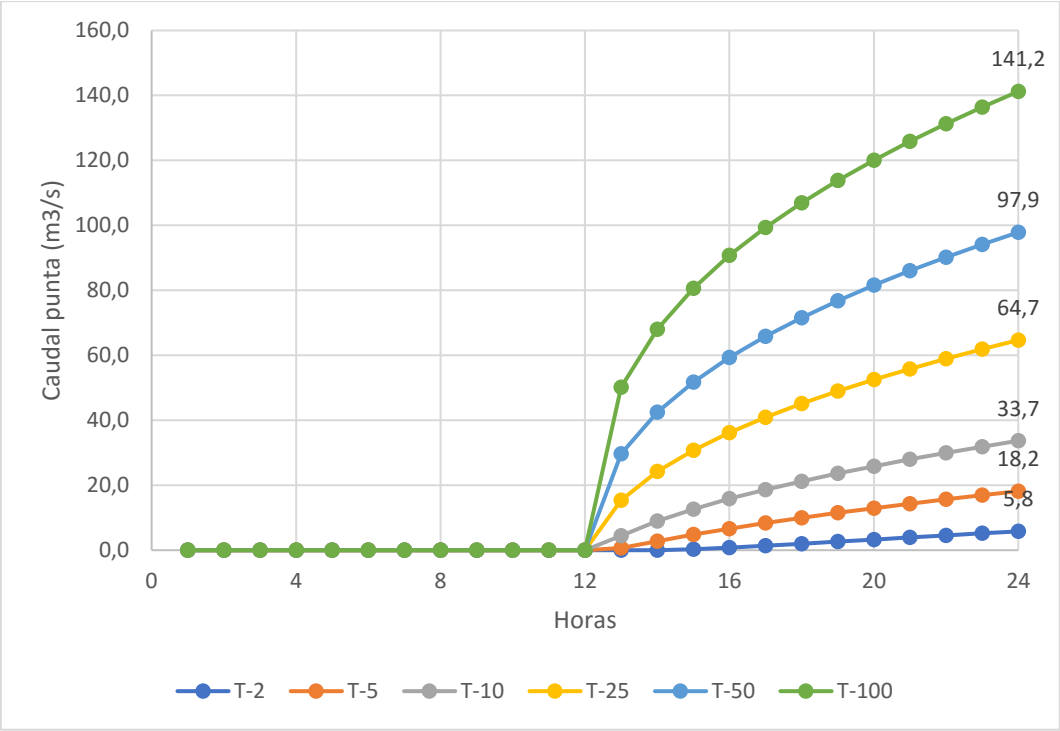


Figura 11. Caudal punta calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - desembocadura

Fuente: Elaborado por autores

4.8 Cálculo de caudal total en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno

Una vez calculado el caudal punta considerando la lluvia efectiva, se procedió a calcular el caudal total, sumando al caudal punta, el gasto base obtenido por el método de Manning para cada mes comprendido entre el periodo abril 2019 – febrero 2020.

En la figura que se muestra a continuación se aprecia como en las primeras horas de lluvia, ésta se infiltra por lo que en el cauce se mantiene el gasto base obtenido a través del método de Manning de 1,8 m^3/s para el mes de abril, luego de que el suelo se satura la lluvia comienza a generar escorrentía, la cual se suma al gasto base del cauce, reportando resultados de 5,5 m^3/s de caudal de avenida en el río Zuñac, para un periodo de retorno de 2 años, y de 91,8 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 12).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 9,4 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 144,9 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 13).**

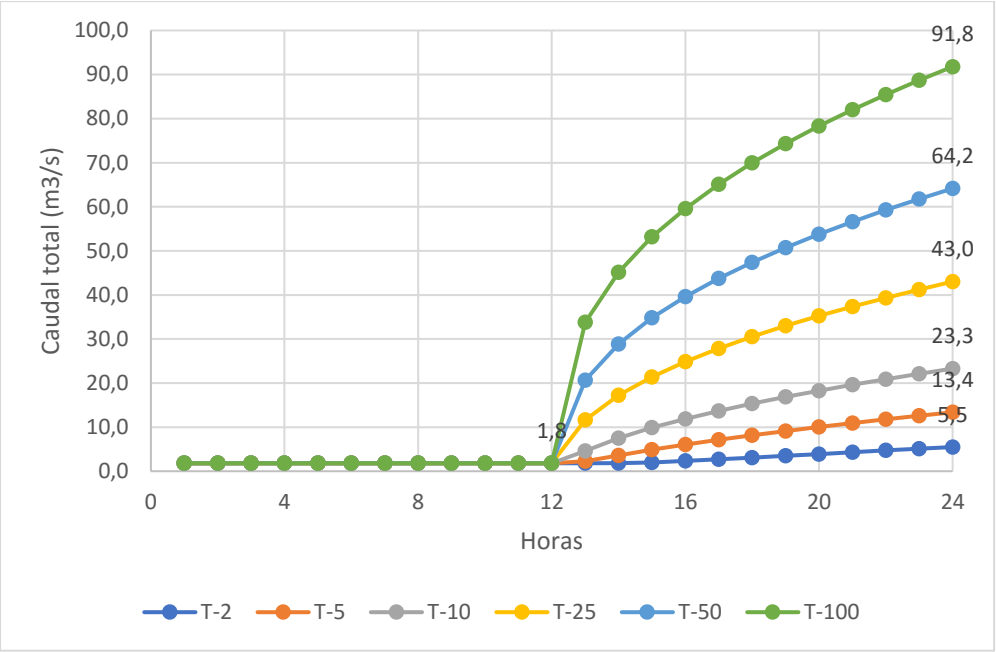


Figura 12. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - abril 2019

Fuente: Elaborado por autores

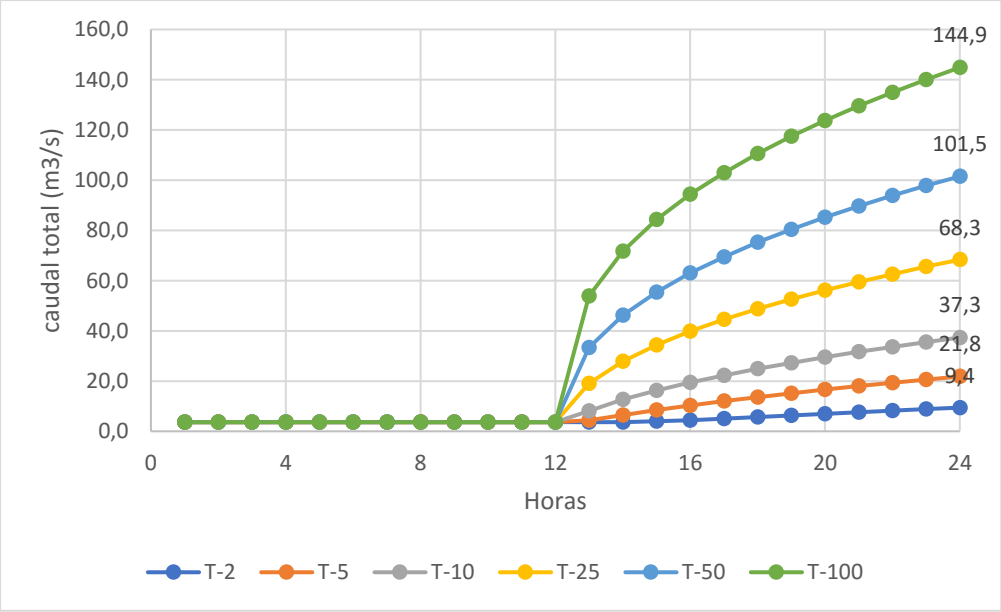


Figura 13. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - desembocadura - abril 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de mayo donde, el caudal de avenida es de 4,1 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,4 m^3/s para un periodo de

retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 14).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 7 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 142,4 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 15).**

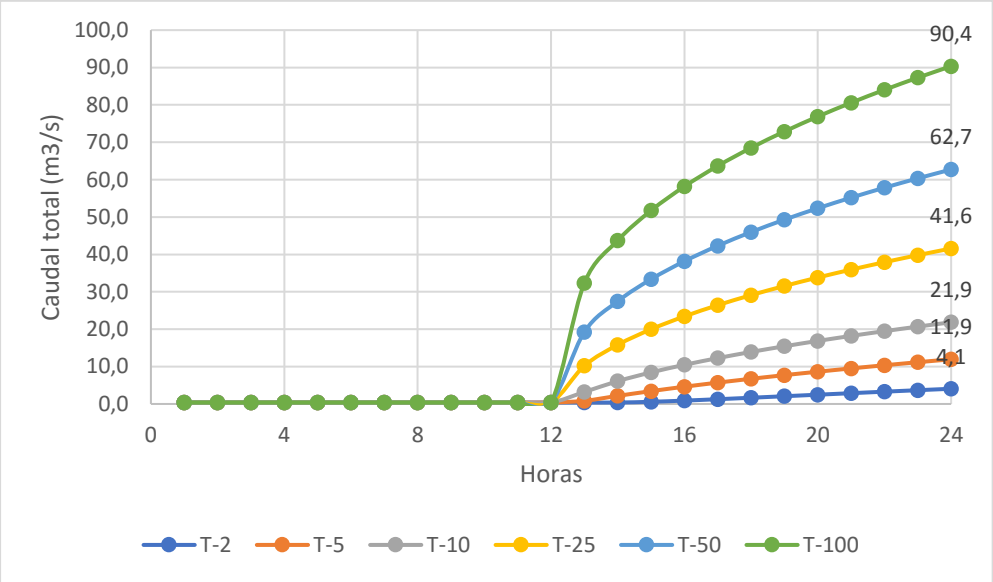


Figura 14. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - mayo 2019

Fuente: Elaborado por autores

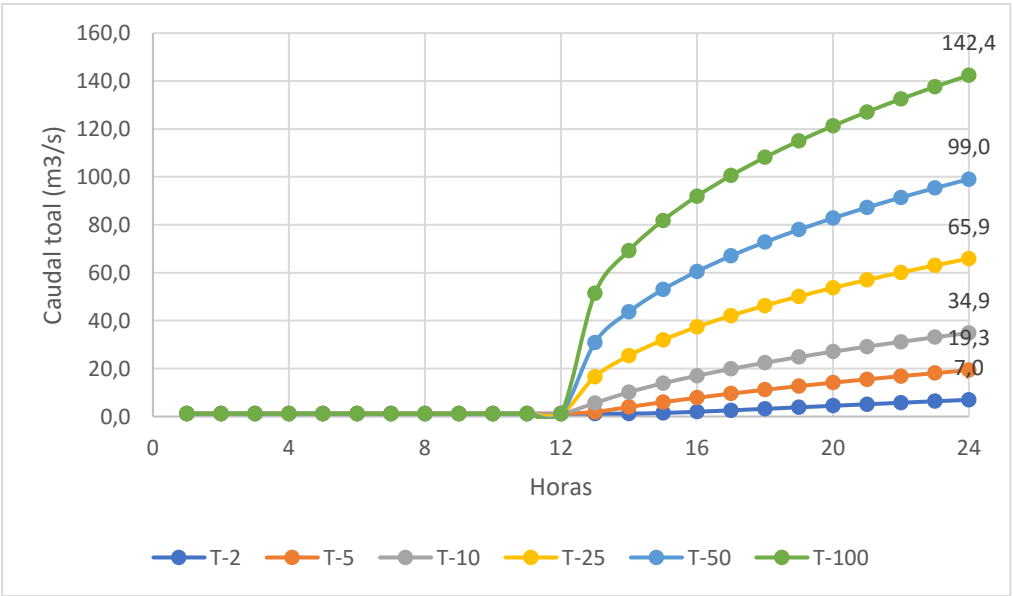


Figura 15. Caudal total calculado en función de la lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno - desembocadura - mayo 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de junio donde, el caudal de avenida es de 3,9 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,2 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 16).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 6,9 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 142,3 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 17).**

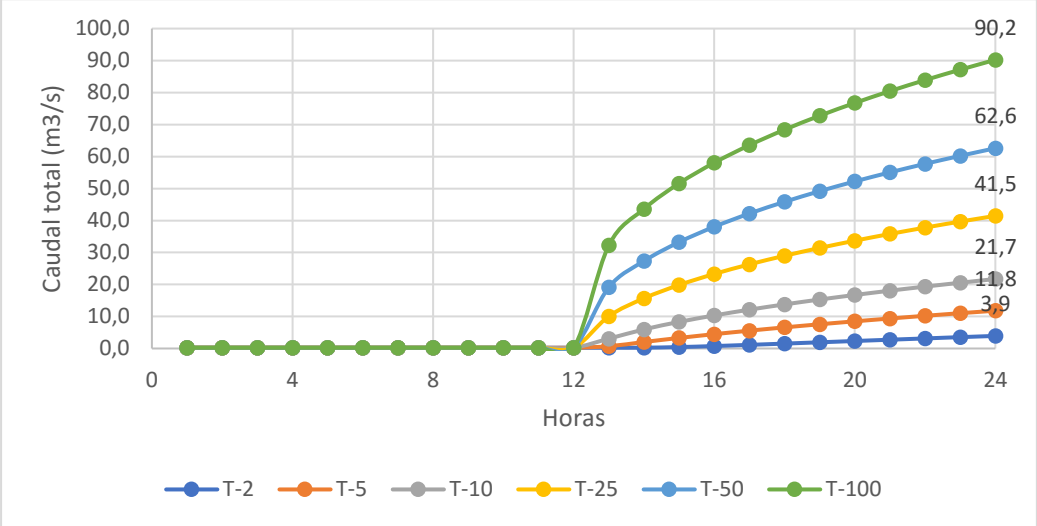


Figura 16. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - junio 2019

Fuente: Elaborado por autores

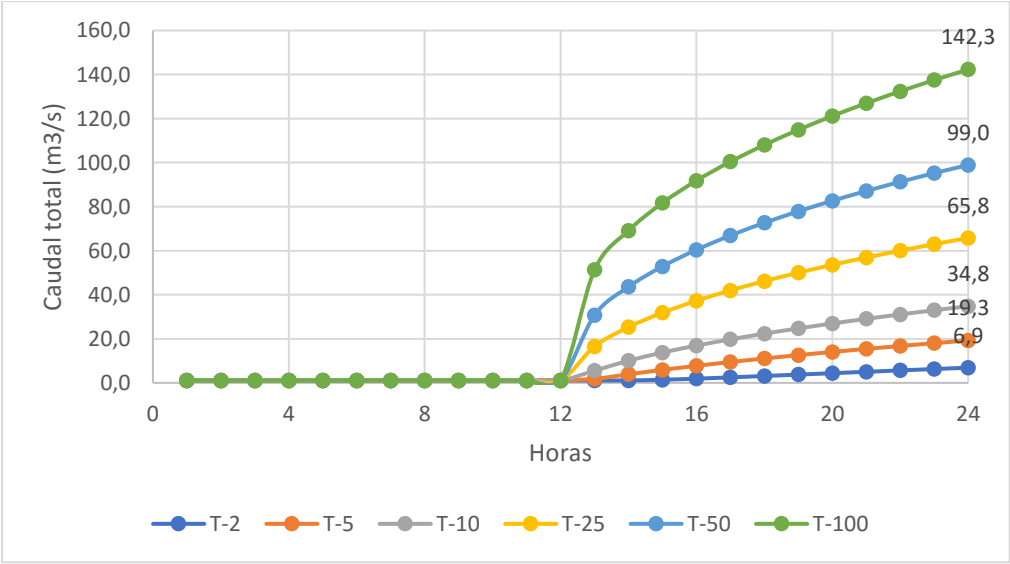


Figura 17. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - junio 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de julio donde, el caudal de avenida es de 4,8 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 91,1 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 18).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 8,3 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 143,8 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 19).**

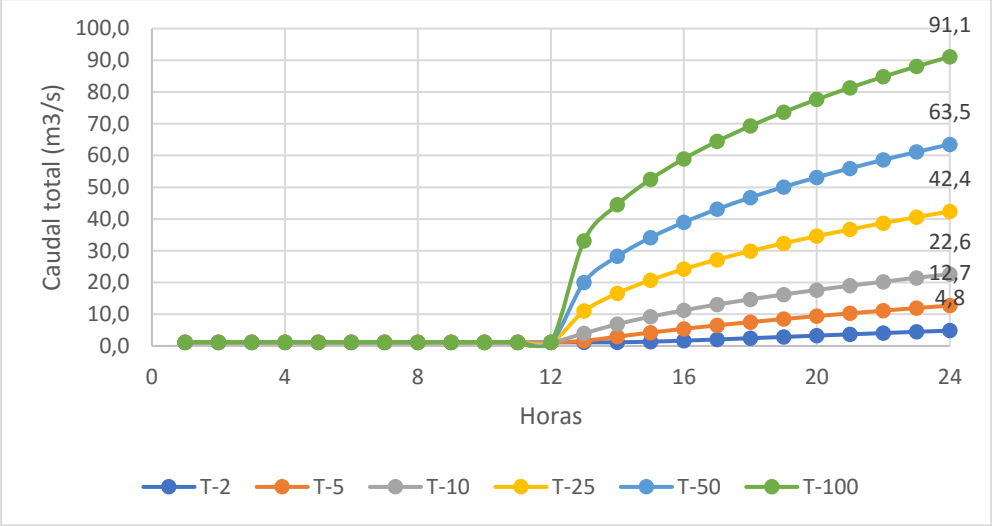


Figura 18. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - julio 2019

Fuente: Elaborado por autores

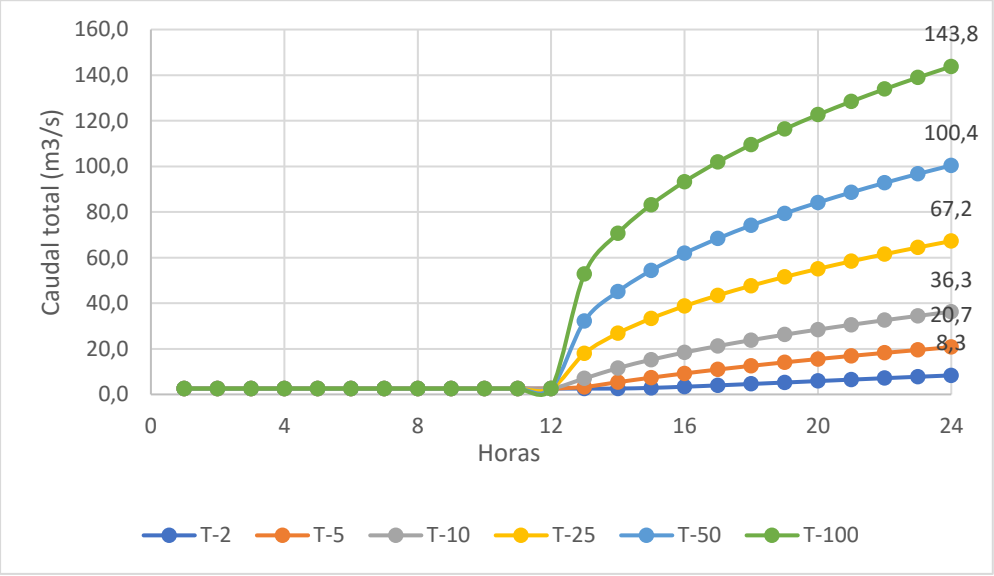


Figura 19. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura- julio 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de agosto donde, el caudal de avenida es de 4,3 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,6 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 20).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 6,5 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 142 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 21).**

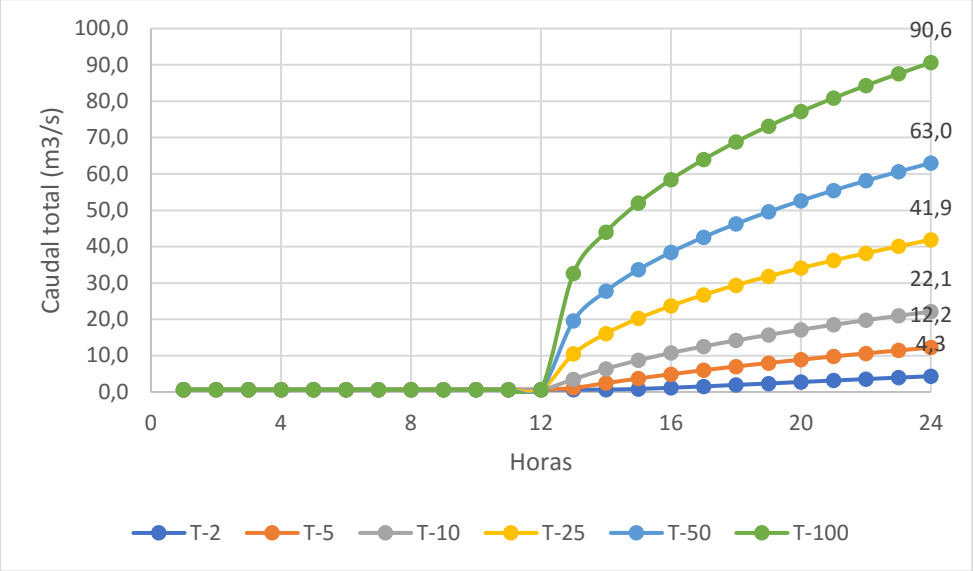


Figura 20. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - agosto 2019

Fuente: Elaborado por autores

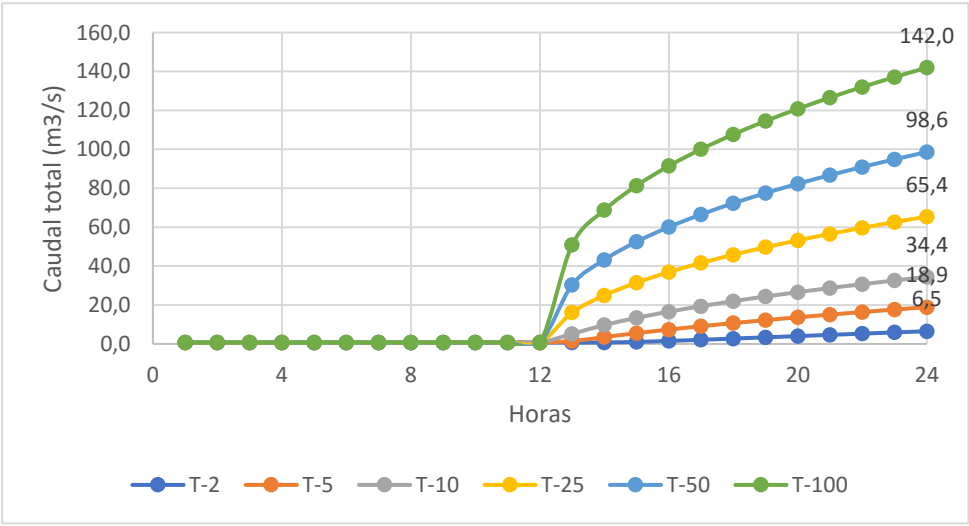


Figura 21. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - agosto 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de septiembre donde, el caudal de avenida es de 3,9 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,2 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 22).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 6,3 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 141,7 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 23).**

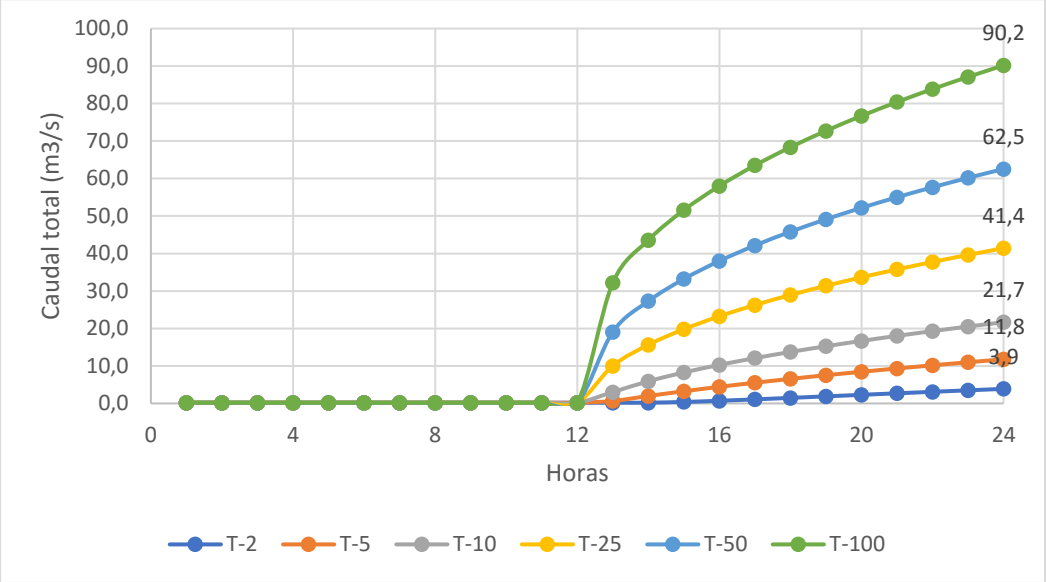


Figura 22. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - septiembre 2019

Fuente: Elaborado por autores

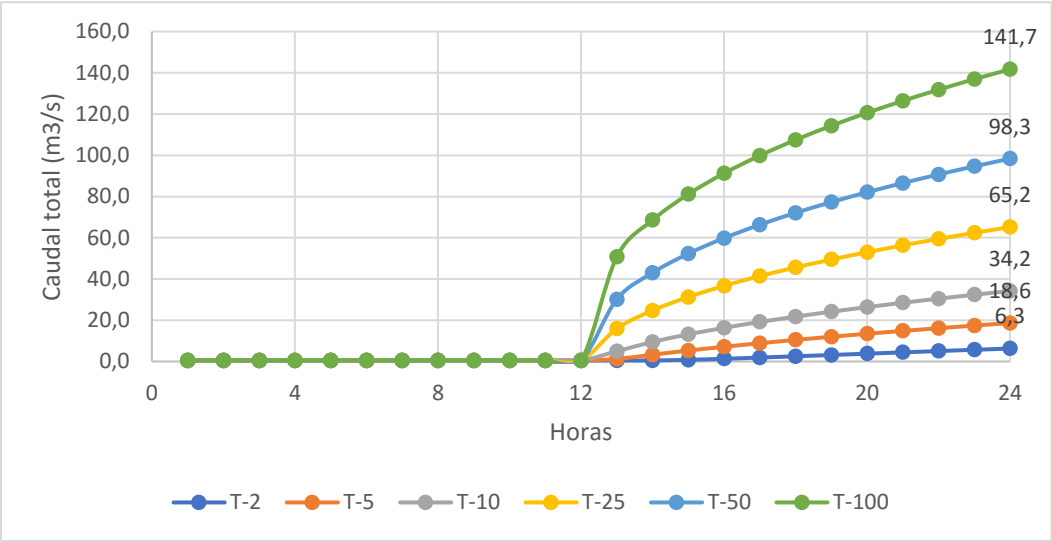


Figura 23. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - septiembre 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de octubre, el cual presenta los datos proyectados de caudal más elevados, con respecto a otros meses, donde, el caudal de avenida es de 6,8 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 93,1 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 24).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 12,5 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 148 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 25).**

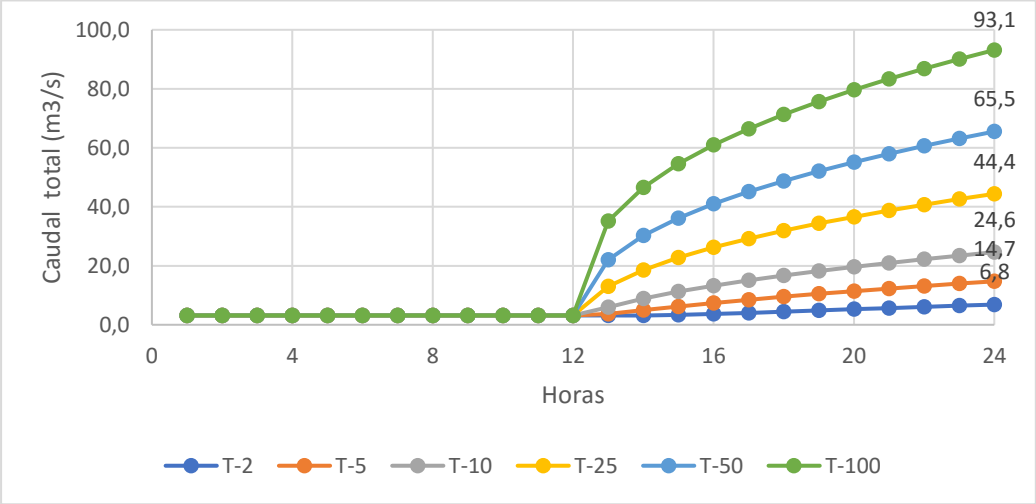


Figura 24. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - octubre 2019

Fuente: Elaborado por autores

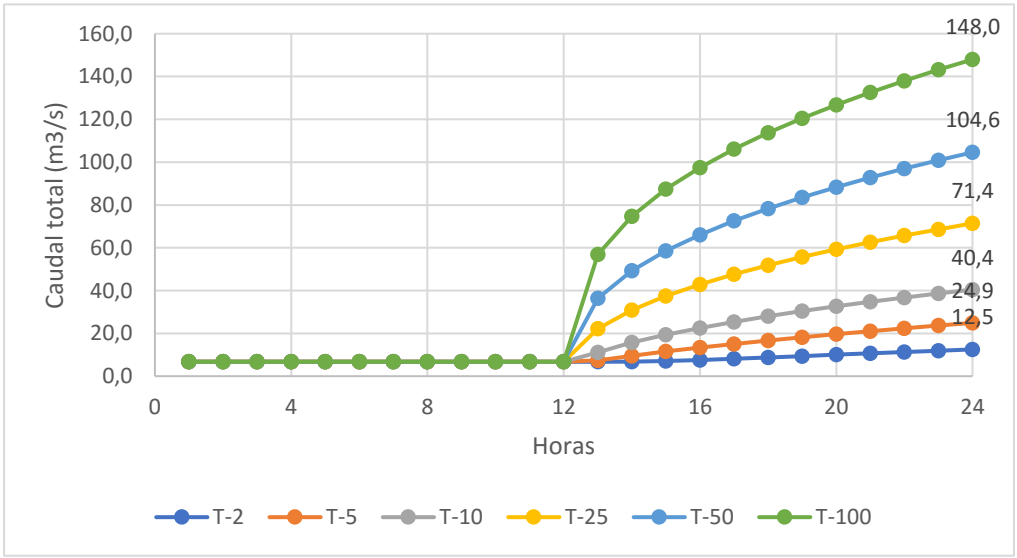


Figura 25. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - octubre 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de noviembre donde, el caudal de avenida es de 4,1 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,4 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 26).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 7,6 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 143 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 27).**

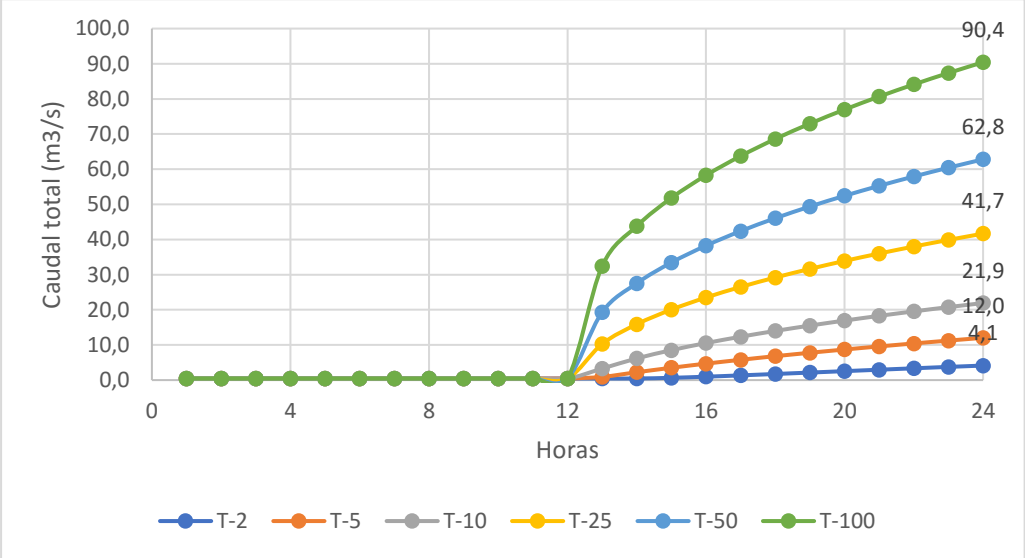


Figura 26. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - noviembre 2019

Fuente: Elaborado por autores

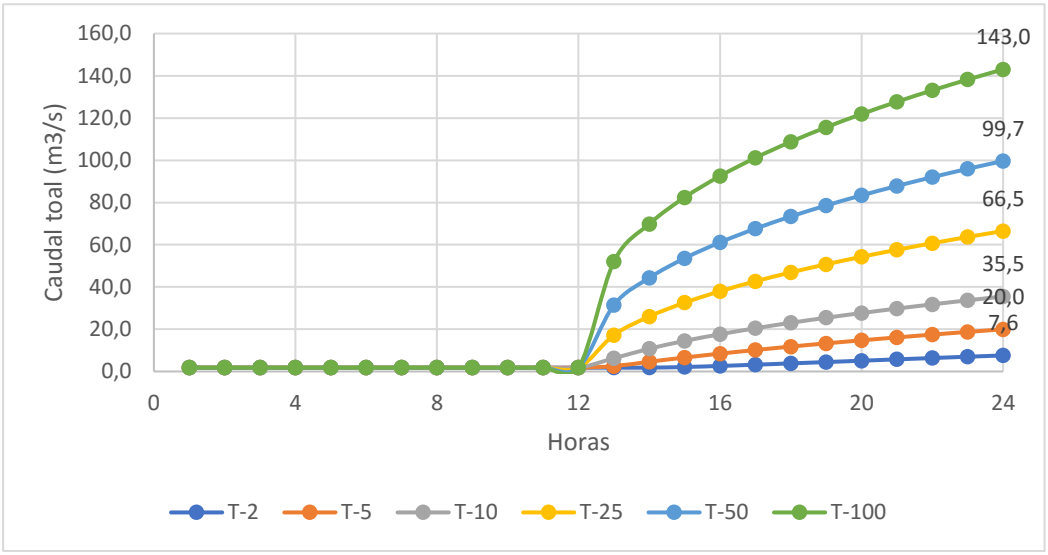


Figura 27. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - noviembre 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de diciembre donde, el caudal de avenida es de 5 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 91,2 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 28).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 8,6 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 144,1 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 29).**

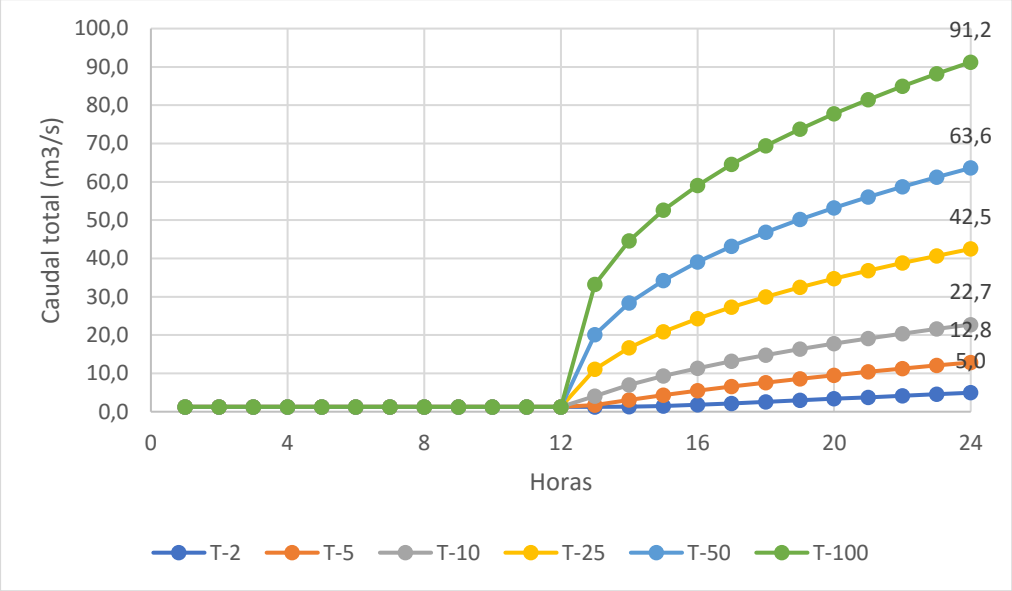


Figura 28. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - diciembre 2019

Fuente: Elaborado por autores

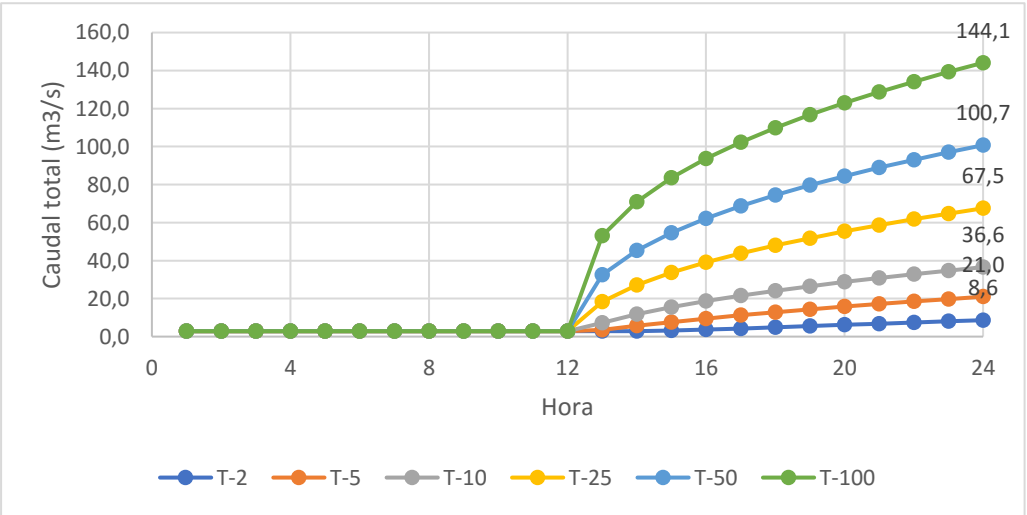


Figura 29. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - diciembre 2019

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de enero donde, el caudal de avenida es de 4,6 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,9 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 30).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 7,5 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 142,9 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 31).**

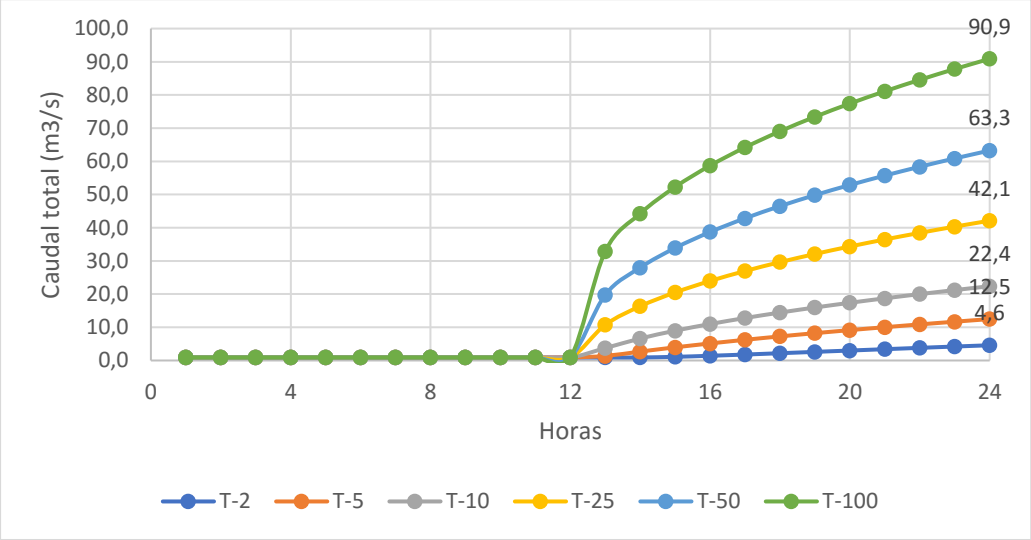


Figura 30. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - enero 2020

Fuente: Elaborado por autores

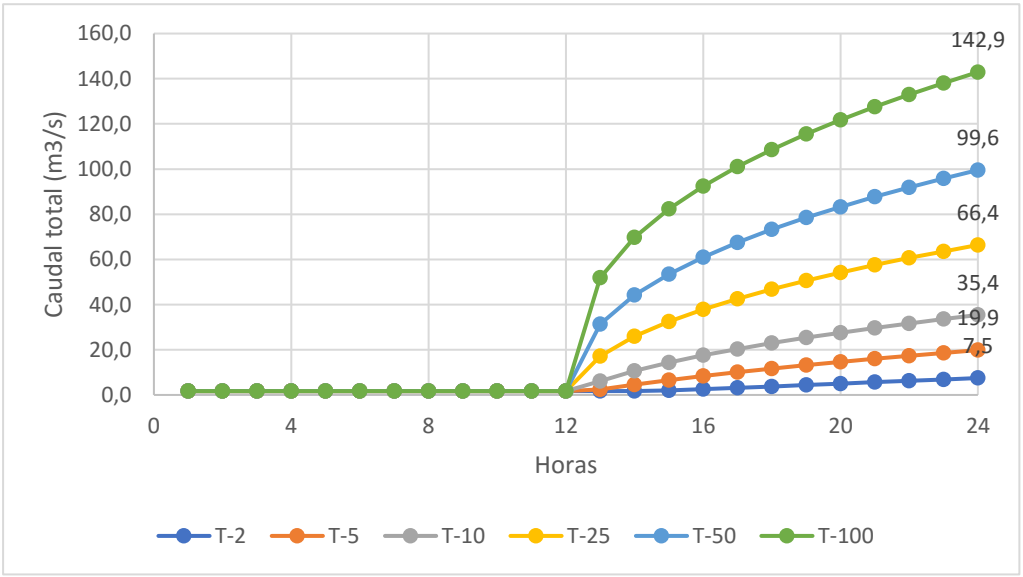


Figura 31. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - enero 2020

Fuente: Elaborado por autores

A continuación, se muestran los resultados para el mes de febrero donde, el caudal de avenida es de 3,72 m^3/s, para un periodo de retorno de 2 años, y de 90,02 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años en el punto de monitoreo **(VER FIG. 32).** En la desembocadura se obtuvieron resultados de 6,22 m^3/s de caudal de avenida, para un periodo de retorno de 2 años, y de 141,67 m^3/s, para un periodo de retorno de 100 años **(VER FIG. 33).**

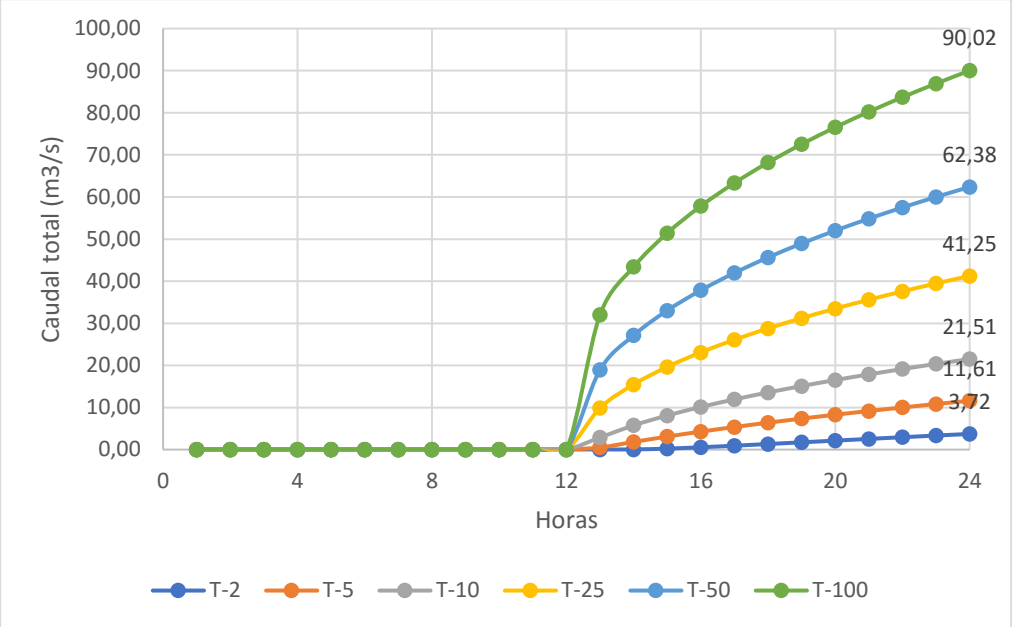


Figura 32. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - punto de monitoreo - febrero 2020

Fuente: Elaborado por autores

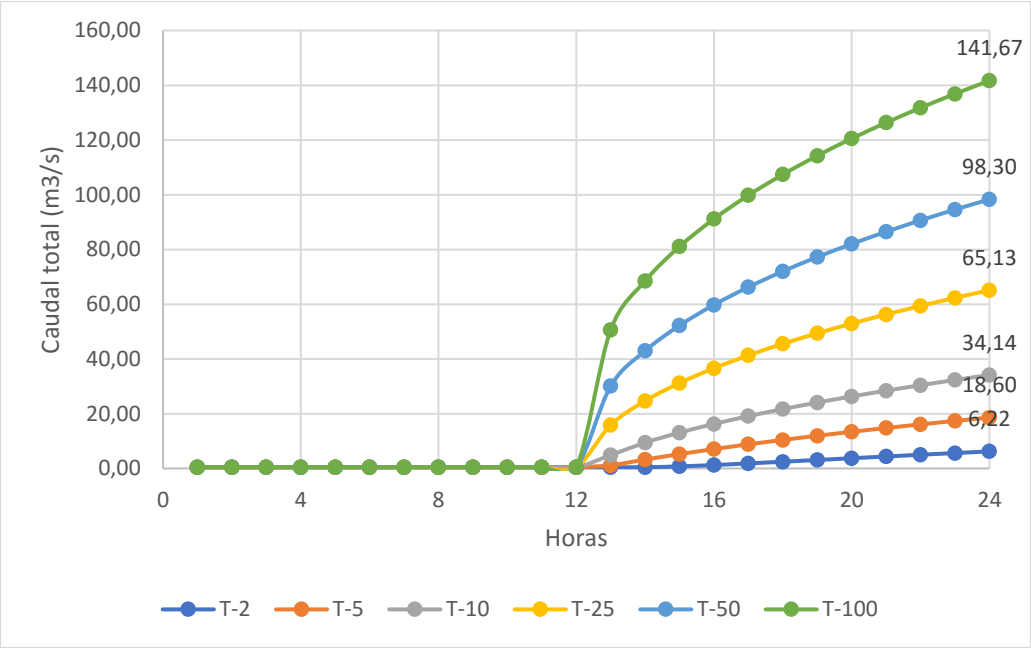


Figura 33. Caudal total calculado en función de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno - desembocadura - febrero 2020

Fuente: Elaborado por autores

4.9 Modelamiento HEC-HMS

Para el modelamiento hidrológico de la microcuenca del río Zuñac mediante el programa HEC HMS, se consideraron los parámetros como la pendiente 9%, gasto base y tiempo de concentración para el punto de monitoreo de 0,34 horas y de o,75 horas hasta la desembocadura. Se generó una simulación para cada periodo de retorno tanto para el punto de monitoreo como para la desembocadura para los meses comprendidos en el periodo de abril del 2019 hasta febrero del 2020. Para la generación de las siguientes figuras se utilizó las tablas de "Time series table" de donde se tomó los datos de tiempo, precipitación y caudal total. Las curvas en las figuras muestran como resultado, la relación directa entre la precipitación y el caudal. El programa analiza la capacidad de infiltración del suelo en base al número de la curva, en este caso NC 36, por lo que modela la situación, considerando que la cantidad de lluvia que se infiltra, hasta que el suelo se satura, generando escorrentía y un consiguiente incremento en el caudal.

Se ha tomado como referencia el mes de septiembre y octubre para el análisis de datos, por ser los de menor y mayor caudal respectivamente.

4.9.1 Pluviograma e hidrograma del punto de monitoreo

En la siguiente figura correspondiente al punto de monitoreo se muestra la relación lluvia – caudal del mes que presentó según los análisis un menor caudal; en el pluviograma se observa un valor de precipitación de 111,9 mm y en el hidrograma un caudal con un valor de 10,7m^3/s para un periodo de retorno de 100 años.

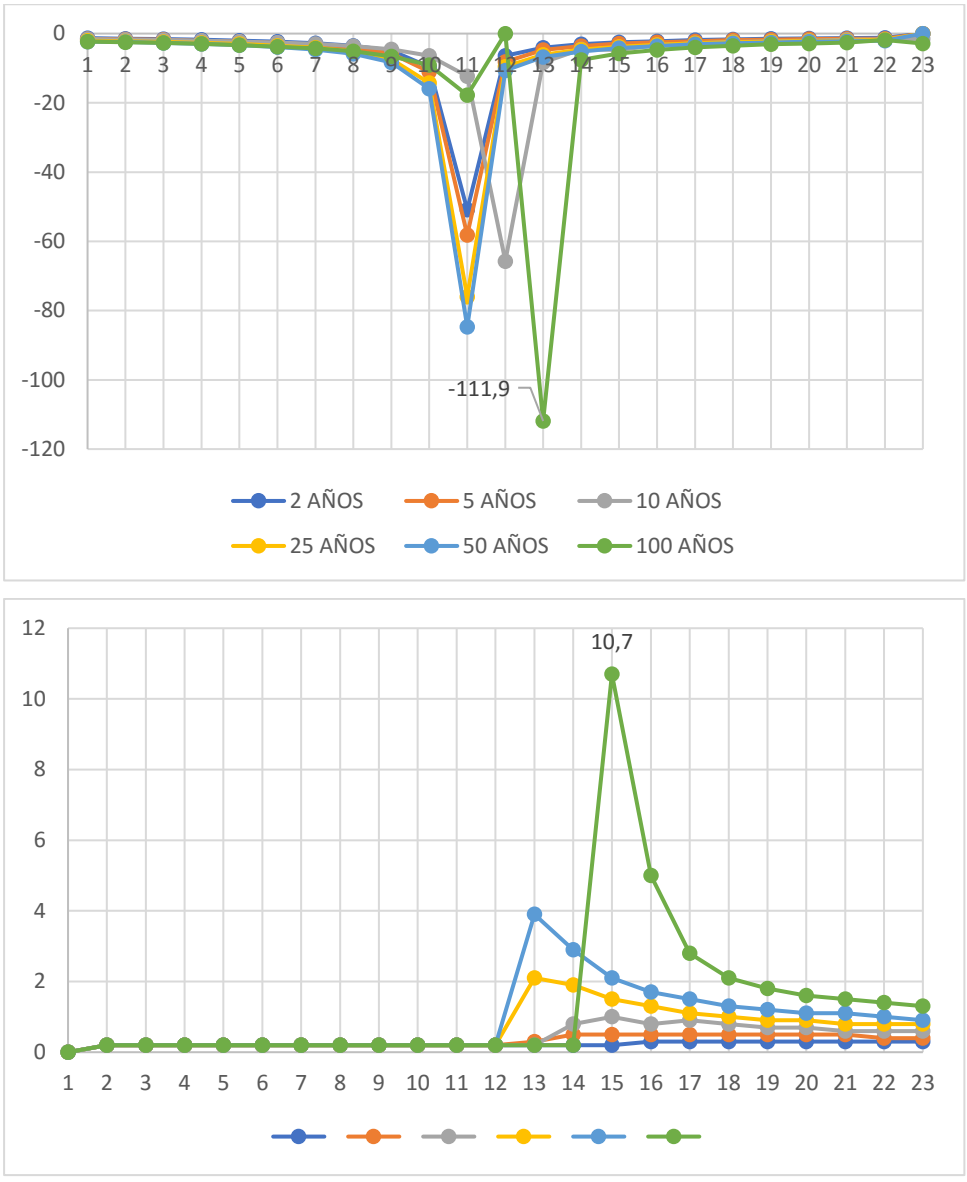


Figura 34. Pluviograma e hidrograma del punto de monitoreo - septiembre

Fuente: Elaborado por autores

En la siguiente figura correspondiente al punto de monitoreo se muestra la relación lluvia – caudal del mes que presentó según los análisis un mayor caudal; en el pluviograma se

observa un valor de precipitación de 111,9 mm y en el hidrograma un caudal con un valor de 13,7m^3/s para un periodo de retorno de 100 años.

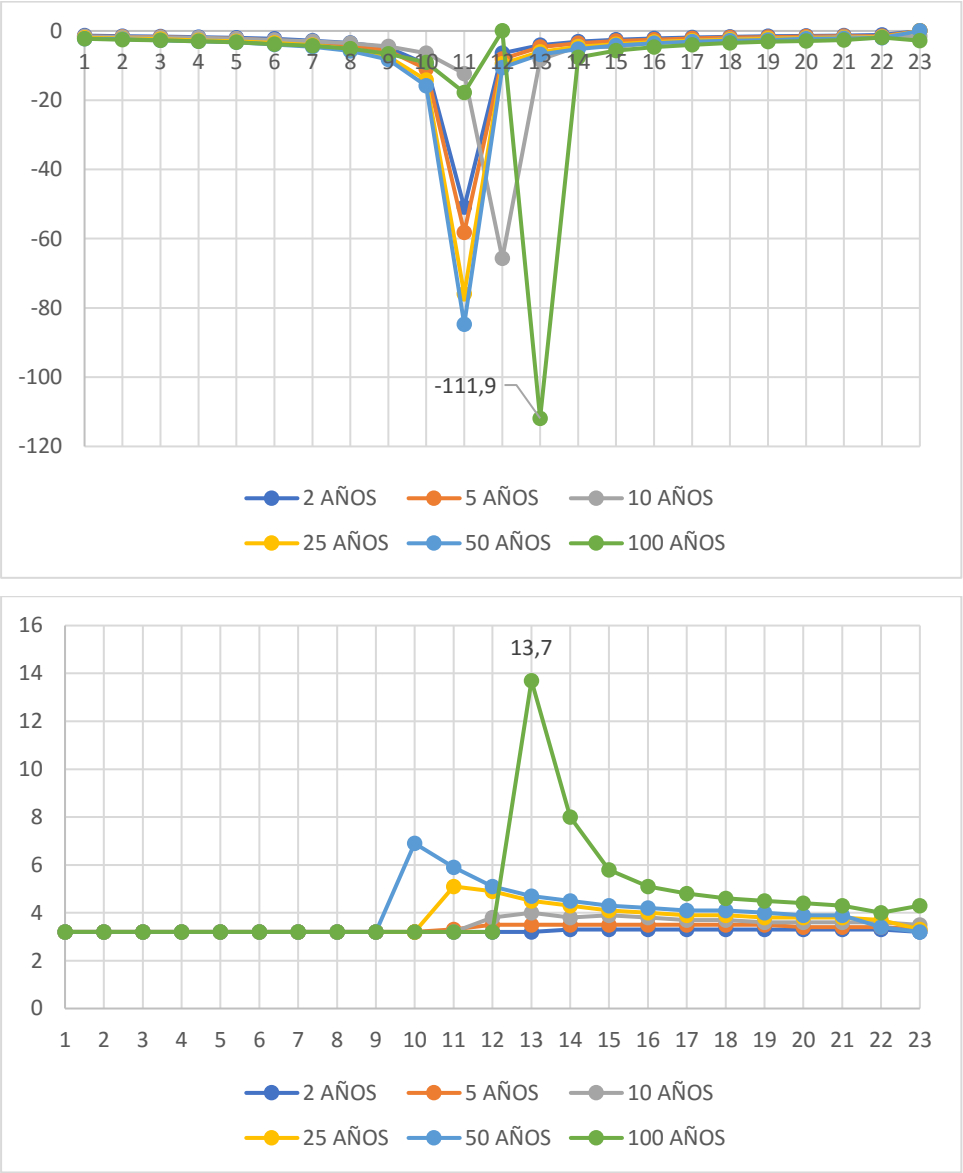


Figura 35. Pluviograma e hidrograma del punto de monitoreo - octubre

Fuente: Elaborado por autores

4.9.2 Desembocadura

En la figura 36, se puede observar los valores concernientes a la desembocadura del mes con mayor caudal según el análisis realizado, donde se muestra para un periodo de retorno de 100 años, en el pluviograma un valor de precipitación de 84,7mm y un valor para caudal de 37,3m^3/s en el hidrograma.

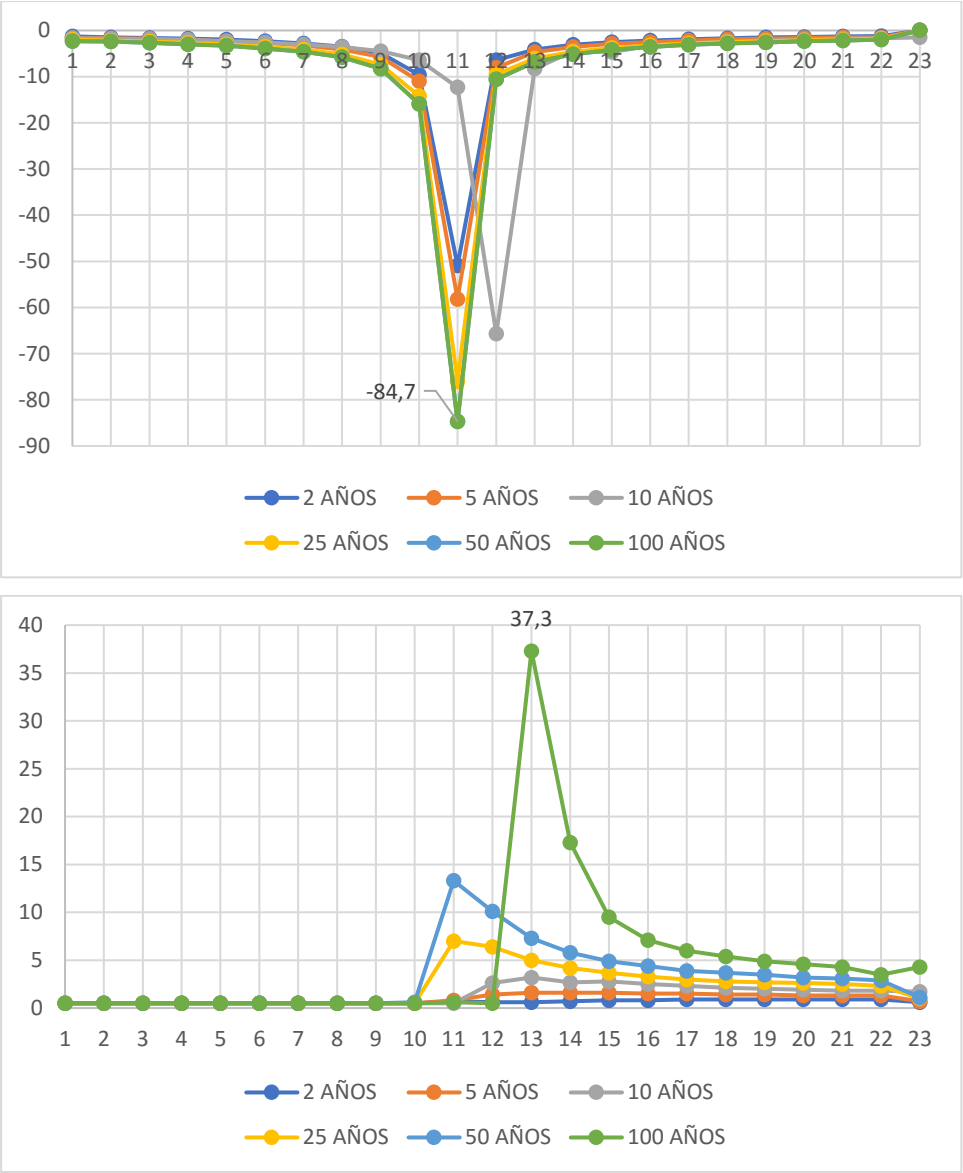


Figura 36. Pluviograma e hidrograma de la desembocadura - septiembre

Fuente: Elaborado por autores

En la figura 37, se puede observar los valores concernientes a la desembocadura del mes con mayor caudal según el análisis realizado, donde se muestra para un periodo de retorno de 100 años en el pluviograma un valor de precipitación de 84,7mm y un valor para caudal de 43,5m^3/s en el hidrograma.

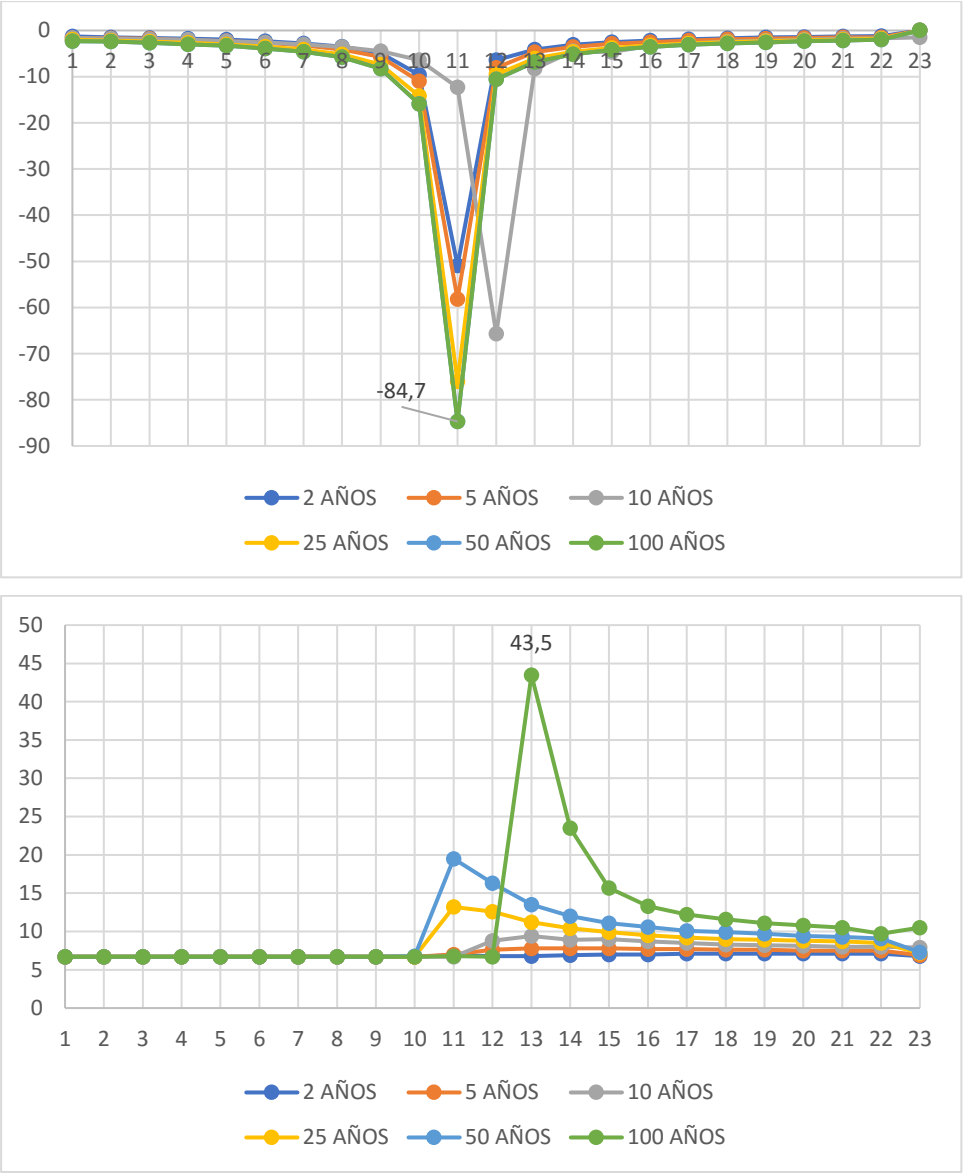


Figura 37. Pluviograma e hidrograma de la desembocadura - octubre

Fuente: Elaborado por autores

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La microcuenca de río Zuñac se clasifica por su tamaño en pequeña, con un área de 14 km^2 y un perímetro de 21 km. El tiempo de concentración de la microcuenca revela que, en caso de presentarse una lluvia torrencial en la parte más alta de la microcuenca, tardará 45 minutos en reflejarse en la desembocadura de la misma. El riesgo de inundación es bajo, debido a su forma oval oblonga, que indica que los puntos de ésta no son equidistantes al cauce principal, evitando la concentración de grandes volúmenes de agua de escurrimiento.
- En la microcuenca estudiada, un mayor porcentaje de los aportes hidrológicos de precipitación, se infiltran o son retenidos por la microcuenca, en base a los distintos estimadores hidrológicos usados, como el índice de infiltración, cuyo número de curva NC 36.

  Teniendo en cuenta y como dato importante la variabilidad de las precipitaciones en la Amazonía, lo que pudo influir en la toma de datos durante el periodo monitoreado 2019 – 2020, se concluye según los resultados obtenidos a través del método de Manning, que el mes con mayor gasto base corresponde a octubre con 3,16m3/s en el punto de monitoreo y 6,74m3/s en la desembocadura, mientras que el mes que presenta menor caudal corresponde al mes de septiembre con un valor de 0,20m3/s en el punto de monitoreo y 0,49m para la desembocadura. Con respecto a la relación lluvia – escorrentía, en la desembocadura de la microcuenca confluyen 58 m^3/s por cada centímetro de lluvia, según la metodología del SCS.
- El programa HEC HMS arrojó un modelamiento de caudal de avenida donde se aprecia la interacción entre los aportes y las pérdidas dentro de la microcuenca, lo cual indica una relación directa entre lluvia y el caudal, a partir del momento donde se produce la saturación del suelo, concluyendo luego del análisis que el mes de octubre es el de mayor caudal, para un periodo de retorno de 100 años, el valor en la desembocadura es de 43,5 m^3/s.

5.2 Recomendaciones

- Considerar este estudio, al momento de establecer proyectos de investigación cercanos al rio Zuñac, lo que permita prever el crecimiento de rio ante una precipitación y de este modo se pueda evitar daños a los proyectos de investigación In Situ, en el centro de investigación, postgrado y conservación amazónica, CIPCA.
- Realizar estudios periódicamente en la microcuenca del río Zuñac que permitan tener información actualizada y pueda así formar parte de los diferentes programas y proyectos de manejo y conservación realizados por la Universidad Estatal Amazónica con el propósito de asegurar su sostenibilidad ambiental.

6 Bibliografía

Aguirre, N. (Agosto de 2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrograficas*. Obtenido de http://arcgeek.com/descargas/MCuencas.pdf

Alvarado, O., & Apolo, A. (2019). *Caracterización hidrológica y geomorfológica de la subcuenca del río Puyo en el tramo Fatima sector Km 2 1/2 vía Puyo-Tena* . Obtenido de https://repoitorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/482/1/T.AMB.B.UEA.3167

Aranda, D. F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana.* San Luis Potosi.

Araya, A., González, V., & Jiménez, M. (28 de Febrero de 2018). *Análisis de la variación del coeficiente de rugosidad de Manning con respecto a la pendiente del canal en tubería de PVC de 315 mm de diámetro*. Obtenido de https://www.redalyc.org/jatsRepo/707/70757668006/html/index.html

Arboleda, J., Obando, O., & Yerrén, J. (2018). *Manual de hidrometría*. Obtenido de https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-924.pdf

Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada.*

Breña Puyol, A., & Jacobo Villa, M. (2006). *Principio y fundamentos de la hidrología superficial.* México D.F.

Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principio y fundamento de la hidrología superficial. Mexico.

Brieva, C. (Junio de 2018). *Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológica en cuencas*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf

Campo, A., Aldalur, N., & Fernandez, S. (2011). *Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112012000100002&script=sci_arttext&tlng=pt

Campos Aranda, D. F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana.* San Luis Potosí.

Carvallo, P., & Delgado, J. (2013). *Estudio hidrologico-hidráulico del puente sobre el río Jadán, parroquia Jadán canton Gualaceo, provincia del Azuay*. Obtenido de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4370/1/tesis.pdf

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrlogía aplicada* .

Delgado, M. I., & Gaspari, F. J. (2010). Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*.

Flores, G., & Flores, M. (2016). *Método de análisis morfométrico de la red de drenaje de cuencas*. Obtenido de https://es.slideshare.net/zulylopezhuachhua/analisis-morfometrico-de-una-cuenca-2

Gaspari, F., Rodriguez Vagaria, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina.

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola. (2014). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CARLOS JULIO AROSEMENA TOLA. Napo.

Gonzales de Matauco, A. I. (2004). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA Y DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO ZADORRA Y SUS AFLUENTES APLICADO A LA PELIGROSIDAD DE CRECIDAS.

Guerra, F., & Gonzalez, J. (2002). *Caracterizacion morfométrica de cuenca de la quebrada La bermeja, San cristobal, estado Táchira, Venezuela*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/360/36070208.pdf

Gutiérrez, J., Virginia, V., Romero, M., Plácido, J., Aguirre, M. d., & Silva, H. (15 de Junio de 2010). *Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México.* Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112011000300003&script=sci_arttext&tlng=pt

Hidalgo, L. (2017). *Guía practica para aforar en canales y cauces naturales, utilizando instrumentacion básica y de bajo costo.* Obtenido de file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/CD-8242.pdf

Huatotoca, J., & Chanaluisa, W. (2019). *Analisis geomorfologico de la subcuenca del río Pambay para determinar las zonas vulnerables a inundaciones mediante el modelamiento hidrológico.* Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/511/1/T.AMB.B.UEA.3197

Hudson. (1997). *FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de http://www.fao.org/3/t0848s/t0848s00.htm#Contents

Illanes, I., & Paucar, M. (2019). *caracterizacion edafologica, hidrologica y geomorfologica de la zona de recarga del río plata, barrio Las palmas canton Pastaza*. Obtenido de http://201.159.223.17/bitstream/123456789/513/1/T.AMB.B.UEA.3199

Instituto Nacional de Ecología, I. (2004).

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI. (2015). DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN.

López, P. (2017). *Instrumentación para lectura de velocidad y caudal*. Obtenido de http://hdl.handle.net/10251/83036

Maldonato, J., & Samaniego, J. (2019). Tasas de evapotranspiracion, balance hidrico y curvas de intensidad, duración y frecuencia de precipitación de la estación meteorológica Puyo. Puyo, Pastaza, Ecuador.

Martínez de Azagra, A., Mongil, J., & Del Río, J. (2003). Pequeña guía de uso del modelo MODIPÉ.

Martínez, E. (2001). *Hidrologia Practica.* España: COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

Mateu, J. (s.f.). Avenidas y riesgos de inundación en los sistemas fluviales mediterraneos de la península Ibérica.

Miranda, L., Ibáñez, A., Valdez, R., & Hernández, P. (Febrero de 2008). *Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de periodo de retorno del Río Grande, Tlalchapa, Guerrero en dos escenarios de uso del suelo*. Obtenido de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952009000400001&script=sci_arttext

Ortega, D. (2012). *Hidrometria basica aplicada a la operación de distritos y unidades de riego*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/284445944_Hidrometria_Basica_Aplicada_a_la_Operacion_de_Distritos_y_Unidades_de_Riego

Paredes, A. M. (2006). Particularizacion al metodo de los coeficientes de escorrentia.

Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extension para el manejo integrado de cuencas hidrograficas.* San Jose, Costa Rica.

Reyes, A., Ulises, F., & Carvajal, Y. (2014). *Guia basica para la caracterizacion morfometrica de cuencas hidrograficas.* Cali, Colombia. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LLNJDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=+Caracterizaci%C3%B3n+de+la+cuenca+hidrogr%C3%A1fica&ots=nsCfq0rdNc&sig=luSHZnGkbSDWS0_bVlw8XONEgCw#v=onepage&q=Caracterizaci%C3%B3n%20de%20la%20cuenca%20hidrogr%C3%A1fica&f=false

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (s.f.). HIDROLOGÍA APLICADA A LAS PEQUEÑAS OBRAS HIDRÁULICAS. México.

Tapia, G., Molina, J. P., Pérez, B., & Torres, A. (2012). *Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico*. Obtenido de https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt356.pdf

Tsamaraint, F. (2012). *Manejo de recursos hídricos y degradación de la subcuenca media del río Puyo.* Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/127/1/T.AMB.B.UEA.%203044

Valle, M., & Vargas, M. (2018). *Caracterizacion geomorfologica de los tributarios Plata y Charaguayacu de la subcuenca del río Pindo grande*. Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/477/1/T.AMB.B.UEA.3162.pdf

Velazco, C. (s.f.). *Hidrogramas de escorrentia*. Obtenido de https://es.slideshare.net/claudiakassem/modulov

Villarroel, C., & Caicedo, E. (2018). *Caracterizacion geomorfologica de los tributarios Yutzunyacu y Bravo de la subcuenca pindo grande.* Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/479/1/T.AMB.B.UEA.3165.pdf

Villón Bejar, M. (2002). *Hidrología.* Lima: Villlón.

Villón, M. (2004). *Hidrologia.* Cartago: Editorial tecnologica de costa rica.

Weber, J. (2015). *Una comparacion entre los metodod de doble anillo y del simulador de lluvia en la medicion de la capacidad de la capacidad de infiltracion*.

Yánez, J., & Tapia, A. (2017). *Estimacion de los hidrogramas sintéticos en función de las características geomorfológicas de la cuenca del río Pindo grande y afluentes S/N*. Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/480/1/T.AMB.B.UEA.3166.pdf

7 ANEXOS

ANEXO 1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE			
	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
RECOPILACION DE INFORMACION Y METODOLOGIA EN DISTINTAS FUENTES BIBLIOGRAFICAS.	X	X	X													
DEPURACION DE INFORMACION Y SELECCIÓN DE METODOLOGIA.				X												
DELIMITACION ZONA DE ESTUDIO EN PROGRAMA ARC GIS					X											
RECORRIDO POR EL RÍO ZUÑAC, DESDE SU PARTE ALTA A LA DESEMBOCADURA.	ESTA ACTIVIDAD FUE REALIZADA EN EL AÑO 2019															
TOMA DE PUNTOS GPS EN AFLUENTES	ESTA ACTIVIDAD FUE REALIZADA EN EL AÑO 2019															
RECOPILACION DE DATOS METEOROLOGICOS DE LA ESTACION METEOROLOGICA CHAUPISHUNGO, DEL INAMHI, UBICADA EN TENA.						X	X									
MEDICION DE CAUDAL DEL RÍO ZUÑAC.	ESTA ACTIVIDAD FUE REALIZADA DESDE FEBRERO DE 2019 A ENERO 2020															
MEDICION DE INFILTRACION EN LA MICROCUENCA.	ESTA ACTIVIDAD FUE REALIZADA EN EL AÑO 2019															
TABULACION DE DATOS.								X								
ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS.									X	X						
GENERACION DE RESULTADOS.											X	X	X	X		
REVISION GENERAL DEL DOCUMENTO.															X	
PUBLICACION DEL PROYECTO.																X

Fuente: Elaborado por autores

ANEXO 2 MODELO DE PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE GASTO BASE POR EL METEDO DE MANNING

CALCULO DE CAUDAL - ABRIL 2019					
PARÁMETRO	**SÍMBOLO**	**RESULTADOS**			
		PUNTO DE MONITOREO		**DESEMBOCADURA**	
		ENTRADA	**SALIDA**	**ENTRADA**	**SALIDA**
Pendiente	S	0,03		0,04	
Profundidad media	hx	0,14	0,13	0,22	0,13
Ancho del cauce	L	7,60	11,35	10,00	12,00
Perímetro de mojado	Pm	7,68	11,66	10,68	12,28
Promedio perímetro de mojado		9,67		11,48	
Área de mojado	Am	1,07	1,45	2,16	1,53
Promedio área de mojado		1,26		1,85	
Radio hidráulico	Rh	0,13		0,16	
Coeficiente de rugosidad de Manning	n	0,03		0,03	
Velocidad	V	1,43		1,97	
Caudal	**Q**	**1,81**		**3,65**	

Fuente: Elaborado por autores

ANEXO 3 TIPO DE SUELO SEGÚN SU TASA MINIMA DE INFILTRACIÓN

Tabla 1. Tipos de suelo según sea su tasa mínima de infiltración

GRUPO	TASA DE INFILTRACIÓN MÍNIMA (f_c según el modelo de Horton) ($mm \cdot h^{-1}$)
A	7,62 - 11,43
B	3,81 - 7,62
C	1,27 - 3,81
D	0,00 - 1,27

Fuente: Pequeña guia de uso del uso de MODIPÉ, 2003.

ANEXO 4 NANOGRAMA USADO PARA DETERMINAR LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA

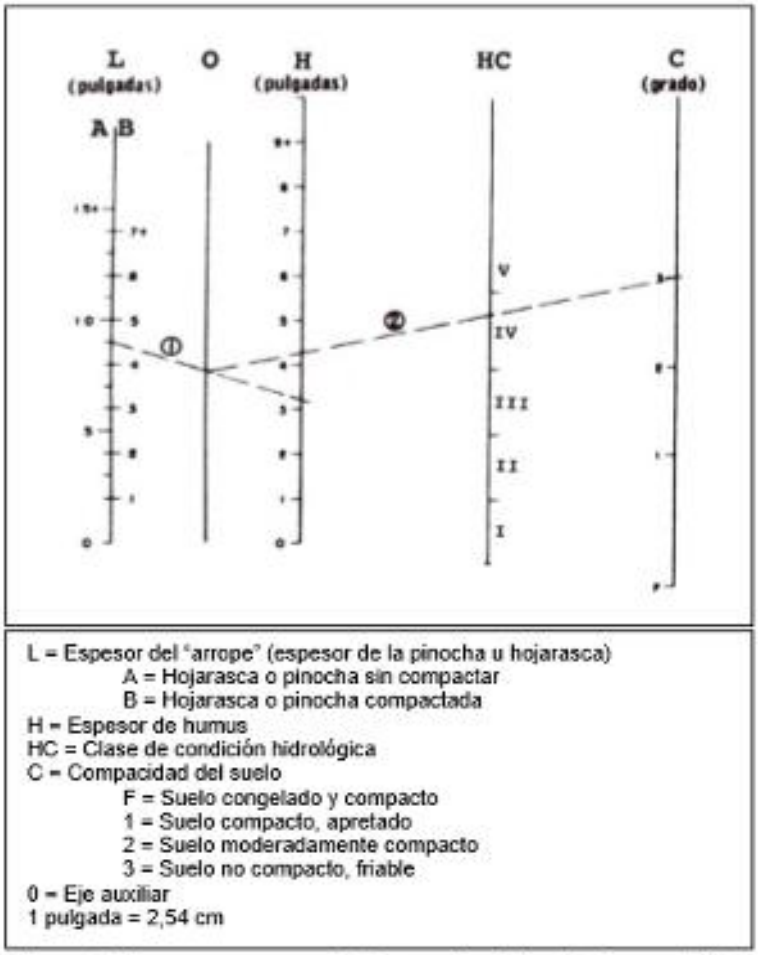


Figura 4. Nomograma para la determinación de la condición hidrológica de un bosque. De Morey (1955), citado por Udall & Dominy (1966)

Fuente: Pequeña guia de uso del uso de MODIPÉ, 2003.

ANEXO 5 TABLA UTILIZADA PARA DETERMINAR NÚMERO DE LA CURVA

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤ 30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

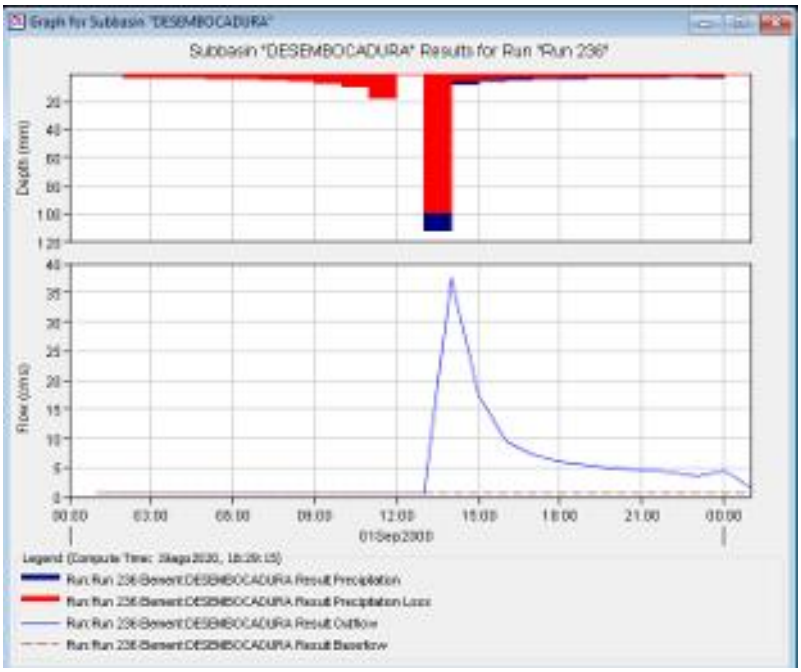
Fuente: Pequeña guia de uso del uso de MODIPÉ, 2003.

ANEXO 6 LLUVIA DE DISEÑO

LLUVIA DE DISEÑO												
	Periodo de retorno											
Tiempo en horas	**T-2**	**acumulado**	**T-5**	**acumulado**	**T-10**	**acumulado**	**T-25**	**acumulado**	**T-50**	**acumulado**	**T-100**	**acum**
1	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5	1,8	1,8	2,0	2,0	2,2	2,2
2	1,3	2,5	1,5	2,8	1,6	3,1	1,9	3,6	2,1	4,0	2,3	4,5
3	1,4	3,8	1,6	4,4	1,7	4,9	2,0	5,6	2,2	6,3	2,5	7,0
4	1,5	5,3	1,7	6,1	1,9	6,8	2,2	7,8	2,4	8,7	2,7	9,7
5	1,6	6,9	1,9	7,9	2,1	8,8	2,4	10,2	2,7	11,4	3,0	12,7
6	1,8	8,7	2,1	10,0	2,3	11,1	2,7	12,9	3,0	14,4	3,3	16,0
7	2,0	10,7	2,3	12,3	2,6	13,7	3,0	15,9	3,3	17,7	3,7	19,8
8	2,3	13,0	2,7	15,0	3,0	16,7	3,5	19,4	3,9	21,6	4,3	24,1
9	2,8	15,8	3,2	18,2	3,6	20,3	4,1	23,5	4,6	26,2	5,2	29,2
10	3,5	19,3	4,1	22,3	4,5	24,8	5,2	28,7	5,8	32,0	6,5	35,8
11	4,9	24,2	5,7	28,0	6,4	31,2	7,4	36,1	8,2	40,3	9,2	44,9
12	9,5	33,8	11,0	39,0	12,3	43,5	14,2	50,3	15,9	56,2	17,7	62,7
13	50,9	84,7	58,9	97,9	65,7	109,2	75,9	126,3	84,7	140,9	94,5	157,2
14	6,4	91,1	7,4	105,3	8,2	117,5	9,5	135,8	10,6	151,5	11,9	169,1
15	4,1	95,2	4,7	110,0	5,3	122,8	6,1	141,9	6,8	158,3	7,6	176,7
16	3,1	98,3	3,6	113,6	4,0	126,7	4,6	146,5	5,1	163,5	5,7	182,4
17	2,5	100,8	2,9	116,5	3,3	130,0	3,8	150,3	4,2	167,7	4,7	187,1
18	2,2	103,0	2,5	119,0	2,8	132,8	3,2	153,5	3,6	171,3	4,0	191,1
19	1,9	104,9	2,2	121,2	2,4	135,2	2,8	156,3	3,1	174,4	3,5	194,6
20	1,7	106,6	2,0	123,1	2,2	137,4	2,5	158,8	2,8	177,2	3,1	197,7
21	1,5	108,1	1,8	124,9	2,0	139,4	2,3	161,1	2,6	179,8	2,8	200,6
22	1,4	109,5	1,6	126,5	1,8	141,2	2,1	163,2	2,3	182,1	2,6	203,2
23	1,3	110,8	1,5	128,0	1,7	142,9	1,9	165,2	2,2	184,3	2,4	205,6
24	1,2	112,0	1,4	129,5	1,6	144,4	1,8	167,0	2,0	186,3	2,3	207,9
NOTA: el color de celda NARANJA, indica a partir de qué hora se generó escorrentía directa, CONSIDERANDO LOS VALORES SUPERIORES A 0,2S												

Fuente: Elaborado por autores

ANEXO 7 MODELO DE LOS RESULTADOS EMITIDOS POR EL PROGRAMA DE MODELAMIENTO HEC-HMS (SEPT., T=100 AÑOS, DESEMBOCADURA)



Time-Series Results for Subbasin "DESEMBOCADURA"

Project: zuñac 11/08/2020 Simulation Run: Run 236
Subbasin: DESEMBOCADURA

Start of Run: 01sep2000, 01:00 Basin Model: DESEMBOCADURA
End of Run: 02sep2000, 01:00 Meteorologic Model: 100años
Compute Time: 19ago2020, 18:29:15 Control Specifications: 100AÑOS

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01sep2000	01:00				0,0	0,5	0,5
01sep2000	02:00	2,30	2,30	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	03:00	2,50	2,50	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	04:00	2,70	2,70	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	05:00	3,00	3,00	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	06:00	3,30	3,30	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	07:00	3,80	3,80	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	08:00	4,30	4,30	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	09:00	5,10	5,09	0,01	0,0	0,5	0,5
01sep2000	10:00	6,60	6,59	0,01	0,0	0,5	0,5
01sep2000	11:00	9,10	9,09	0,01	0,0	0,5	0,5
01sep2000	12:00	17,80	17,78	0,02	0,1	0,5	0,6
01sep2000	13:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,5	0,5
01sep2000	14:00	111,90	99,17	12,73	36,8	0,5	37,3
01sep2000	15:00	7,60	5,36	2,24	16,8	0,5	17,3
01sep2000	16:00	5,70	3,92	1,78	9,0	0,5	9,5
01sep2000	17:00	4,70	3,17	1,53	6,6	0,5	7,1
01sep2000	18:00	4,00	2,66	1,34	5,5	0,5	6,0
01sep2000	19:00	3,50	2,29	1,21	4,9	0,5	5,4

Run:Run 236 Element:DESEMBOCADURA Result:Precipitation
Run:Run 236 Element:DESEMBOCADURA Result:Precipitation Loss
Run:Run 236 Element:DESEMBOCADURA Result:Outflow
Run:Run 236 Element:DESEMBOCADURA Result:Baseflow

Fuente: Elaborado por autores, del programa HEC-HMS