UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

Caracterización hidrológica y geomorfológica del río Tena, ubicado en el balneario “Las Sogas” en el cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador

AUTORES:

Campuzano Ramirez Ingrid Iliana

Ponce Molineros Julio Andree

DIRECTOR DE PROYECTO:

Abril Saltos Ricardo Vinicio PhD

PASTAZA – ECUADOR

2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben **Campuzano Ramirez Ingrid Iliana** con C.I. **220040308-3**, **Ponce Molineres Julio Andree** con C.I. **150085903-6**, hacen constar que son autores del Proyecto de Investigación/ Trabajo de Integración Curricular titulado: **Caracterización hidrológica y geomorfológica del rio Tena, ubicado en el balneario "Las Segas" en el cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador,** el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, **Dr. Ricardo Abril**. En tal sentido, manifiesto 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 días 02 del mes de julio del 2021



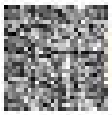
Campuzano Ingrid
CI: 220040308-3



Ponce Julio
CI: 150085903-6

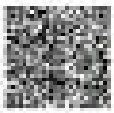
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de investigación/Trabajo de Titulación Curricular titulado **"Caracterización Hidrológica y Geomorfológica del río Tena, ubicado en el balneario "Las Sogas" en el cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador".**



M.Sc. Rodriguez Badillo Leo Maximiliano

Presidente del Tribunal



M.Sc. Sucoshañay Villalba Darwin Javier

Miembro del Tribunal



M.Sc. Bonilla De Gracia Jesús Antonio

Miembro del Tribunal

FORMATO 6: INFORME DEL TRIBUNAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

INFORME DEL TRIBUNAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Título: Caracterización hidrológica y geomorfológica del río Tena, ubicado en el balneario "Las Sogas" en el cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador

Autor (a): Campuzano Ramirez Ingrid Iliana
Ponce Molineros Julio Andres

Unidad de Integración Curricular de Carrera: Ambiental
Director del Trabajo de Integración Curricular : Ricardo Vinicio Abril Saltos PhD
Fecha: 16 July, 2021

Los Profesores integrantes del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular , emiten los siguientes criterios.

Una vez revisado el documento del Trabajo de Integración Curricular antes mencionado, y previas reuniones de trabajo mantenidas con el señor estudiante y director del proyecto, con la finalidad de aclarar dudas y hacer señalamientos especialmente de forma, y tomando como referencia el formato aprobado para estos casos, se resuelve:

1. Que el Trabajo de Integración Curricular titulado:

   Caracterización hidrológica y geomorfológica del río Tena, ubicado en el balneario "Las Sogas" en el cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador

   cumple con los requisitos exigidos en el formato aprobado por la UEA.
2. Que los aspectos de forma que se observan deberán ser corregidos previo al empastado del documento final y su entrega en Secretaría Académica y defensa oral.

Por lo que en nuestra calidad de Tribunal emitimos el INFORME FAVORABLE del Trabajo de Integración Curricular en mención, para continuar con lo establecido en la normativa vigente.

Sin otro particular.

Atentamente,

LEO MARCELIANO RODRIGUEZ BADILLO

RODRIGUEZ BADILLO LEO M
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

DARWIN JAVIER SUCOSHAÑAY VILLALBA

SUCOSHAÑAY VILLALBA DA
Miembro del Tribunal

JESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA

BONILLA DE GRACIA JESUS
Miembro del Tribunal

Certificado No. 104-SAU-UEA-2021

Puyo, 06 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a los estudiantes: Campuzano Ramirez Ingrid Iliana con C.I. 2200403083 y Ponce Molineros Julio Andree con C.I. 1500859036, con el Tema: **"Caracterización hidrológica y geomorfológica del río Tena, ubicado en el balneario "Las Sogas" en cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación Dr.C. Abril Saltos Ricardo Vinicio, Phd., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 7%, Informe generado con fecha 02 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

ITALO MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, **Campuzano Ramirez Ingrid Iliana** y **Ponce Molineros Julio Andrec,** declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal ya académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

Campuzano Ingrid
No. Cédula: 220040308-3

Ponce Julio
No. Cédula: 150085903-6

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a todas las personas que creyeron en mí, en especial a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y a los Ingenieros que supieron brindar cada uno un grano de su experiencia y tiempo.

Julio

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a la Universidad Estatal Amazónica por haberme aceptado ser parte de ella y abrir sus puertas para así poder estudiar mi carrera, así también como a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para poder seguir adelante día a día.

Agradezco también al tutor de Tesis el Ing. Ricardo Abril por habernos brindado la oportunidad de recurrir a sus capacidades y conocimientos científicos, así como también haber tenido todo el tiempo para podernos guiar durante el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de la universidad, y sobre todo a mi enamorada que ha estado en las buenas y malas en el pasar de los estudios que ha sido un motor fundamental, un apoyo moral que ha aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Julio

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos quienes formaron parte de mi vida universitaria y personal.

Ingrid

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Estatal Amazónica por permitirme forjarme en sus aulas, a mi tutor de proyecto Ricardo Abril, quien es parte fundamental y guía para plasmar mi conocimiento en estas páginas, a mi amiga de la universidad Liss, a mis compañeros de los diferentes semestres y a todos los docentes que dejaron plantado parte de sus conocimientos en mí.

Agradezco infinitamente a mi familia, a mi padre quien me motivó a estudiar y perseguir sueños ambiciosos, por ser mi consejero y modelo a seguir, a mi madre por darme la vida y a mi hermana. También a quienes no son familia de sangre, pero me ayudaron al inicio de mi travesía como estudiante José, Marisol y Jacky, muchas gracias por los consejos y la ayuda, a mis mejores amigos Luisa y Luis, de igual manera gracias por los consejos y por permitirme ser parte de su vida.

Agradezco especialmente a mi enamorado quien es parte especial de mi vida universitaria y personal, por estar en las buenas y en las malas, por cuidarme a pesar de las circunstancias y quedarse hasta el final conmigo.

En fin, tengo a muchos a quienes agradecer, pero desde ya pido disculpas si algún nombre se me escapa, se me puede borrar la memoria, pero el sentimiento de agradecimiento hacia ustedes jamás.

Ingrid

RESUMEN

Diferentes partes del Ecuador presentan déficit de información acerca de variables hidrometeorológicas, por ende, para comprender las variables de comportamiento en la cuenca hidrográfica, se utiliza diferentes técnicas y modelamientos que presente precisión del comportamiento a base de la poca o nula información que se tiene.

Por ello, el presente trabajo describe la caracterización hidrológica y geomorfológica del río Tena, como punto de monitoreo del cauce en el balneario "Las Sogas" localizado en el cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador, tomando en consideración la información manejada en la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, como la geomorfología del sitio de estudio, que integra datos de los Sistemas de Información Geográfica mediante el uso de Arc Gis, metodología de Cilindro Infiltrómetro, Batimetría de la cuenca e información hidrológica a partir de datos meteorológicos otorgados por la Red de Estaciones Automáticas del INHAMI, en los que comprende los parámetros de precipitaciones, y el libro "Determinación de Ecuaciones para el cálculo de Intensidades Máximas de precipitación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología" de Guachamín, et al., 2015, los cuales son usados para cuantificar la infiltración, velocidad, caudales, gasto base, lluvia de diseño y zonas de inundación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25 y 50 años.

Palabras Clave: lluvia de diseño, gasto base, balneario Las Sogas, variables hidrometeorológicas, manejo de cuencas hídricas

ABSTRACT

Different parts of Ecuador have a deficit of information about hydrometeorological variables, therefore, to understand the behavioral variables in the watershed, different techniques and modeling are used to present accurate behavior based on the little or no information that is available.

Therefore, the present work describes the hydrological and geomorphological characterization of the Tena river, as a monitoring point of the riverbed in "Las Sogas" located in the Tena canton, Napo province, Ecuador, taking into consideration the information handled in the Watershed Management course, such as the geomorphology of the study site, which integrates data from Geographic Information Systems through the use of Arc Gis, Cylinder Infiltrometer methodology, the bathymetry of the basin and hydrological information from meteorological data provided by the INHAMI Automatic Stations Network, which includes precipitation parameters, and the book “Determination of equations for the calculation of maximum precipitation intensities of the National Institute of Meteorology and Hydrology” by Guachamín, et al., 2015, which are used to quantify infiltration, velocity, flow rates, base discharge, design rainfall and flood zones for return periods of 2, 5, 10,15,25 and 50 years.

Key words: design rainfall, baseflow, Las Sogas riverbed, hydro-meteorological variables, watershed management

CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS……..ii
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN..…iii
INFORME DEL TRIBUNAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR……...……...iv
CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO.....……v
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD…….….vi
DEDICATORIA…….vii
AGRADECIMIENTO……..viii
RESUMEN……...xi
ABSTRACT……xii
CAPÍTULO I……...18

1.1.Introducción……..18
1.2.Problema…….....19
1.3.Objetivos……...……20
1.3.1. Objetivo general……..…….……..20
*1.3.2. Objetivo específico…..... ……..…..……*20
1.4.Justificación……..……..……..21

CAPÍTULO II……...……..22

2.1. Fundamentación Teórica…….....……..…..22

2.1.1. Cuencas hidrográficas……..……....22

2.1.2. Caracterización de cuencas…….....……..……22

2.1.3. Estimación de caudales…….23

2.1.4. Características edafológicas……..……..23

2.1.5. Hidrogramas Unitarios Simétricos…….…….….24

2.1.6. Lluvias de diseño……...……24

2.1.7. El método del Servicio de Conservación del Suelo…….....……..24

2.1.8. Sistemas informáticos de modelamiento…….....24

CAPÍTULO III……...…26

3.1. Metodología de la investigación……..……..26

3.1.1. Localización…...…….…….....…..26

3.1.2. Clima……...…….…26

3.1.3. Tipo de investigación……..……..…….....27

3.1.4. Método de investigación……..……. ...27

3.1.5. Diseño de la investigación…….....……..… …..27

3.1.6. Recursos…….....……...…… ….41

CAPÍTULO IV…… ……43

4.1. Resultados…….…… ……...43

4.1.1. Características de la cuenca…….43

4.1.2. Pruebas de infiltración…….....……..….44

4.1.3. Medición de caudales……..……..…...45

4.1.4. Lluvia de proyecto……...….49

4.1.5. HEC HMS…….....…50

4.1.6. HEC RAS……..56

4.1.7. Límites de protección…….....…….58

4.2. Discusión……...…….....60

4.3. Conclusiones……..……62

4.4. Recomendaciones……...……..……64

REFERENCIAS…….65

ANEXO……70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3. Clasificación de la cuenca según el área de cobertura…….....……..28

Tabla 2-3. Interpretación del coeficiente de compacidad……29

Tabla 3-3. Interpretación de pendientes del rio……...30

Tabla 4-3. Jerarquización de orden de corriente…….…….30

Tabla 5-3. Tipos de suelos según sea su tasa mínima de infiltración……..35

Tabla 6-3. Intensidad, Duración, Frecuencia de la estación Tena Hda. Chaupishungo..36

Tabla 1-4. Características de la cuenca del río Tena provincia del Napo……44

Tabla 2-4. Prueba de infiltración para los márgenes derecho e izquierdo del río Tena en la provincia de Napo…….……45

Tabla 3-4. Resultado del área y perímetro de la entrada y salida del río Tena provincia del Napo……...48

Tabla 4-4. Resultados de caudales en la profundidad y crecida del río Tena provincia de Napo…….……48

Tabla 5-4. Lluvia de diseño para el río Tena, en la provincia de Napo……50

Tabla 6-4. Resultados de la precipitación y caudal de la lluvia proyectada para periodos de 2,5,10,15,25 y 50 años para el río Tena en la provincia de Napo……52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3. Mapa de ubicación del punto de monitoreo y desembocadura en el río Tena…….…….26

Figura 1-4. Mapa de la caracterización geomorfológica del río Tena……..…….43

Figura 2-4. Grafico del perfil en la desembocadura del río Tena……..…47

Figura 3-4. Gasto Base mensual en el río Tena, provincia de Napo……..49

Figura 4-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 2 años……....……...……53

Figura 5-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 5 años……..….....53

Figura 6-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo 10 años……...54

Figura 7-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 15 años……...54

Figura 8-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 25 años……...55

Figura 9-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 50 años……...55

Figura 10-4. Mapa del modelamiento hidrológico del río Tena……..56

Figura 11-4. Mapa de identificación de las zonas de inundación del río Tena…….…….57

Figura 12-4. Vista panorámica de las zonas de inundación en río Tena……57

Figura 13-4. Vista de dos zonas de inundación en las parroquias Tena y San Juan de Muyuna (polígonos 39-40)……...……..58

Figura 14-4. Vista panorámica de la zona límite de protección y viviendas que cumplen e incumplen con este margen……..……..……...59

Figura 15-4. Vista de las viviendas que cumplen (rosado) y viviendas que incumplen (verde) el margen de protección……..59

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

Los recursos hídricos están bajo presión del cambio climático, el cual aumenta la variabilidad del ciclo del agua creando consigo un sin número de eventos que afectan el derecho humano al agua (OMM, 2020). El informe Environmental Outlook de OCDE (2012), estima que para 2050, en comparación con la actualidad, l*a cantidad de personas amenazadas por inundaciones aumente de los 1.200 millones actuales a 1.600 millones para ese año (aproximadamente 20% de la población mundial). Se espera que el valor económico de los activos en riesgo alcance aproximadamente los 45 billones de dólares, un aumento de más del 340% con respecto a 2010.*

Siendo que el 90% de desastres ocurridos a nivel mundial son provenientes del agua, un 43% de entre los años de 1945 y 2015 son ocasionados por inundaciones, afectando a 2.300 millones de personas, matando a 157.000 más y causando daños por 662.000 millones de dólares (WWAP, 2019, págs. 17-18). Sin embargo, en el último reporte el promedio anual de personas afectadas por las inundaciones es de 106 millones, de las cuales aproximadamente 6000 perdieron la vida y ocasionó un daño económico de 31.400 millones de dólares (WWAP, 2019).

Aqueduct Global Flood Analyzer, es una herramienta en línea que permite observar y cuantificar los riegos a nivel global de las inundaciones. Los datos del año 2010, determinan que Brasil es uno de los países de América del Sur con más afecciones presentes por inundaciones siendo una población 760 mil afectados, obteniendo un porcentaje de 0.389% de población afectada en base al total de su población estimada en ese año, por consiguiente, en los años de 2030, aumentará un 0.10% afectando a más población acorde a la media actual de ese año. Le siguen países como, Argentina, Perú, Colombia, Venezuela, Bolivia, Chile, Paraguay, Guyana y Ecuador. Este último país en comparación con Brasil tiene un crecimiento porcentual de población afectada del 0.30% para el año 2030, 2050 y 2080 (Philip et al., 2020).

En los últimos 45 años en Ecuador, se ha observado una frecuencia alta de inundaciones en las provincias costeras como Guayas, Manabí, Los Ríos por el fenómeno del niño. Mientras que en la amazonía la frecuencia de lluvias se debe a las precipitaciones con altas densidades. Su tamaño e impacto potencial no solo dependen de fenómenos hidrológicos y meteorológicos, sino también de diversas topografías, textura del suelo, uso del suelo, entre otras (González et al., 2018).

Históricamente, la provincia de Napo se ha visto afectada por eventos climáticos extremos, que se relacionan principalmente con las fuertes lluvias continuas en toda la provincia que han provocado deslizamientos de tierra, desbordes de ríos e inundaciones. Acorde a la Dirección de Planificación del GADP de Napo, establece que hay un 37.7% del territorio que es propenso a inundarse mientras que el porcentaje restante no presenta peligro. Los registros obtenidos ininterrumpidamente desde 1989 hasta el 2014 han otorgado información para generar un análisis de la situación actual y futura que pueda ocasionar las inundaciones. Siendo las zonas bajas pobladas como Tena, Archidona, Mishauallí, Puerto Napo y Ahuano las más afectada pues son áreas circundantes a los ríos Pano, Misahuallí, Anzu, Tena y Jatunyacu (GADP Napo, 2019).

1.2 Problema

En los últimos 5 años en la ciudad de Tena se reportó dos inundaciones que ocasionaron conmoción y muchas pérdidas materiales y económicas en las zonas aledañas al río Tena, como es el caso del balneario "Las Sogas", el cual sufrió daños materiales y por ende el cierre de sus instalaciones hasta la reparación del mismo, esto produjo pérdidas económicas y paisajísticas, pues es uno de los puntos turísticos más visitados dentro de la ciudad de Tena. En los márgenes del río, existe presencia de poblaciones, centros y atractivos turísticos y sembríos de yuca y verde. Sin embargo, a pesar de estar establecido en el PDOT un margen de protección de 5 a 60 m desde el borde, existen viviendas que no respetan esta disposición y teniendo como cerco de protección árboles nativos de la zona que han estado por años, es por ello que existe la necesidad de levantar información en función de datos meteorológicos históricos que permitan a través del modelamiento en sistemas informáticos determinar las posibles áreas afectadas por inundaciones.

¿Cuáles son las áreas afectadas por las inundaciones en la ribera del río Tena provincia de Napo?

1.3 Objetivos

1.3.2 Objetivo General

Realizar la caracterización hidrológica del río Tena en el balneario “Las Sogas”

1.3.3 Objetivos Específicos

- Determinar el gasto base del río Tena en la zona de estudio.
- Identificar las características biofísicas de la zona de recarga del río Tena.
- Determinar el modelo de crecida para periodos de retorno de 5, 10, 20, 25 y 50 años del río Tena.
- Identificar las zonas con riesgo de inundación en el área de estudio.
- Identificar las viviendas que incumplan el margen de protección establecido.

1.4 Justificación

Históricamente, la provincia de Napo se ha visto afectada por eventos climáticos extremos, que se relacionan principalmente con las fuertes lluvias continuas en toda la provincia que han provocado deslizamientos de tierra, desbordes de ríos e inundaciones.

Acorde a la Dirección de Planificación del GADP de Napo, establece que hay un 37.7% del territorio propenso a inundaciones, mientras que el porcentaje restante no presenta peligro. Es ahí donde surge la necesidad de estudiar el río Tena, una microcuenca proveniente del río Chalupas originario del volcán Cotopaxi de la provincia con el mismo nombre, que atraviesa al cantón Tena, establecido en la región amazónica (GAD Municipal Tena, 2020).

A partir del conocimiento previo es importante la caracterización geomorfológica e hidrológica de la microcuenca, a fin de establecer una correcta disposición territorial para el asentamiento humano, ya que los caudales de avenida del río en temporales con altas precipitaciones generan una amenaza a la población y a infraestructuras cercanas al afluente.

Por ello, el presente trabajo busca aportar resultados a base de estudios del comportamiento de la microcuenca, que permita identificar las zonas que tengan riesgos de inundación y de esta forma disminuir perdidas de carácter socio económico y social.

CAPÍTULO II

2.1 Fundamentación Teórica

2.1.1 Cuencas hidrográficas

El término cuenca hidrográfica denomina a la parte del territorio que drena por un solo punto, el cual tiene un límite determinado por el relieve y la topografía de las cuencas vecinas. En relación al agua, una cuenca hidrográfica es una unidad natural definida por las áreas de captación de agua en un área particular donde el agua fluye superficialmente hacia un cuerpo de agua común. Por otro lado, cuando hablamos de cuenca hidrológica, la asociamos con la unidad de territorio en la que el agua que cae por precipitación, el agua que fluye en superficie, el agua almacenada en superficie, el agua en el perfil edáfico y el agua subterránea forman parte del ciclo del agua. Este proceso puede ser el resultado de la interacción de varios parámetros como los topográficos, climáticos, ecológicos y antrópicos (Brieva, 2018).

2.1.2 Caracterización de cuencas

La caracterización de las cuencas establece una serie de medidas básicas que ayudan a determinar cualidades específicas del terreno, muy aparte de las características observables in situ. Por ejemplo:

- **El área**, es una proyección de eje horizontal de toda la superficie de drenaje del sistema de escorrentía apuntando al mismo canal natural, es decir, el área definida por la cuenca del área de estudio, este parámetro generalmente se expresa en km^2 o hectáreas (Brieva, 2018).
- **El perímetro**, es la longitud en un plano horizontal que atraviesa la cuenca, es decir, la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del flujo principal se cruza con la línea de contorno de la cuenca, este parámetro generalmente se expresa en kilómetros (Brieva, 2018).
- **El coeficiente de compacidad,** compara la forma de la cuenca con la circunferencia, el círculo inscrito de la circunferencia es el mismo que el área de la cuenca en estudio (Brieva, 2018).
- **La densidad de drenaje**, la longitud de los afluentes que forman la cuenca en relación con el área (Tutoriales al día-Ingeniería Civil, 2014).
- **La densidad de corrientes,** es la relación entre el número de corrientes existentes en la cuenca con el área total de la misma.
- **El tiempo de concentración,** se establece mediante el tiempo entre el final de las precipitaciones efectiva y el término de la escorrentía superficial directa (Brieva, 2018).

2.1.3 Estimación de caudales

La estimación de caudales de una cuenca es necesaria para la organización del uso de los recursos hídricos, como la planeación agrícola y urbana, o para el dimensionamiento de las obras de infraestructura física, primordialmente hidráulicas (Herencia & Carrera, 2019) .

Es por ello que los siguientes parámetros ayudan a estimar los caudales:

- **Método de Manning**, establece el volumen que se transporta por el cauce de los afluentes de una cuenca evaluados en un lapso de tiempo. Para cuantificar este método se necesita del área, perímetro mojado, pendiente y el radio hidráulico (Fernández de Córdova, et al., 2018).
- **El coeficiente de rugosidad,** depende de factores como la geomorfología, vegetación y características geométricas del cauce del afluente, a base de estos datos se puede obtener la velocidad del fluido (Mora & Ávila, 2019).

2.1.4 Características edafológicas

Son parámetros únicos que se pueden observar o medir en el campo o en el laboratorio. Esta caracterización incluye el color del suelo, textura y estructura, actividad biológica, disposición de poros y concentración pedogénicas, así como medidas de respuesta del suelo, distribución del tamaño de partículas, capacidad de separación, intercambio catiónico, cantidad y naturaleza de sales solubles, etc. (Informe sobre recursos mundiales de suelo, 2017). Siendo los siguientes los más comunes:

- **La textura del suelo**, puede ser clasificada acorde al tamaño del grano del suelo de estudio en grupos de arenas, arcillas o limos. Este factor es muy importante, pues se puede determinar la capacidad de adsorción presentes en el suelo (Pereira, et al., 2011).
- **La velocidad de infiltración en el suelo,** es la capacidad del agua de penetrar la superficie del suelo llegando a las diferentes capas. Puede ser medida mediante el método de cilindro infiltrómetro el cual determinará en relación con el tiempo la capacidad del suelo en infiltrar el agua sea por precipitaciones o actividades de origen antropogénico (Pereira, et al., 2011).
- **El número de curva (NC),** parámetro hidrológico que nos ayuda a determinar y caracterizar el potencial de escorrentía de cualquier cuenca hidrológica. Este parámetro puede obtenerse de acuerdo con las características físicas de la cuenca (como cobertura vegetal, grupo hidrológico de suelos, etc.). El método se desarrolló después de analizar la precipitación y la escorrentía en diferentes tipos de suelo en 24 horas (Hidrología e Hidráulica, 2020).

2.1.5 Hidrogramas Unitarios Sintéticos

Son gráficos que manifiestan la variación del tiempo que se aplica a cuencas que tengan datos de precipitaciones y caudales en diferentes puntos dentro del área, aunque fueron desarrollados para los problemas de falta de información de esos parámetros deben contar con otros parámetros para mejorar su resultado final como estimación de caudales en pico, tiempo en pico, tiempo base, entre otros (Moore, 2009).

2.1.6 Lluvias de diseño

Se establecieron para aportar datos específicos que sirvan para una correcta planificación y diseño hidrológico, es decir, este factor es un evento hipotético que permite evaluar las posibles condiciones de una cuenca al pasar de los años (Pérez & Rodríguez, 2009).

2.1.7 El método del Servicio de Conservación del Suelo

Conocido como método SCS, se obtiene a partir del cálculo del volumen de escorrentía resultante de las precipitaciones al igual que el lapso de tiempo en que se infiltra el agua, incluido el flujo máximo. Estos datos son obtenidos por lo general de estaciones meteorológicas en donde este la instrumentación adecuada, sin embargo, se puede aplicar varios métodos para obtener los datos y formular los hidrogramas en software de fácil acceso (Universidad Nacional del Nordeste, 2005).

2.1.8 Sistemas informáticos de modelamiento

Una vez generada toda la información en diferentes programas de uso manual se pueden aplicar programas de digitalización los cuales a partir de los datos recolectados pueden otorgar un modelamiento más adecuado y acercado a la realidad, siempre y cuando no existan errores en la base de datos formada. Por ello, los softwares a continuación son los más utilizados para el modelamiento:

- **Modelamiento Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS),** tiene como objetivo simular el proceso de escorrentía pluvial en un sistema de cuencas dendríticas. Se utiliza para estudiar la disponibilidad de agua, el drenaje urbano, la previsión de caudales, la urbanización futura y la reducción de daños por inundaciones (Abderrazak & Abdessamed, 2019)

- **Modelamiento Hydrological Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS),** es un programa de modelado hidráulico unidimensional que consta de cuatro tipos de análisis en el río, como el modelo de flujo constante, el modelo de flujo inestable, el modelo de migración de sedimentos y el análisis de la calidad del agua, permitiendo simular el flujo en canales naturales o artificiales para determinar el nivel del agua, por lo que su propósito principal es realizar investigaciones de inundaciones y determinar el área de inundación (Ahmad & Simonovic, 2006).

CAPÍTULO III

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1. Localización

El presente trabajo se desarrolló en la ciudad de Tena, provincia de Napo, pues en ella atraviesa el río establecido para el estudio (Figura 1-3).

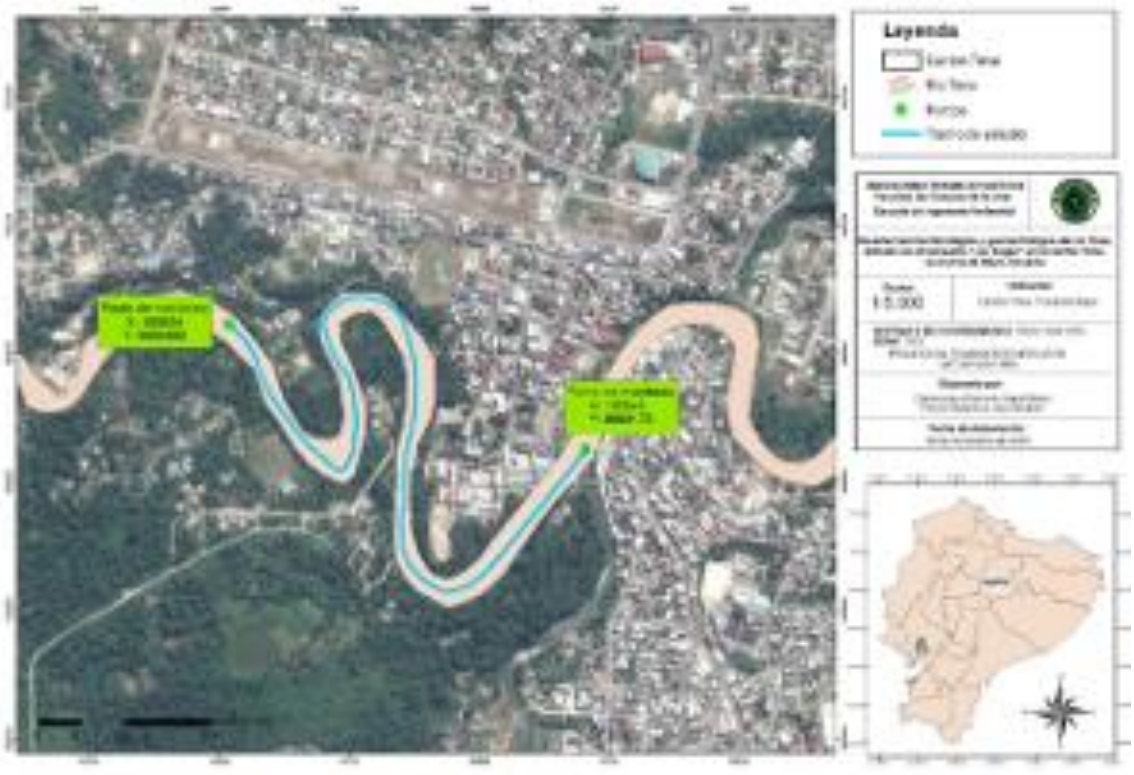


Figura 1-3. Mapa de ubicación del punto de monitoreo y desembocadura en el río Tena

Fuente: Propia

3.1.2. Clima

El clima generalmente está ubicado entre los rangos templado y sub húmedo tropical lluvioso propia de la región amazónica e incluso en los meses más secos, según los datos que nos proporciona el INAMHI (2012), la estación meteorología de Tena Hacienda Chaupi Shungo tiene una temperatura oscilante entre los 23 - 25 °C, las lluvias se producen a lo largo de todo el año con un promedio de 4620.2 mm anuales, siendo los meses de marzo y noviembre los que presentan una precipitación superior a 104.5 mm. En cuanto a la humedad relativa es de 84 a 87 %, con una velocidad de viento de 2.0- 4.0 m/s.

3.1.3. Tipo de investigación

El presente trabajo se basa en la investigación descriptiva analítica estableciendo modelos en función de datos históricos y datos obtenidos en prácticas de la cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas, donde en función de los mismos se desarrollan modelos hidrográficos.

3.1.4. Método de investigación

El presente trabajo se desarrolla con investigación de data secundaria tomada de la Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas perteneciente al INAMHI, el documento Estudio de Intensidades (Guachamín, 2015) y datos de prácticas realizadas en la cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas y el empleo de fórmulas matemáticas además del uso de programas informáticos de modelamiento (Gaspari, 2012).

3.1.5. Diseño de la investigación

Para llevar a cabo el trabajo investigativo, primero se procedió a la identificación del área de estudio en donde se determinó las coordenadas del balneario con la aplicación GPS Essentials, al igual que la ubicación del punto firme para estimar el caudal (roca de 1.40 m de altura). Esas coordenadas fueron corroboradas en el programa Google Earth Pro.

Se recopiló imágenes TIF del sector procedentes del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para determinar los límites de la cuenca en el programa Arc Map 10.5. Se establece el área de estudio y perímetro del afluente, así como la aplicación de la herramienta *Hidrology* para el modelamiento del flujo de agua de la zona a estudiar. Por consiguiente, se estableció la plataforma de EMAS del INAMHI como base de datos hidrometeorológicos los cuales son recolectados diariamente a las 11:40 pm, para una mejor apreciación de los diferentes parámetros en el transcurso del día.

Los sucesos presentes en el afluente son analizados conjuntamente con la recopilación de los datos en el campo, para un modelamiento del comportamiento real del río.

3.1.5.1. Estimación de caudal

Para la estimación del caudal se procedió a marcar con pintura color rojo en el punto firme, líneas cada 10 centímetros, el cual ayudó a la observación del nivel del río durante 17 semanas. Luego se procedió a recolectar los datos de la batimetría, en donde se registró la profundidad del río cada 1 metro de distancia a lo ancho del río. Este mismo proceso se lo realizó 5 metros agua arriba, para establecer los parámetros de área de mojado y perímetro de mojado, estableciéndose una media entre el perfil de entrada y el de salida.

Luego se observó los rastros de crecida como presencia de hojarasca acumulada o ramales estancados en los márgenes izquierdo y derecho, para establecer la altura máxima que alcanza el río cuando crece y en función de las características del perfil estimar el caudal.

3.1.5.2. Componente biofísico

Dentro del componente biofísico del río Tena considerando hasta el punto de unión con el río Pano se determinaron los siguientes parámetros relativos a la forma de la cuenca:

3.1.5.2.1. Parámetros relativos a la forma

Comprende la base para el análisis de las características físicas del área territorial en la que se establece el estudio, las cuales comprende las siguientes:

- Área, se calcula mediante el programa Arc Map 10.5 mediante el establecimiento de herramientas de análisis hidrológico y se puede clasificar en:

Tabla 1-3. Clasificación de la cuenca según el área de cobertura

Clasificación	Tamaño (km2)	% del total del país
Muy pequeñas	< 25	4,2
Pequeñas	25-250	2,5
Intermedia pequeña	250-500	7,1
Intermedia grande	500-2500	14,1
Grandes	2500-5000	43,1
Muy grandes	>5000	19,7

Tomado de: (Chow, Maidment, & Ways, 1994). Hidrología Aplicada

- Coeficiente de compacidad, fue calculado mediante la ecuación 1.

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}} \qquad (1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravellius (adimensional)

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km^2) (Brieva, 2018)

En donde se puede interpretar con la siguiente tabla:

Tabla 2-3. Interpretación del coeficiente de compacidad

Coeficiente de compacidad	Clasificación
1 a 1.25	Casi redonda a Oval redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
175 a 2	Rectangular

Tomado de: (Gaspari, 2012). Caracterización cordométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aireas, Argentina

3.1.5.3. Parámetros relativos al relieve

Estos parámetros determinan la influencia hidrológica ya que predominan más que los parámetros de la forma (Ibañez, Moreno, & Gisbert, 2012).

- Pendiente, se calculó mediante el uso de la ecuación 2:

$$Pm = \frac{h * L}{A} * 100 \qquad (2)$$

Donde:

Pm: Pendiente de la media del cauce (%)

h: Distancia vertical entre la sección (km)

L: Longitud de la sección (km)

A: Área (km^2) (Martínez E. , 2005)

Para interpretar el porcentaje de la pendiente, se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 3-3. Interpretación de pendientes del río

Pendiente (%)	Clasificación de la pendiente
> 5	Muy plano
0.5 – 1	Plano
1 – 3	Suave
3 – 12	Lomas
12 – 20	Accidentado
20 – 50	Muy fuerte
50 – 75	Escarpado
< 75	Muy escarpado

Tomado de: (Gaspari, 2012). Caracterización cordométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aireas, Argentina

3.1.5.4. Parámetros relativos al drenaje

Establecen la relación entre las corrientes del río y el área de la cuenca en los cuales tenemos los siguientes parámetros:

- Orden de corrientes (Horton-Strahler), identifica el grado de ramificación que existe en la cuenca. Se le asigna un valor para jerarquizar la red de drenaje (Gaspari, 2012), conformando la siguiente tabla:

Tabla 4-3. Jerarquización del orden de corrientes

Curso de drenaje	**Orden**
Naciente	1
Conjunción de dos orden 1	2
Conjunción de dos orden 2	3
Conjunción de dos orden 3	4
Conjunción de dos orden n	n

n: número sucesivo

Tomado de: (Gaspari, 2012). Caracterización cordométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aireas, Argentina

- Relación de bifurcación, se calculó con el empleo de la ecuación 3:

$$Rb = \frac{No}{Nos} \quad (3)$$

Donde:

Rb: Relación de bifurcación (adimensional)

No: Número segmentos de un orden (adimensional)

Nos: Número de segmentos de un orden inmediatamente superior (adimensional) (Martínez E. , 2005)

- Densidad de corriente, puede determinarse con la ecuación 4:

$$Ds = \frac{Ns}{A} \quad (4)$$

Donde:

Ds: Densidad de corriente (número de corrientes/km^2)

Ns: Numero de corrientes perennes o intermitentes (número de corrientes)

A: Área de la cuenca (km^2)

- Densidad de drenaje, se determina mediante la ecuación 5:

$$Dd = \frac{Ls}{A} \quad (5)$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (km)

Ls: Longitud total de las corrientes (km)

A: Área de la cuenca (km^2)

- Tiempo de concentración, establece el tiempo de recorrido del flujo de agua desde su naciente hasta la desembocadura de la cuenca (Gaspari, 2012). Para determinar este parámetro se utiliza la ecuación 6:

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

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hora)

L: Longitud del canal (Km)

S: Pendiente

- Área de mojado, expresa el ancho del río por el promedio de la profundidad del mismo. Se calcula mediante la ecuación 7 de (Villalta & Castañeda, 2003):

$$A = L * h \quad (7)$$

Donde:

A: Área de mojado (m^2)

L: Ancho del río crecido (m)

H: Profundidad promedio del río (m)

- Perímetro de mojado, expresa el ancho del cauce más la profundidad en el margen derecho e izquierdo del río. Se calcula mediante la ecuación 8:

$$P = L + h_d + h_i \quad (8)$$

Donde:

P: Perímetro de mojado (m^2)

$\boldsymbol{h_d}$**:** Profundidad en el margen derecho (m)

$\boldsymbol{h_i}$**:** Profundidad en el margen izquierdo(m) (Martínez E. , 2005)

- Radio hidráulico, expresa el área de mojado sobre el perímetro mojado con el fin de calcular el caudal del cauce. Se pude calcular por la ecuación 9:

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

Donde:

Rh: Radio hidráulico (adimensional)

A: Área de mojado (m^2**)**

P: Perímetro de mojado (m^2) (Villalta & Castañeda, 2003)

- Coeficiente de Manning, se determina utilizando a la ecuación 11:

$$n = (0{,}0495 * (D)^{0.16}) \qquad (10)$$

D: Promedio de los diámetros de las piedras (Manning, 1889)

- Velocidad del flujo (Ecuación de Bray), se determina por la ecuación 10:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

Donde:

V: Velocidad del flujo (m/s)

R: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente del cauce (m)

n: Coeficiente de Manning (adimensional) (Villalta & Castañeda, 2003)

3.1.5.5.Metodología del cilindro infiltrómetro

La realización de este método tiene como fin establecer la velocidad de infiltración que tiene el suelo en un lapso de tiempo determinado, por ello se siguen los siguientes pasos

1. Se debe encontrar una localización representativa del suelo a estudiar.

2. Colocar el cilindro (tacho) previamente desfondado sobre el terreno hundiéndolo aproximadamente 10 centímetros para luego sellarlo con la misma tierra removida en los lados.
3. Dentro de este colocar un plástico para que no se pronuncien huecos al momento de verter el agua.
4. Colocar una cinta métrica, tener cerca un cronómetro y una libreta previamente establecido los tiempos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 45, 60,90, 120 minutos
5. Verter el agua dentro del cilindro y anotar la medida inicial, luego esperar 1 minuto y anotar la medida que refleja y así sucesivamente con cada uno de los minutos establecidos anteriormente.
6. Una vez obtenido los valores de los tiempos se procede al cálculo de la lectura parcial desde el minuto 1, siendo la resta de la lectura inicial y la lectura de ese minuto, para la lectura parcial en el minuto 2, se resta el valor de la lectura del minuto 1 y el minuto dos, y así sucesivamente.
7. Luego se procede a calcular la lectura acumulada siendo la suma de la lectura parcial del minuto 1 y la lectura acumulada inicial, la cual es cero.
8. Por último, se calcula la velocidad de infiltración dada en las unidades cm/min, siendo la división de la lectura acumulada para los lapsos de tiempo.

Una vez obtenidos estos valores se establece la gráfica de infiltración para encontrar la intercepción entre la velocidad de infiltración y la lectura cumulada, para con ello establecer la pendiente, y calcular la fórmula de Kostiakok en 1962 (Velocidad de infiltración instantánea) ecuación 11:

$$I = (K\ x\ T)^n \qquad (12)$$

3.1.5.6. Número de curva

Para determinar el número de curva se aplicó el método de Horton (ecuación 12) para calcular la capacidad de infiltración, siendo el valor de fc (Capacidad de infiltración en el último minuto) utilizado para determinar el número de curva (Anexo 1), acorde al grupo de suelo que pertenece en base a su infiltración Tabla 5, el tipo de vegetación encontrada al momento de realizar la metodología del cilindro infiltrómetro y la estimación de la condición hidrológica (Anexo 2), identifica el número de curva, sin embargo este se procede a realizar una conversión acorde a las condiciones previas de precipitaciones en 5 días, ecuación 14 o ecuación 15:

$$F = fc + (fo - fc) * e^{-K*t} \quad (13)$$

Tabla 5-3. Tipos de suelo según sea su tasa mínima de infiltración

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

Tomado de: (Martínez A. , 1996). Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal

$$CN\ (I) = \frac{4{,}2 * CN(II)}{10 - 0{,}058 * CN\ (II)} \quad (14)$$

$$CN\ (III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0{,}13 * CN\ (II)} \quad (15)$$

- Caudal, expresa la velocidad de agua en función del tiempo el cual se puede calcular usando la ecuación 16:

$$Q = A * v \quad (16)$$

Donde:

Q: Gasto o caudal de la corriente, (m^3/s)

A: Área de mojado (m^2)

v: Velocidad media de la corriente (m/s) (Martínez E. , 2005)

- Período de retorno, nos indica el tiempo del cual se dispone información meteorológica y que a su vez permite hacer proyecciones del comportamiento de las precipitaciones al futuro (Martínez E. , 2005). Se puede calcular mediante la ecuación 17:

$$T = \frac{1}{p} \qquad (17)$$

Donde:

T: Período de retorno (años)

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

3.1.5.7. Determinación de la lluvia del proyecto

Para determinar estos parámetros se procedió a recolectar los registros de precipitaciones de la estación meteorológica de Tena Hacienda Chaupi Shungo, usando la metodología de (Martínez E. , 2005).

- Curvas IDF, estas estarán previamente establecidas acorde al libro "Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología" de (Guachamín, 2015) para tiempos de retorno de 2, 5, 10,15, 25 y 50 años.

Tabla 6-3. Intensidad, Duración, Frecuencia de la estación Tena Hda. Chaupishungo

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R^2
CÓDIGO	NOMBRE				
M0070	TENA HDA. CHAUPISHUNGO	5 < 20	$i: 116.3259 * T^{0.1968} * t^{-0.1415}$	0.9821	0.9645
		20 < 60	$i: 389.5303 * T^{0.1915} * t^{-0.5444}$	0.9928	0.9857
		60 < 1440	$i: 992.6468 * T^{0.1581} * t^{-0.7521}$	0.9973	0.9947

Tomado de: (Guachamín, 2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

- Determinación del hietograma, indica el comportamiento de una lluvia en función de los datos de las curvas IDF. El hietograma puede calcularse con las ecuaciones 18 a 21,

$$H_1 = I_1 \quad (18)$$

Donde:

H: Lluvia de diseño (mm)

I: Intensidad de la lluvia (mm)

$$H_2 = 2I_2 - H_1 \quad (19)$$

Donde:

H: Lluvia de diseño (mm)

I: Intensidad de la lluvia (mm)

$$H_3 = 3I_3 - H_1 - H_2 \quad (20)$$

Donde:

H: Lluvia de diseño (mm)

I: Intensidad de la lluvia (mm)

$$H_n = nI_n - H_{n-1} - H_{n-2} - H_2 - H_1 \quad (21)$$

Donde:

H: Lluvia de diseño (mm)

I: Intensidad de la lluvia (mm)

n: número de veces

3.1.5.8. Hidrograma del SCS (Soil Conservation System)

Para perfilar los modelos de lluvia se trabaja con el hidrograma SCS, para ello primero se procede a determinar lo siguiente:

- Tiempo en punta, puede determinarse con la ecuación 22:

$$t_p = \frac{D}{2} + t_r \quad (22)$$

Donde:

T_p: tiempo de punta (horas)

D: duración de la lluvia (horas)

t_r: tiempo de retardo (t_r=0,6*t_c) (Martínez E. , 2005)

- Caudal en punta, se determina con la ecuación 23:

$$Q_p = (2{,}08 * A)/t_p \qquad (23)$$

Donde:

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

t_p: Tiempo de punta (horas)

A: Área en (km^2)

3.1.5.9. Metodología HEC-HMS

Esta metodología permite el modelamiento para simulación de los procesos hidrológicos de una cuenca, gracias al análisis del comportamiento hídrico en la zona tal como infiltraciones de sucesos e hidrograma unitarios.

(Soria, 2014), se deben seguir los siguientes pasos para una correcta aplicación de esta técnica, sin embargo, antes de realizar la simulación se debe instalar el programa previamente en el computador desde la página web US Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos-USACE), por consiguiente:

1. Abrir el programa, crear un proyecto y modelo nuevo: *Components → Basin model manager → New → Create*
2. Incluir el mapa de la cuenca obtenido del programa Arc Maps 10.5: *View → Background maps → Adds*
3. Agregar elementos del sistema. Puede ser una cuenca (*Basin*), subcuenca (*Subbasin*), reservorio (*Reservoir*), entre otros.
4. Una vez definidos los elementos a usar en la cuenca se procede a conectar acorde al orden cada uno de ellos: C*lick derecho sobre el elemento agregado → Connect downstream → Elegir el elemento que se conecta.*

5. Introducir los datos de cada componente para que el programa sea capaz de realizar los cálculos necesarios.
6. Generar un modelo meteorológico para agregar los datos de precipitación de las lluvias de diseño: *Components → Time series data manager → New → Create.*
7. Generar el control de especificaciones. *Components → Control specification Manager → New*.
8. Crear la simulación. *Compute → Create simulation run,* con el fin de elegir la combinación de los elementos para la simulación. Luego *Compute → Select run 1 → Run 1,* el programa correrá la simulación sin problemas.

En tal caso de no correr la simulación en la parte baja enuncia los errores cometidos, siendo corregibles. Una vez establecidos se procede a realizar otra simulación esperando que no presente errores.

3.1.5.10. Metodología HEC GeoRAS

Esta metodología determina las zonas de inundación mediante polígonos que pueden ser transferidos a herramientas como Google Earth para establecer correctamente los recursos afectados. Por ende, para modelar estos polígonos se establece los siguientes pasos:

1. Abrir Arc Map 10.5 en donde previamente esté instalado la herramienta HEC Geo
2. Dentro de esta se coloca la el TIN y el shapefile del río.
3. Se procede a realizar el procesamiento de la información mediante la creación de un layer, correspondiente al río (River). Hacer click en *RAS Geometry → Create RAS Layers → Stream Centerline*. Una vez creado este **River,** se hace click derecho sobre el ***River*** y se abre la edición, con el fin de dibujar el río en esta capa.
4. Después se crean las *Bank Lines. RAS Geometry → Create RAS Layers → Bank Lines.* cuando se crea esta capa se abre el editor y se las dibuja en los dos márgenes del ***River***, dejando un espacio y evitando que se toquen.
5. Se crea los *Flow Paths, RAS Geometry → Create RAS Layers → Flow Path Centerline,* al igual que las *Bank Lines*, se las dibuja para los dos márgenes del río, en este caso dejando un espacio entre las Bank Lines.
6. Utilizamos el botón *Assing River and Reach Name*, para darle nombre al rio y al tramo.
7. Utilizamos el botón *Select Flowpath and Assing LineType Attributes*, para asignar, si es canal o delimitante de la llanura de inundación.

8. Creamos las líneas de corte *XS Cut Lines*, R*AS Geometry → Create RAS Layers → XS Cut Lines*, antes de generar las líneas de corte se analiza la Topología para evitar algún problema al final, *RAS Geometry → Stream Centerline Attributes → Topology*, de igual forma las longitudes, *RAS Geometry → Stream Centerline Attributes → Lengths/Stations* y las cotas, *RAS Geometry → Stream Centerline Attributes → Lengths/Elevations.*
9. Procesamos las secciones transversales con el botón *Construct XS Cut Lines,* en donde colocamos la distancia de separación entre líneas de corte y el valor de la longitud de cada línea de corte.
10. Luego realizamos el análisis el procesamiento de las secciones transversales *RAS Geometry → XS Cut Line Attributes → River Reach Names*, se procesa para cada sección los limites correspondientes a cada margen del rio tanto izquierdo como derecho *RAS Geometry → XS Cut Line Attributes → Bank Stations*, de igual forma se procesa la distancia de aguas abajo *RAS Geometry → XS Cut Line Attributes → Downstream Reach Lengths,* así mismo las cotas para cada sección de corte *RAS Geometry → XS Cut Line Attributes → Elevations.* Una vez lista toda esta información, se procede a exportar para utilizarla en el HEC RAS, *RAS Geometry → Export RAS Data.*

Para procesar la información se instalará previamente el software HEC RAS, por consiguiente, se seguirán los pasos descritos:

1. Creamos un nuevo proyecto *File → New Project.*
2. Importamos la información proveniente del HEC Geo *File → Import Geometry Data → GIS Forma*t, cuando se importe, se especifica el sistema de unidades de medidas siendo (SI metric) y damos siguiente a las demás pestañas que aparecen.
3. Entramos a Geometric Data donde podremos observar la data que fue exportada desde el Arc Gis con la herramienta HEC Geo, dentro de esta ventana se hace click en *Tables* y se selecciona *Manning´s or K values* y se coloca el número de Manning calculado anteriormente.
4. Luego colocamos los caudales pico obtenidos del HEC HMS mediante la herramienta *Steady Flow Data* para todos los periodos estudiados (2, 5, 15, 20, 25, 50), colocando el valor de la pendiente, por último, se hace el cómputo y listo.
5. Se lo exportan los datos para procesarlos en el Arc Gis, acorde al perfil generado anteriormente en la herramienta *Import RAS SDF File*. Cuando este formato este procesado se debe convertir a formato XML, para que se procese de mejor manera, donde

se aplica las herramientas *RAS Mapping Geometry → Import RAS Data* para importar dentro del Arc Gis.

6. Luego se procede a formar la zona de inundación *RAS Mapping → Inundation Mapping → Water Surface Generation*, seleccionamos el perfil del HEC RAS.
7. Por último, se genera la zona de inundación RAS *Mapping → Inundation Mapping → Floodplain Delineation Using Rasters*, y podemos observar la zona de inundación a lo largo del cauce estudiado.

Con esta metodología se podrá observar en los resultados las imágenes salientes del software en donde se observa las zonas inundadas (polígonos) alrededor del rió Tena.

Por consiguientes a ello se establecerá los siguientes pasos para establecer las viviendas que incumplen con el margen de protección (5 a 60 metros), utilizando el programa ArcGis:

1. Abrir Arc Map 10.5, en la cinta de herramientas seleccionar *File → Add Data → Add Basemap* y se escoge el mapa de relieve.
2. Luego en nuestra carpeta generar dos *ShapeFiles*, el primero de punto denominado *viviendas* y el segundo del polígono denominado *río.*
3. Editar primero el *shapefile viviendas* y marcar cada una de las edificaciones que se encuentren aledañas al río. Una vez acabada se guarda los cambios y se procede a realizar el *shapefile río* de igual forma que la anterior de dibuja el contorno del río Tena desde su naciente hasta su desembocadura formando así el polígono.
4. Una vez listo estos dos shapefiles, se realiza un *Buffer* en el cual se coloca la distancia máxima en la que se puede construir alrededor del río (60 metros).
5. Hacer un *Intersect* colocando el *Buffer* y el shapefile *viviendas*, se acepta y de forma las viviendas que se encuentran dentro del límite máximo de construcción.

Una vez establecido esto se puede observar en el apartado resultados el mapa de viviendas que incumplen y las cuales cumplen el margen de protección para la construcción de su vivienda

3.1.6. Recursos

Con el objetivo de determinar correctamente la investigación bibliográfica y la recolección de datos de campo, se establecieron las siguientes herramientas o recursos para el cumplimiento de este propósito:

1. Computador

2. GPS Essentials
3. Libreta de campo
4. Lápiz
5. Botas
6. Flexómetro
7. Cinta métrica

CAPÍTULO IV

4.1. Resultados

4.1.1. Características de la cuenca

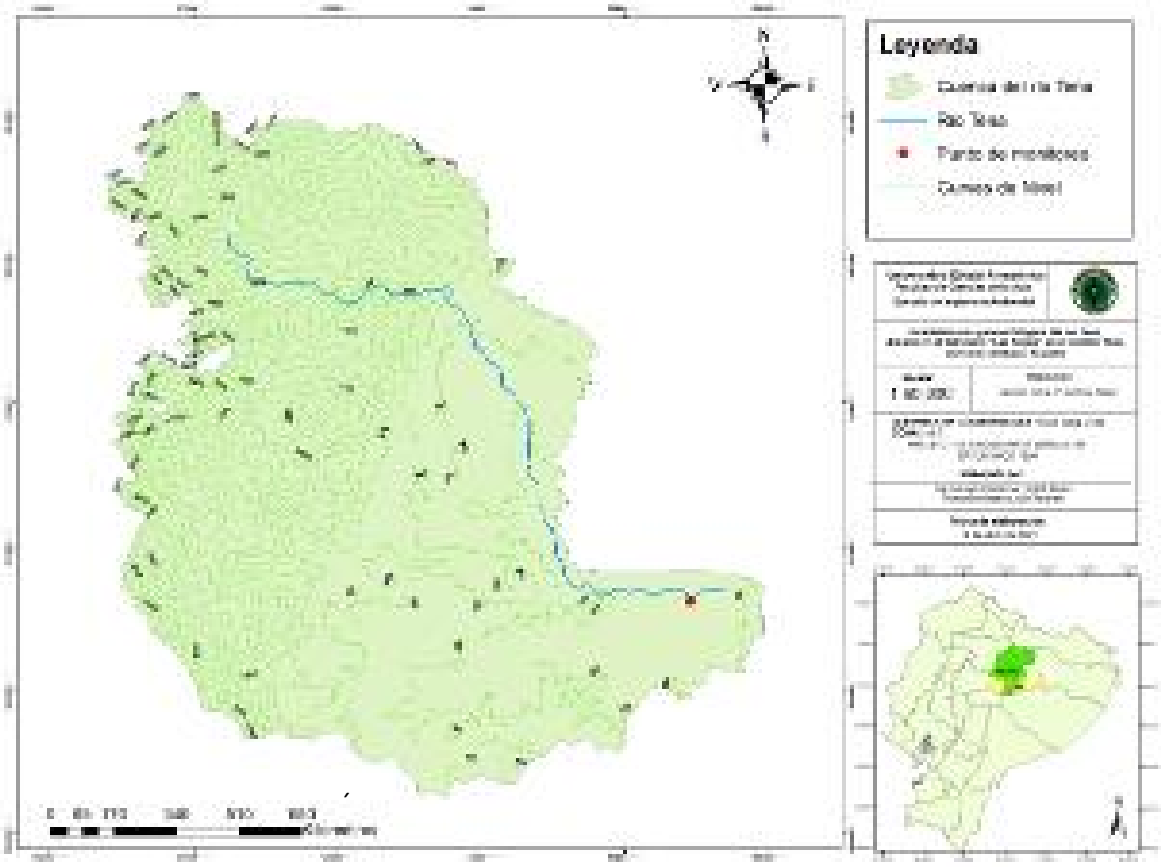


Figura 1-4. Mapa de la caracterización geomorfológica de la cuenca del río Tena
Fuente: Propia

Para la caracterización de la cuenca del río Tena se tomó en cuenta la pendiente de 0.0034 metros en base a la diferencia de altura en la entrada y salida del río (Tabla 1-4).

Dentro de este marco en base al uso del software Arc Map 10.5, se estableció un área de recarga (Figura 1-4) siendo 233.65 km^2, con un perímetro de 94.88 km en base a la cuenca del río tena (Tabla 1-4).

En cuanto al cauce la distancia lineal de 17.98 km, una longitud de 23.57 km, estableciendo que la naciente del río se encuentra en la cota alta de 1325 msnm y la desembocadura en la cota baja de 525 msnm, en base a estos datos se calculó el coeficiente de compacidad para la cuenca

de recarga siendo de 1.74 otorgando una clasificación oval oblonga, así mismo se calculó el tiempo de retención otorgando un tiempo de 6.74 horas (Tabla 1-4*)*.

Tabla 1-4. Características de la cuenca del río Tena, provincia de Napo

MEDIDA	VALOR	UNIDAD
Pendiente	0,0034	m
Área de la cuenca	233,65	km^2
Perímetro de la cuenca	94,88	km
Longitud del cauce	23,57	km
Distancia lineal del cauce	17,98	km
Cota alta	1325	msnm
Cota baja	525	msnm
Kc	1,74	
Tc	6,74	h

Fuente: Propia

4.1.2. Pruebas de infiltración

Las pruebas de infiltración se hicieron en base al método del Cilindro Infiltrómetro, el cual se estudió en los márgenes izquierdo y derecho del cauce del río Tena, con pruebas superficiales y con los diferentes parámetros como la velocidad de infiltración, tiempo de monitoreo de 2 horas, categorías del suelo, número de curva entre otras.

Para el margen derecho (Anexo 3) dio una lectura pico de 5.9 cm en 120 minutos, sin embargo, en la velocidad de infiltración el pico fue de 0.06 cm/min en 20 min. Mientras que para el margen izquierdo (Anexo 4) la lectura pico fue de 54.8 cm en los 120 minutos y la velocidad de infiltración de 3 cm/s en el minuto 1 y 2 del monitoreo.

En base a lo anterior se estableció los siguientes resultados para el margen derecho. La infiltración en el primer minuto fue de 0 cm/min, la velocidad de infiltración en la primer hora fue de 0.052 cm/min, su infiltración en el último minuto fue de 0.049, teniendo una capacidad de infiltración de 0.046 mm/h, así mismo con el análisis del suelo se estableció que tiene una categoría A, con un espesor de hojarasca de 0, un novel de compacidad de 1, ya que tiene una vegetación tipo matorral-herbazal, en donde los matorrales cubrían aproximadamente el 50% del suelo, es así que el número de curva en categoría II es de 60 , mientras que la conversión del número de curva a categoría III es 27.94 (Tabla 2-4).

Para el margen izquierdo se establecieron los mismos parámetros obteniendo los siguientes resultados. Infiltración inicial de 3 cm/min, velocidad de infiltración en la hora uno fue de

0.064 cm/min, en la infiltración en el último minuto fue de 0.46 cm/min, siendo la capacidad de infiltración de 0.97 mm/h. en consecuencia se puedo estudiar las características establecidas en el suelo siendo de categoría A, teniendo un espesor de hojarasca de 1 cm, un nivel de compacidad de 2, estableciendo una vegetación de cultivos como yuca y plátano no alineado. Con ello, se otorga un número de curva en categoría II de 60, con una precipitación acumulada de 7.8 mm, estableciendo que la conversión de la curva a categoría III es de 77.53 (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Prueba de infiltración para los márgenes derecho e izquierdo del río Tena en la provincia de Napo.

MARGEN	**DERECHO**	**IZQUIERDO**
PRUEBA	**SUPERFICIAL**	**SUPERFICIAL**
Fo (cm/min)	0,000	3
Velocidad de Infiltración en la hora 1	0,052	0,64
Fc	0,049	0,46
F	0,046	0,97
Categoría del suelo	A	A
Espesor de hojarasca	0	1
Grado de compacidad	1	2
Tipo de vegetación	Matorral-Herbazal, siendo el matorral preponderante < 50 %	Cultivos no alineados
Número de curva (II)	60	60
Precipitación acumulada 5 días previos	7,8	7,8
Número de curva (III)	27,94	77,53

Fuente: Propia

4.1.3. Medición de Caudales

Para determinar los caudales en base a la metodología de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia se usó las establecidas en el libro meteorológico del Inhami. Primero se estableció los perfiles en la entrada (Anexo 4) y salida (Figura 2-4) del río Tena, siendo 25.6 metros el ancho en la entrada y 32 metros en la salida.

Según el método de trapecio (Figura 2-4), se calculó el área de mojado, el perímetro de mojado y profundidad promedio acorde a la profundidad y crecida, es decir, de 0.10 metros a 0.30 metros es crecida tanto en la entrada como en la salida, y de 0.10 a 0.70 metros es la profundidad en la entrada y de 0.10 a 0.40 metros de profundidad en la salida.

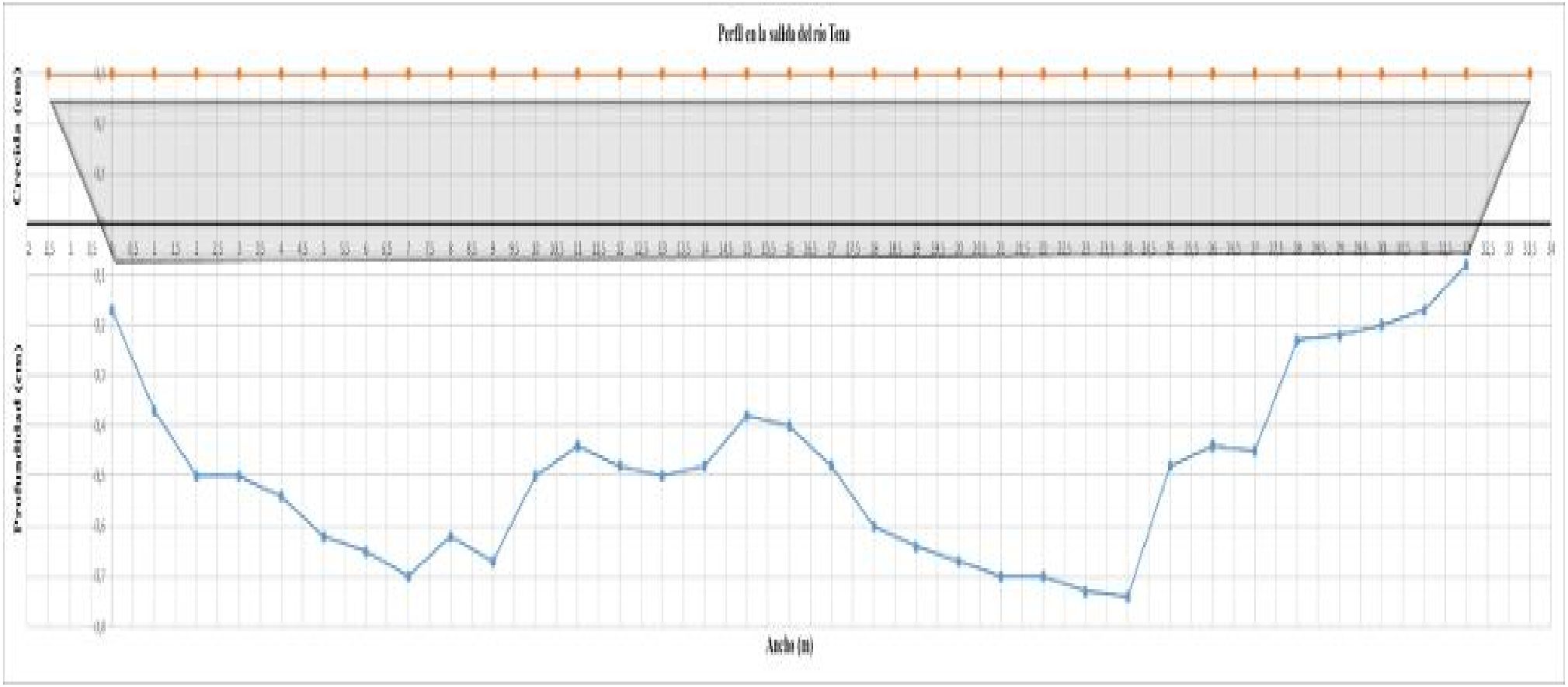
En base a esto, se determinó el área total y perímetro total de la subcuenca Tena basados en el cálculo de las áreas y perímetros de mojado y crecida para la entrada y salida, interpretando

que existen profundidades de 0.10 a 0.70 metros en la entrada, la distancia o ancho del río acorde a cada medida de profundidad, perímetro y área de mojado. De la misma forma para la salida las profundidades fueron de 0.10 metros a 0.40 metros con la distancia, perímetro y área de mojado calculado acorde a la profundidad del río. Desde estos datos se pudo establecer el área y perímetro total, siendo que el área total acorde a la profundidad de 0.70 metros en la entrada puede llegar a los 32.11 metros, mientras si crece 0.30 metros su área 25.33 metros. Para el perfil de salida, el área que abarca cuando está a 0.40 metros de profundidad es de 27.4 metros y si crece 0.30 metros es de 25.39 metros (Tabla 3-4).

Con lo anterior se estableció el resultado de los caudales, en donde se realizó un promedio entre los dos perfiles de entrada y salida estableciendo una profundidad de hasta 0.40 metros y una crecida de hasta 0.30 metros, el radio hidráulico acorde a los metros de profundidad y crecida, la pendiente establecida en la caracterización, el coeficiente de rugosidad de 0.038 en base a la ecuación de Bray, la velocidad y el caudal (Tabla 4-4). Resultando que cuando existe una crecida de 0.30 metros el caudal es de 26,30 m^3/s, mientras si la profundidad se mantiene en 0.40 metros su caudal será de 1 m^3/s (Tabla 4-4).

Finalmente, se puede obtener el gasto base, es decir, el caudal mínimo considerando que solo en los meses de octubre, noviembre y enero (Figura 3-4), tendrán el gasto base más bajo siendo de 1 m^3/s en octubre y de 19.98 m^3/s en el mes de noviembre y enero.

Figura 2-4. Gráfico del perfil en la desembocadura del río Tena



Fuente: Propia

Tabla 3-4. Resultados del área y perímetro en la entrada y salida del río Tena, provincia de Napo

Perfil	Profundidad m	Distancia m	Área mojado m^2	Perímetro mojado m	Promedio Profundidad m	Área de crecida m^2	Área Total m^2	c	Perímetro total m
Entrada del cauce	0,1	26,2	20,54	23,4	0,78	2,59	20,1	0,61	21,99
	0,2	26,1	23,07	25,5	0,88	5,17	22,68	0,54	21,92
	0,3	26,5	23,43	25,5	0,88	7,815	25,33	0,95	22,33
	0,1	25,2	14,72	19,48	0,58	2,54	20,05	0,41	21,79
	0,2	25	9,78	16,21	0,39	5,06	22,57	0,63	22,01
	0,3	24,5	7,35	14,94	0,3	7,515	25,03	1,14	22,52
	0,4	24	5,15	13,42	0,21	9,92	27,43	1,65	23,03
	0,5	23,4	3,38	12,25	0,14	12,25	29,76	2,26	23,64
	0,6	22,5	2,68	11,98	0,12	14,43	31,94	3,16	24,54
	0,7	16,1	1,91	8,29	0,12	14,595	32,11	9,53	30,91
Salida del cauce	0,1	32,6	19,53	25,23	0,6	3,23	18,79	0,61	24,07
	0,2	33,1	15,56	24,96	0,62	6,51	22,07	1,12	24,58
	0,3	33,5	19,45	26,11	0,75	9,825	25,39	1,53	25
	0,1	31,7	12,77	20,94	0,4	3,185	18,75	0,32	23,78
	0,2	29,6	4,19	17,5	0,24	6,16	21,72	2,41	25,87
	0,3	27,6	2,48	15,49	0,16	8,94	24,5	4,41	27,88
	0,4	27,2	1,66	14,19	0,12	11,84	27,4	4,82	28,28

Fuente: Propia

Tabla 4-4. Resultados de caudales en la profundidad y crecida del río Tena, provincia de Napo

Cota (m)	Área promedio (m^2)	Perímetro promedio (m)	Radio Hidráulico	Pendiente (m)	Coeficiente de Rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
0,1	40,07	48,63	0,82	0,0034	0,038	1,35	26,34
0,2	38,63	50,46	0,77	0,0034	0,038	1,28	19,98
0,3	42,88	51,61	0,83	0,0034	0,038	1,36	26,38
-0,1	27,49	40,42	0,68	0,0034	0,038	1,19	15,15
-0,2	13,97	33,71	0,41	0,0034	0,038	0,85	3,58
-0,3	9,83	30,44	0,32	0,0034	0,038	0,72	1,79
-0,4	6,81	27,61	0,25	0,0034	0,038	0,60	1,00

Fuente: Propia

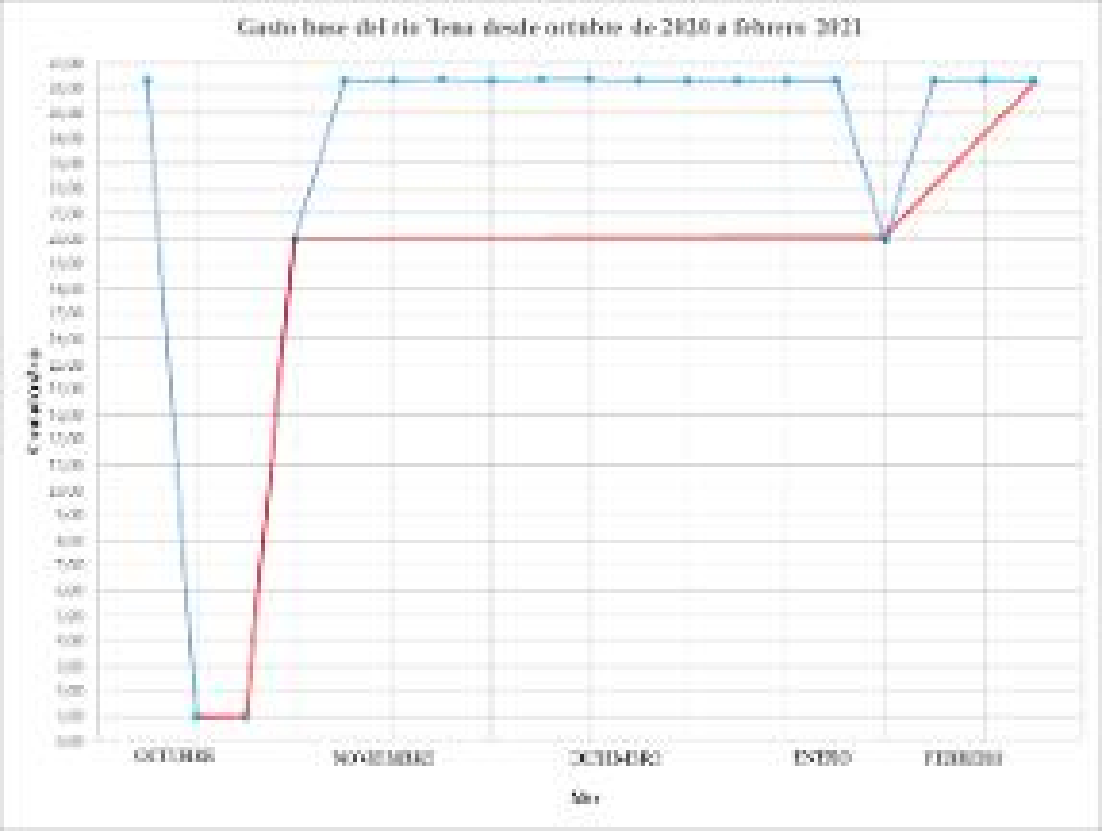


Figura 3-4. Gasto Base mensual en el río Tena, provincia de Napo
Fuente: Propia

4.1.4. Lluvia de proyecto

La lluvia de proyecto o proyección se estableció para periodos de 2, 5, 10, 15, 25 y 50 años, en las 24 horas que tiene un día, siendo que en la hora 13, es decir a la 01:00 pm existirá una alta precipitación teniendo que en 2 años habrá 50.94 mm, para 5 años 58.88 mm, para 10 años, 65.70 mm, para 15 años 70.05 mm, para 25 años 75.94 mm y para 50 años una precipitación de 88.79 (Tabla 5-4), es decir, en este tiempo existirá un pico de precipitación como se muestra en el Anexo 4.

Tabla 5-4. Lluvia de diseño para el río Tena, en la provincia de Napo

Hora	2 años	5 años	10 años	15 años	25 años	50 años
1	4,67	1,36	1,52	1,62	1,75	7,27
2	4,98	1,45	1,62	6,85	1,87	7,63
3	1,35	1,56	1,74	1,86	2,02	8,05
4	1,47	1,70	1,89	2,02	2,19	8,53
5	6,33	1,86	2,07	2,21	2,40	9,12
6	1,78	2,06	2,30	2,45	2,66	9,83
7	2,01	2,33	2,60	2,77	3,00	10,73
8	2,32	2,69	3,00	3,20	3,46	11,90
9	2,78	3,21	3,58	3,82	4,14	13,54
10	3,51	4,06	4,53	4,83	5,23	16,04
11	4,94	5,71	6,38	6,80	7,37	20,54
12	9,55	11,04	12,32	13,13	14,24	33,01
13	50,94	58,88	65,70	70,05	75,94	88,79
14	6,40	7,39	8,25	8,80	9,54	24,74
15	4,09	4,72	5,27	5,62	6,09	17,90
16	3,09	3,58	3,99	4,25	4,61	14,64
17	2,53	2,92	3,26	3,48	3,77	12,65
18	2,16	2,49	2,78	2,96	3,21	11,27
19	1,89	2,18	2,44	2,60	2,82	10,25
20	1,69	1,95	2,18	2,32	2,52	9,45
21	1,53	1,77	1,98	2,11	2,29	8,81
22	1,41	1,63	1,81	1,94	2,10	8,28
23	5,16	1,51	1,68	1,79	1,94	7,83
24	1,21	1,40	1,57	1,67	1,81	7,44

Elaborado por: Campuzano Ingrid, Ponce Julio

4.1.5. HEC HMS

Modelamiento Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) se estableció para proyectar la lluvia en periodos de 2, 5, 10, 15, 25 y 50 años.

La subcuenca del río Tena comprende caudales de 1 a 16.38 m^3/s dependiendo el mes, siendo que para enero el caudal es de 19.98 m^3/s, de febrero a octubre de 1 m^3/s, noviembre 19.98 m^3/s y diciembre de 26.34 m^3/s (Figura 3-4), utilizando un número de curva de 77.53 (Tabla 2-4) y la lluvia proyectada para cada periodo de tiempo (Tabla 5-4).

Por consiguiente, se obtuvo la precipitación proyectada y el caudal del cauce que tendrá el río Tena en cada hora, siendo que para el periodo de 2 años el caudal máximo es de 349 m^3/s con una precipitación de 2 mm, presentándose a las 19:00 horas, para un periodo de 5 años el caudal es de 394 m^3/s con una precipitación de 2 mm, para un periodo de 10 años el caudal es de 453.8 m^3/s con una precipitación de 2.18 mm, para un periodo de 15 años tiene un caudal

de 531.9 m^3/s con una precipitación de 2 mm, para un periodo de 25 años tiene un caudal de 567.4 m^3/s con una precipitación de 3 mm y para un periodo de 50 años habrá un caudal de 1372.2 m^3/s con 9 mm de precipitación. Al igual que para el periodo de dos años, en los demás periodos se puede determinar que el pico se encontrará en la 19:00 horas (Tabla 6-4).

El hietograma que determino el software establece que las columnas de color rojo representan la precipitación proyectada de forma manual (Tabla 6-4) y la de color azul establece la precipitación proyectada por el software (Tabla 6-4), este formato se aplicó para todos los periodos de tiempo trabajado. Así mismo se pude identificar el hidrograma el cual representa el caudal obtenido, es decir, las líneas entrecortadas de color roja representan el caudal base (Figura 4-4) y la línea de color celeste representa el caudal proyectada. Estos gráficos pueden observarse en periodos de 2 años (Figura 4-4), 5 años (Figura 5-4), 10 años (Figura 6-4), 15 años (Figura 7-4), 25 años (Figura 8-4) y 50 años (Figura 9-4).

Tabla 6-4. Resultados de la precipitación y caudal de la lluvia proyectada para periodos de 2, 5, 10 ,15, 25 y 50 años para el río Tena en la provincia de Napo

	2 años		5 años		10 años		15 años		25 años		50 años	
	Precipitación (mm)	**Caudal (m^3/s)**	**Precipitación (mm)**	**Caudal (m^3/s)**	**Precipitación (mm)**	**Caudal (m^3/s)**	**Precipitación (mm)**	**Caudal (m^3/s)**	**Precipitación (mm)**	**Caudal (m^3/s)**	**Precipitación (mm)**	**Caudal (m^3/s)**
0:00		26		26		9		26		26		26
1:00	5	20	1	20	1,62	12	7	20	2	20	8	20
2:00	1	20,1	2	20	1,74	12	2	20,1	2	20	8	20,1
3:00	1	20,1	2	20,1	1,89	12,1	2	20,2	2	20,1	9	20,7
4:00	6	20,2	2	20,1	2,07	12,1	2	20,3	2	20,2	9	22,8
5:00	2	20,4	2	20,2	2,3	12,2	2	20,5	3	20,3	10	27,9
6:00	2	20,6	2	20,3	2,6	12,4	3	20,7	3	20,4	11	38,3
7:00	2	20,9	3	20,5	3	12,5	3	21,1	3	20,6	12	56,4
8:00	3	21,3	3	20,6	3,58	12,7	4	21,8	4	20,9	14	84,1
9:00	4	22,3	4	20,9	4,53	13,2	5	23,5	5	21,8	16	122,8
10:00	5	24,2	6	21,8	6,38	14,6	7	26,9	7	23,9	21	174,3
11:00	10	28,5	11	24,7	12,32	18,6	13	34,3	14	29,5	33	243,2
12:00	51	46,4	59	42,9	65,7	40,9	70	63	76	57,8	89	352,2
13:00	6	80,9	7	80,2	8,25	86	9	117,5	10	114,1	25	504,7
14:00	4	130,3	5	135,3	5,27	151,9	6	195,3	6	195,9	18	693,3
15:00	3	198	4	212,7	3,99	243,7	4	301,3	5	309,4	15	915,2
16:00	3	266,5	3	292,6	3,26	337,7	3	407,9	4	425,2	13	1124,2
17:00	2	315,3	2	350,8	2,78	405,4	3	483,3	3	508,5	11	1272,6
18:00	2	340,6	2	382,3	2,44	441,3	3	521,3	3	552,4	10	1350,8
19:00	2	349	2	394	2,18	453,8	2	531,9	3	567,4	9	1372,2
20:00	2	337,4	2	381,7	1,98	438,4	2	510,7	2	548	9	1335,1
21:00	1	317,4	2	359,2	1,81	411,2	2	476,7	2	514	8	1266,5
22:00	5	287,5	2	324	1,68	368,8	2	426,1	2	461,4	8	1167,1
23:00	1	252,6	1	281,5	1,57	317,6	2	366,2	2	397,9	7	1053,3

Fuente: Propia

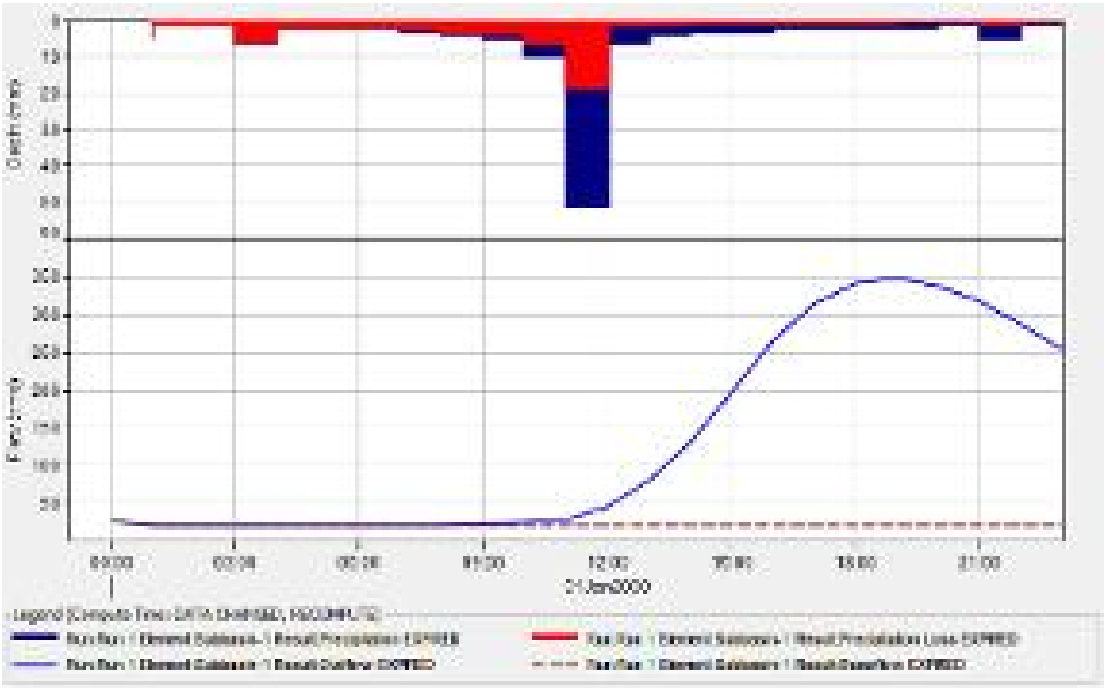


Figura 4-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 2 años
Fuente: Propia

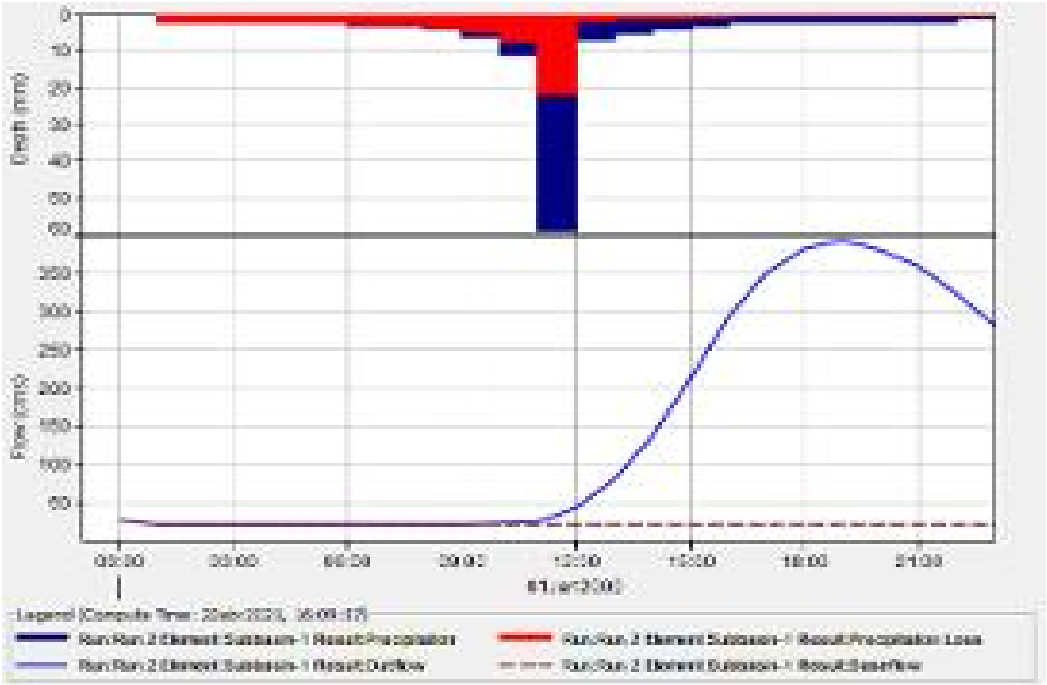


Figura 5-4. Hietograma e Hidrograma generado para para el río Tena en un periodo de 5 años
Fuente: Propia

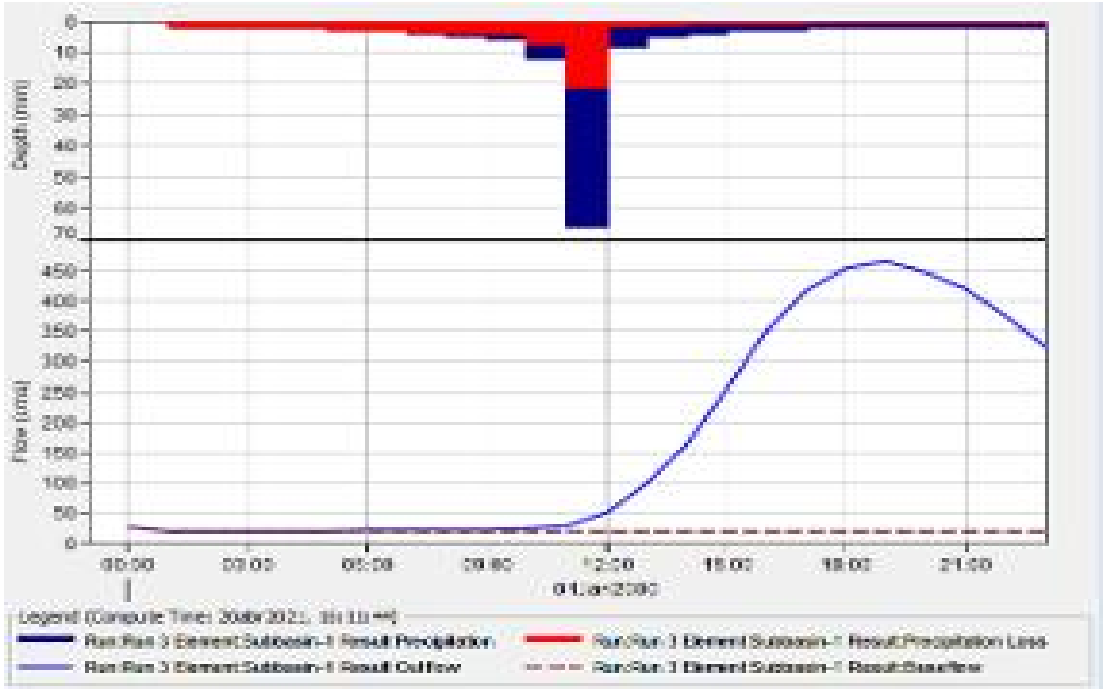


Figura 6- 4. Hietograma e Hidrograma generado para para el río Tena en un periodo de 10 años
Fuente: Propia

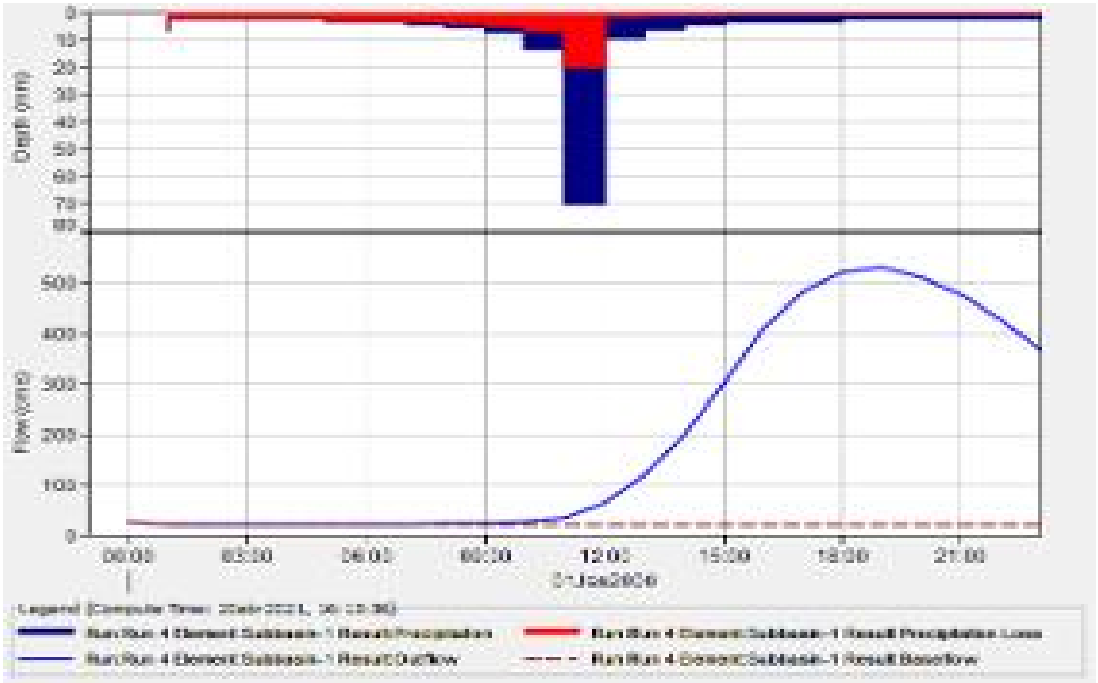


Figura 7-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 15 años
Fuente: Propia

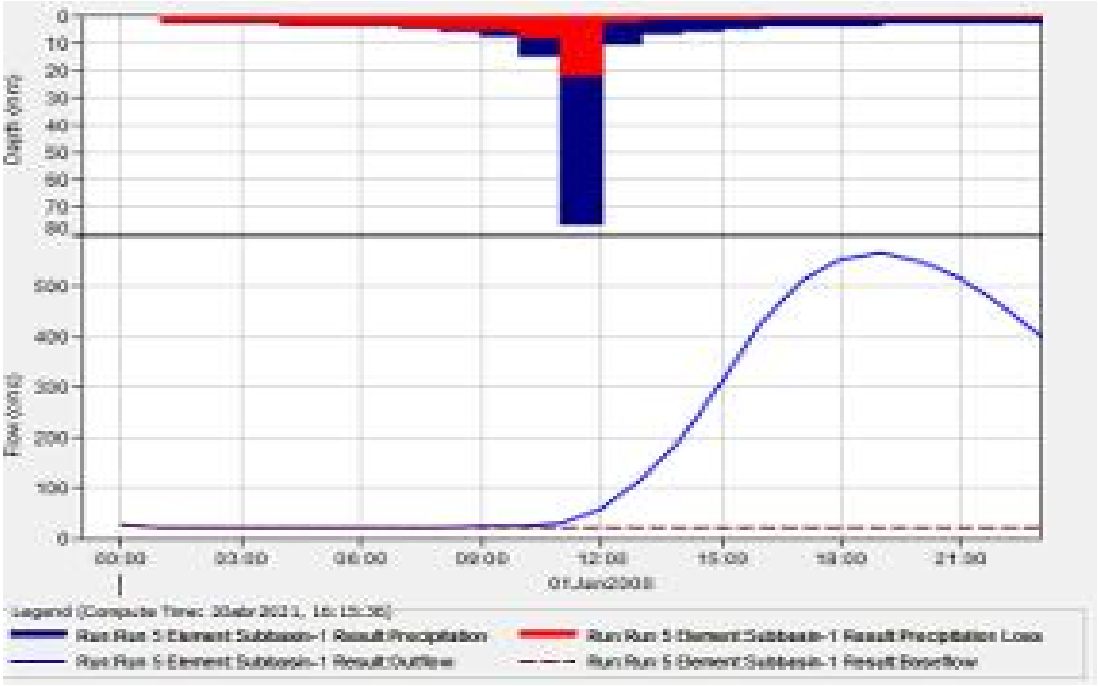


Figura 8-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 25 años
Fuente: Propia

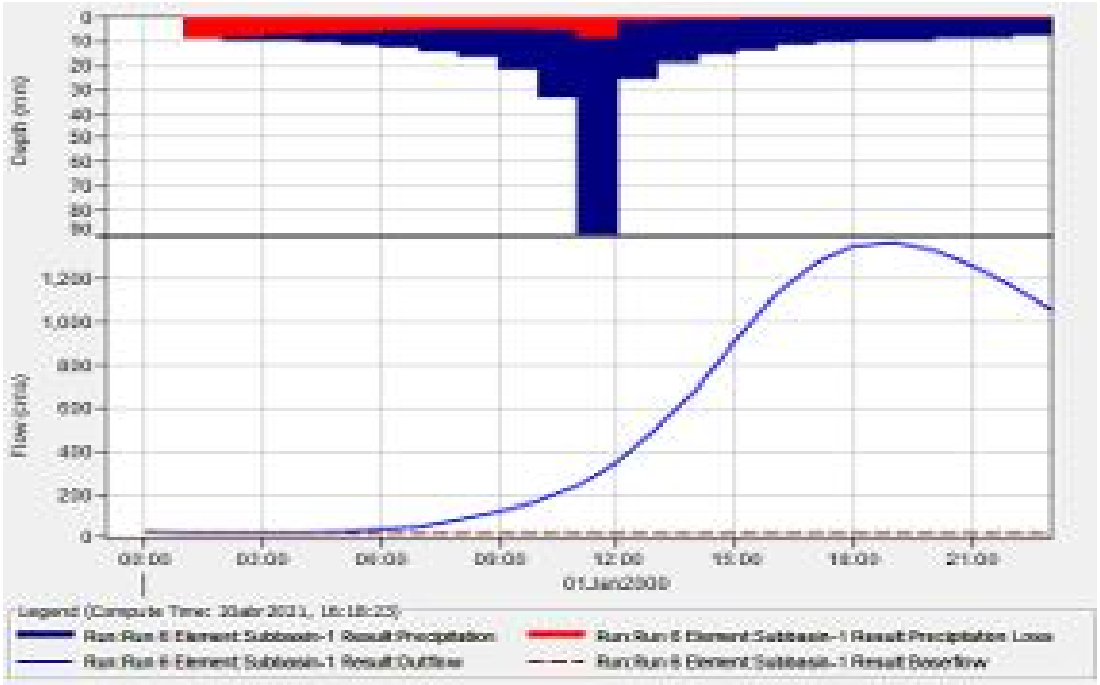


Figura 9-4. Hietograma e Hidrograma generado para el río Tena en un periodo de 50 años
Fuente: Propia

4.1.6. HEC RAS

El Modelamiento Hydrological Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS), construyó la zona de inundación a lo largo del río Tena (naciente-desembocadura), con datos de flujo constante (Steady Flow Data) para los periodos antes mencionados.

El cauce principal (río Tena), arrojó datos de caudales pico en la programación HEC HMS los cuales fueron utilizados para realizar la Figura 4-10, en donde se identifica de color verde, las líneas de corte, azul el río y de color rojo el banco de líneas.

Luego de ello se procedió a realizar la capa que corresponde a la zona de inundación acorde a los periodos establecidos, en donde sobresale las líneas de corte. Por consiguiente, se hizo el análisis de la generación de la superficie de agua identificando los polígonos de inundación en 2D, de igual manera se procedió a la delineación de la llanura de inundación a base del análisis donde se establece la zona de inundación en el río Tena Figura 4-11.

Para finalizar, la Figura 4-11, va hacer transferida a la aplicación Google Earth para tener una mejor apreciación e identificación de las zonas que se verán afectadas, Figura 4-12 y Figura 4-13, donde se observa dos polígonos o zonas de inundación en la provincia de Napo, los demás se pueden observar en los anexos.

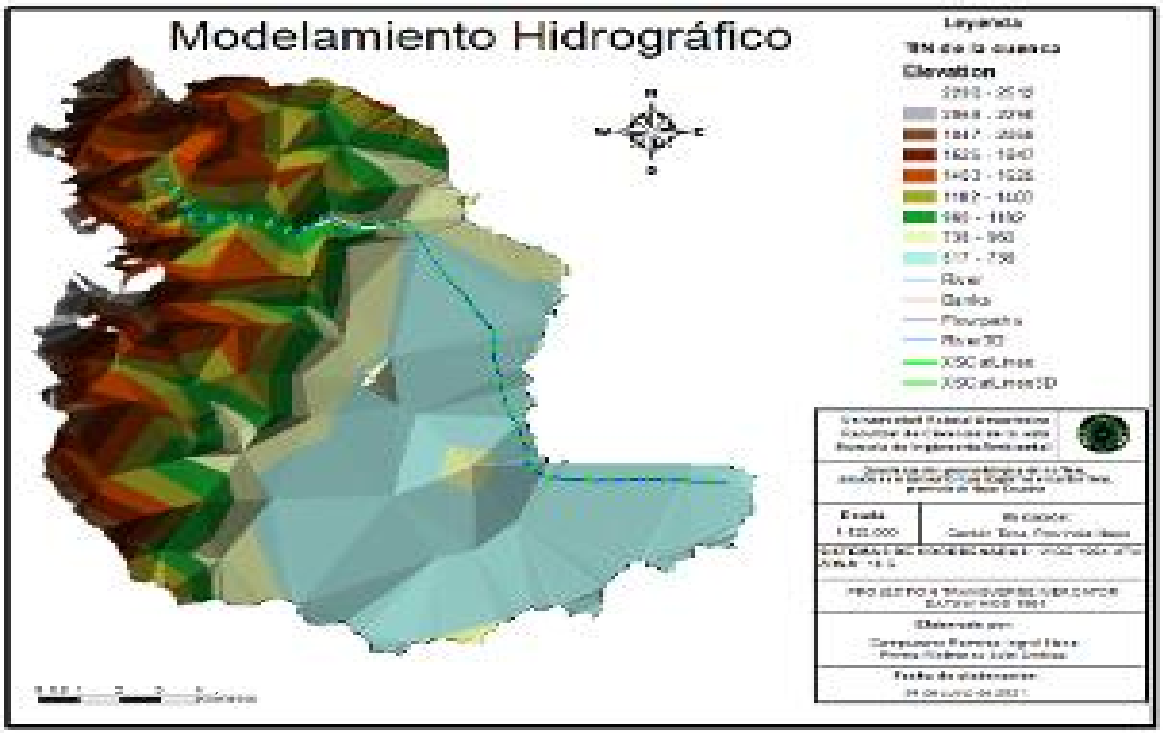


Figura 10-4. Mapa del modelamiento hidrográfico del río Tena

Fuente: Propia

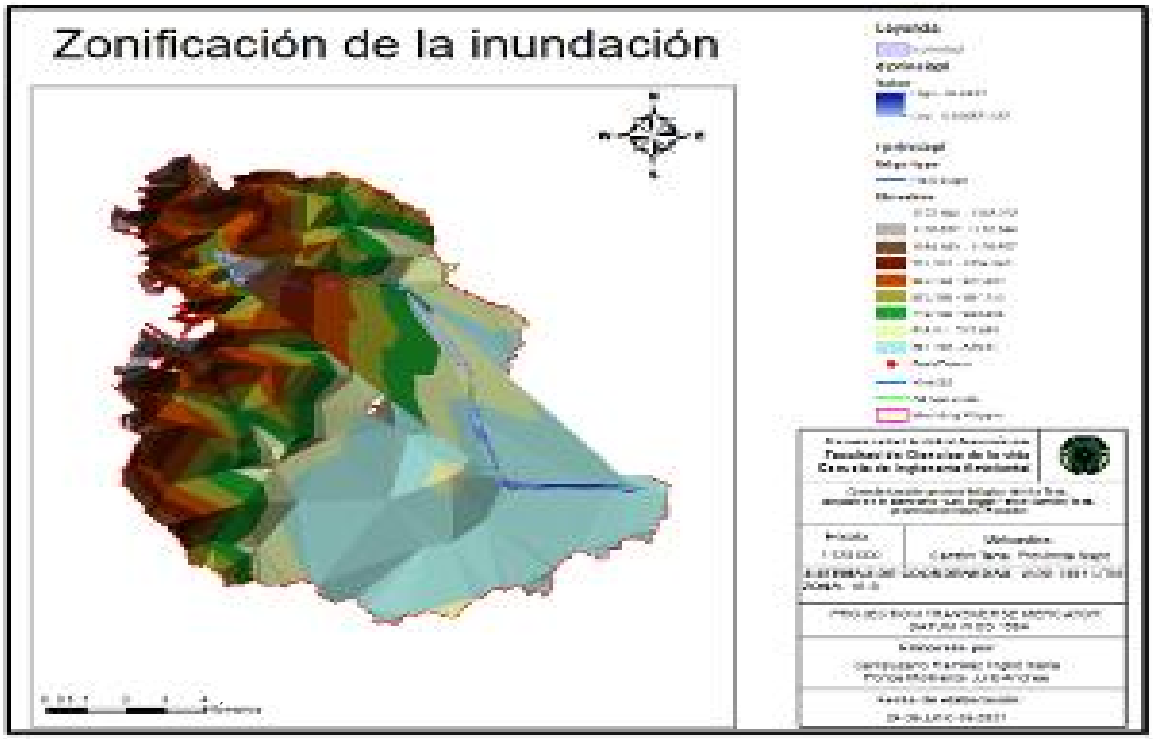


Figura 11-4. Mapa de identificación de las zonas de inundación en el río Tena

Fuente: Propia



Figura 12-4. Vista panorámica de las zonas de inundación en el río Tena
Fuente: Propia



Figura 13-4. Vista de dos zonas de inundación en las parroquias Tena y San Juan de Muyuna (polígonos 39-40)
Fuente: Propia

4.1.7. Límites de protección

Los límites de protección o márgenes comprenden una franja de amortiguamiento que se establece para evitar la vulnerabilidad de los seres vivos, sin embargo, no existe un cumplimiento pleno, es así que en el cantón Tena alrededor del río del mismo nombre existen aproximadamente 149 viviendas que incumplen este margen (Figura 14-4) de las 382 que se contabilizaron en el programa, es decir que el 39 % de las viviendas aledañas al río tiene riesgo de ser inundadas en las avenidas del cauce.



Figura 14-4. Vista panorámica de la zona límite de protección y viviendas que cumplen e incumplen con este margen
Fuente: Propia

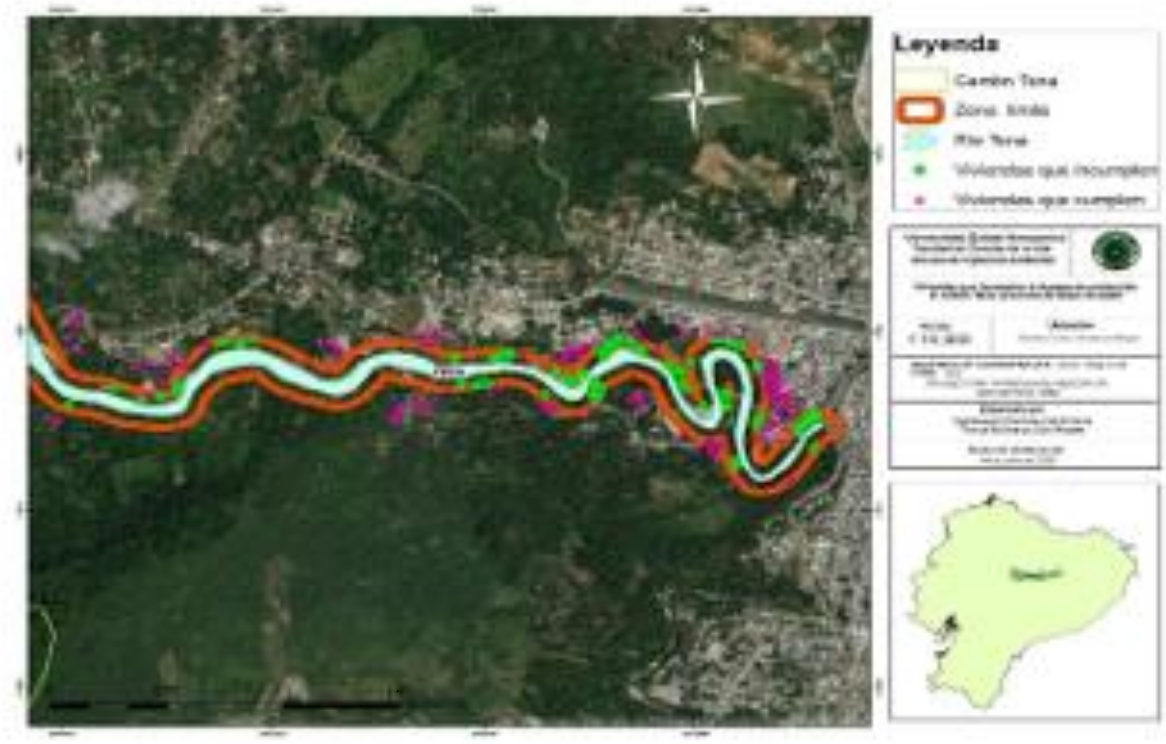


Figura 15-4. Vista de las viviendas que cumplen (rosado) y viviendas que incumplen (verde) el margen de protección
Fuente: Propia

4.2. Discusión

Hace 6 meses, específicamente el 10 de diciembre se celebró el día internacional de los derechos humanos destacando el derecho del agua y el saneamiento, los cuales han adquirido reconocimiento desde el 2010, por ser parte fundamental de la vida, ya que sin este recurso se genera un sin número de problemas nacionales, internacionales, regionales y locales, por ende, la gestión debe ser un planteamiento principal para la ciudad de este recurso (Martínez Moscoso, 2016).

Una cuenca hidrográfica comprende un sistema a partir de la formación de un río principal, comprendiendo los territorios de la naciente hasta la desembocadura. A su vez están divididas en zonas comprendidas como alta, media y baja, siendo zonas altas las montañas y laderas, es decir la naciente del cauce, la media distinguida por la cantidad de meandros que van por el curso del río y la baja, aquellas que se ubican en las llanuras en donde hay un nulo o inexistente caudal, sin embargo, presenta gran cantidad de materiales sedimentados (UICN, 2012).

En el presente estudio, se pudo identificar las zonas, siendo la zona alta la naciente, la cual a base de imágenes satelitales no cuenca con un cauce meandros, de igual forma la zona media del río no presenta esta característica, sin embargo, en la zona baja donde existe la mayor parte de la población de la provincia de Napo, el río presenta un perfil con meandros pronunciados y caudales rosando los 27 m3/s, sin presentar material sedimentado en a gran escala.

Según el proyecto "Elaboración de un plan de contingencia por inundación del río Tena en los barrios: Bellavista, Las Hierbitas, El Tereré y el barrio central de la ciudad del Tena" establecen acorde al INAMHI (1993) que el río Tena contiene características específicas en su cauce como meandros, cauces variados y acarrea material aluvial como arena gruesa y hojarasca en avenidas, sin embargo con el estudio establecido en el presenta trabajo se determinó que el cauce principal contiene meandros y ciertas zonas de profundidad denominadas pozos y con un alto porcentaje de material orgánico como hojarasca que es arrastrado siempre por el río.

Con ello "Elaboración de un plan de contingencia por inundación del río tena en los barrios: Bellavista, Las Hierbitas, El Tereré y el barrio central de la ciudad del Tena", establece en el apartado 3.3.1. Identificación de zonas de vulnerabilidad física alta, media o baja ante una posible inundación en el área de estudio, que la zona de mayor inundación constante va a ser el barrio denominado Tereré, ya que contiene el 40% de cobertura en el área de estudio, de modo similar el presente proyecto demuestra que la zona poblada aledaña al río Tena, es decir,

en el centro de la ciudad, también presentará inundación acorde a los periodos establecidos, siendo inminente el riesgo a sufrir este fenómeno natural; sin embargo, hay existencia de obras para la protección en esta área poblada como muros de gaviones, con el fin de disminuir la vulnerabilidad en la que se encuentra la población.

A pesar de ello se encuentran viviendas en estado vulnerable, como se estudió en el presente trabajo existen 382 viviendas de las cuales 149 se encuentran en riesgos de ser arrasadas por las inundaciones que se presentan en tiempo de precipitaciones máximas que conllevan una avenida del río Tena, por ende es importante implementar la construcción de muros y la aplicación de un plan estratégico forestal para los márgenes de del río, siendo posible la disminución de la vulnerabilidad para los asentamientos humanos aledaños y los cultivos establecidos es estas zonas o una reubicación e las viviendas a lugares más seguros según este determinado por las autoridades competentes.

4.3. Conclusiones

- Los parámetros asociados a la forma de la cuenca se llevaron a cabo en el software ArcGis en conjunto del uso de fórmulas matemáticas obteniendo que la pendiente con valor 0,0034 metros (0.3%) se clasifica como una pendiente muy plana, con un coeficiente de compacidad de 1,74 acercándose a la clasificación oval oblonga a rectangular oblonga en el área y así mismo se pudo clasificar el área de 233.65 km2 como una cuenca pequeña intermedia.
- Para los parámetros relativos del drenaje el coeficiente de rugosidad de Manning corresponde a un cauce en planicie por la pendiente de curso limpio con algunos meandros y pozos, teniendo en cuenta un tiempo de concentración hasta la desembocadura en el río Misahualli de 404 minutos.
- Las características edafológicas otorgaron un tipo de suelo A, para los dos márgenes perteneciente a la textura areno-limosa, con una capacidad de infiltración alta y con un drenaje excesivo. Sin embargo, para la velocidad de infiltración en los márgenes investigados se encuentra una diferencia de 0,588 m/min estableciendo que el margen izquierdo cuenta con una vegetación de cultivos no alineados y en el derecho matorral-herbazal, a pesar de que en los días previos de la precipitación acumulado fue de 7,80 mm, arrojó el número de curva (III) como 27,94 y 77,53 para el margen derecho e izquierdo respectivamente.
- El gasto base se estableció para los meses de octubre a febrero trabajados en la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, siendo que el mes de octubre presenta un flujo de 1 m^3/s, caracterizado este mes por presentar una época de bajas precipitaciones siendo denominada verano, seguido de este mes, noviembre y enero presenta un caudal base de 19.98 m^3/s.
- Con la herramienta HEC HMS se obtiene los valores de los caudales proyectados para los diferentes periodos del estudio, de igual forma se obtuvieron los hidrogramas y hietogramas para visualizar el comportamiento del caudal en condiciones normales y de crecidas, siendo que a las 7 pm de todos los días hasta los 50 años existirá un pico, es decir el caudal del río aumentará acorde a la situación climática.
- Con el modelamiento de inundación con la herramienta HEC GeoRAS se pudo establecer a lo largo del cauce del río Tena las zonas donde se inundará a causa de las máximas precipitaciones presentadas en periodos de 2, 5, 10, 15, 25 y 50 años, que en la ciudad de Tena, parroquia Tena el barrio Central se verá afectado, de igual forma el balneario “Las

Sogas", para la parroquia San Juan de Muyuna, las zonas afectadas son las aledañas al río, en este caso algunos centros turísticos y parcelas cultivadas por los habitantes.

- Mediante el programa de Arc Gis se estableció cuantas viviendas cumplen e incumplen con el margen de protección siendo que 149 viviendas están dentro del límite de 60 metros, es decir no cumplen la disposición establecida en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Tena, estas a su vez también se encuentran en la zona de inundación presentando vulnerabilidad y consigo acarreando consecuencias como enfermedades y destrucción de sus viviendas por las avenidas del río Tena.

4.4. Recomendaciones

- Realizar estudios anuales a la cuenca hídrica del río Tena para mejorar la calidad de datos que se obtienen y presentar una propuesta más realista en tiempo y espacio.
- La Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) zona 2 con ayuda del GAD Municipal y Provincial de Tena deben hacer cumplir las leyes establecidas sobre los asentamientos humanos a las riberas del río para evitar pérdidas humanas y económicas.
- Con ayuda de los Gobiernos de turno proponer un proyecto para la implementación de muros de contención en las zonas bajas del río las cuales son propensas a inundaciones acorde a lo estudiado en el software Hec GeoRAS, para a su vez disminuir el riesgo al que está presente la población.
- Establecer un plan de reforestación en las riberas del río de las zonas bajas propensas a inundación, para evita los deslizamientos de tierra y que el cauce del río cambie.
- Realizar charlas con los asentamientos humanos aledaños al río para que tengan conocimiento sobre el proyecto.

REFERENCIAS

1. Abderrazak, D., & Abdessamed, B. (23 de 09 de 2019). Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in rainfall–runoff modeling and evaluating floodplain inundation maps in arid environments: case study of Ain Sefra city, Ksour Mountain. SW of Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 586. doi:10.1007

2. Ahmad, S., & Simonovic, S. P. (21 de 06 de 2006). An Intelligent Decision Support System for Management of Floods. *Water Resources Management*, 39-420. doi:10.1007

3. Brieva, C. (2018). *Caracterización de Cuencas.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Mendoza. Recuperado el 3 de 11 de 2020, de https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf

4. Cazáres, K. Y. (15 de 07 de 2018). *Universidad Estatal Amazónica - Moodle.* Obtenido de Universidad Estatal Amazónica - Moodle: E:\Respaldo C\Downloads\FUNDAMENTOS\C-3 Mecánica de fluidos.pdf

5. Chow, V. T., Maidment, D., & Ways, L. (1994). *Hidrología Aplicada.* Illinois. Recuperado el 06 de 2021

6. Cruz, G. (2016). *Elaboración de un plan de contingencia por inundación del río tena en los barrios: Bellavista, Las Hierbitas, El Tereré y el barrio central de la ciudad del Tena.* Pontífica Universidad Católica del Ecuador, e, Quito.

7. Fernández de Córdova, C., León, A., Rodriguez, Y., Martínez, P., & Meneses, D. (04 de 2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. *Scielo, 39*(1), 18-20. Recuperado el 25 de 10 de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100002#:~:text=En%20hidr%C3%A1ulica%20uno%20de%20los,el%20coeficiente%20que%20refleja%20la

8. GAD Municipal Tena. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y Plan de Uso y Gestión del suelo.* Tena. Recuperado el 24 de 11 de 2020, de https://www.tena.gob.ec/images/convocatoria/ACTUALIZACIN-PDOT-2020-2023.pdf

9. GADP Napo. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Napo.* Sistema Nacional de Información, Napo. Recuperado el 17 de 10 de 2020

10. Gaspari, F. (27 de 03 de 2012). Caracterizacion morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGM DOMUS Revista científica del Comité de Medio Ambiente del Grupo Montevideo*, 143-158. Recuperado el 05 de 02 de 2021, de https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/download/476/505/

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

12. González et al. (2018). *Atlas de espacios geográficosexpuestos a amenazas naturals y antrópicas* (Vol. Segunda Edición). (Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Emergenci, Ed.) Ecuador. Recuperado el 17 de 10 de 2020, de Sistema Nacional de Gestión de Riesgos: https://nube.gestionderiesgos.gob.ec/index.php/s/42dt8bz4E9BqY3G#pdfviewer

13. *Grupo de Análisis de situaciones Meteorológicas Adversas*. (2015). Obtenido de Grupo de Análisis de situaciones Meteorológicas Adversas: http://www.floodup.ub.edu/inundaciones/

14. Guachamín, W. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología* (2 ed.). (W. Guachamín, & F. García, Edits.) Quito, Ecuador. Recuperado el 23 de 12 de 2020

15. Herencia, B., & Carrera, C. (06 de 2019). Estimación de caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, *22*(44), 10. doi:https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17282

16. Hérnandez, Tirado & Béltran. (15 de 01 de 2014). Captura de carbono en el suelo. *Pädi: Boletín cienctíficop de Ciencias Básicas e Ingienería, 1*(2). Recuperado el 27 de 10 de 2020, de https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html

17. Hidrología e Hidráulica. (26 de 04 de 2020). *Ingeniería Hidráulica*. Recuperado el 26 de 10 de 2020, de Ingeniería Hidráulica: https://www.hidraulicautiling.com/2020/04/curva-numero-cuenca.html

18. Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). *Morfología de las cuencas hidrográficas.* Escuela técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Producción Vegetal, Valencia. Recuperado el 05 de 02 de 2021, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf

19. INAMHI. (2012). *Anuario Meteorológico.* INAMHI, Quito. Recuperado el 09 de 11 de 2020, de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf

20. (2017). *Informe sobre recursos mundiales de suelo.* Food and Agriculture Organization. Recuperado el 27 de 10 de 2020, de http://www.fao.org/3/b-w8594s.pdf

21. Martínez Moscoso, A. (14 de 12 de 2016). *iagua*. Recuperado el 30 de 06 de 2021, de iagua: https://www.iagua.es/blogs/andres-martinez/quito-y-estudio-cuencas-hidrograficas

22. Martínez, A. (1996). *Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal.* España: Mundi Prensa Libros.

23. Martínez, E. (06 de 2005). *Hidrología Práctica.* Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Recuperado el 26 de 11 de 2020, de Universidad Estatal Amazónica - Moodle: https://www.uea.edu.ec/pmb/index.php?lvl=notice_display&id=148

24. Moore, H. (08 de 09 de 2009). *civilgeeks.com Ingeniería y Construcción*. Recuperado el 26 de 10 de 2020, de civilgeeks.com Ingeniería y Construcción: https://civilgeeks.com/2011/09/08/hidrograma-unitario-sintetico/#:~:text=Otros%20par%C3%A1metros%20de%20importancia%20incluyen,forma%20y%20caracter%C3%ADsticas%20de%20almacenamiento.

25. Mora, D., & Ávila, V. (2019). *Afectación del Coeficiente de Rugosidad para la ecuación de Manning con el envejecimiento de tuberías de diferentes materiales.* Universidad Católica de Colombia, Ingeniería Civil, Bogotá. Recuperado el 26 de 10

de 2020, de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24231/1/TG.%20AFECTACI%C3%93N%20DEL%20COEFICIENTE%20DE%20RUGOSIDAD.pdf

26. OCDE. (2012). *Environmental Outlook to 2050.* Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. OECD. doi:10.1787/1999155x

27. OMM. (21 de 9 de 2020). *Organización Meteorológica Mundial*. Recuperado el 16 de 10 de 2020, de Organización Meteorológica Mundial: https://public.wmo.int/en/our-mandate/water

28. Pereira, C. (2011). *Edafología 1.* Caldas: Espacio Gráfico Comunicacione S.A. Recuperado el 27 de 10 de 2020, de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf

29. Pérez, G., & Rodríguez, A. (2009). *Apuntes de Hidología Superficial.* Recuperado el 26 de 11 de 2020, de https://eva.uea.edu.ec/eva2020/web/pluginfile.php/75353/mod_folder/content/0/HIDROLOGIA-SUPERF.pdf?forcedownload=1

30. Philip et al. (01 de 2020). *Aqueduct*. Recuperado el 17 de 10 de 2020, de Aqueduct: https://www.wri.org/applications/aqueduct/floods/?p=eyJjb21tb24iOnsiZ2VvZ3VuaXRfdW5pcXVlX25hbWUiOiJKYXBhbiIsInNjZW5hcmlvIjoiYnVzaW5lc3MgYXMgdXN1YWwifSwiaGF6YXJkIjp7InllYXIiOiIyMDEwLjAiLCJmbG9vZCI6ImludW5yaXZlciIsInNjZW5hcmlvIjoicmNwOHA1IiwicHJvamVjdGlvbl9

31. *Real Academia Española*. (2019). Recuperado el 16 de 10 de 2020, de Real Academia Española: https://dle.rae.es/desbordar?m=form

32. Soria, F. (2014). *Capacitaciones en Gestión de Recursos Hídricos, Modelos Hidrológicos y Modelos Hidráulicos".* Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Bolivia. Recuperado el 19 de 01 de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/333666863_Guia_para_el_uso_y_manejo_del_HEC_HMS

33. *Tutoriales al día - Ingeniería Civil*. (24 de 11 de 2011). Recuperado el 3 de 11 de 2020, de Tutoriales al día - Ingeniería Civil: http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/calculo-de-la-pendiente-media-del-cauce-principal-de-una-cuenca-hidrografica/

34. *Tutoriales al día-Ingeniería Civil*. (24 de 04 de 2012). Recuperado el 25 de 10 de 2020, de Tutoriales al día-Ingeniería Civil: http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/

35. Tutoriales al día-Ingeniería Civil. (13 de 11 de 2014). *Tutoriales al día-Ingeniería Civil*. Recuperado el 4 de 11 de 2020, de Tutoriales al día-Ingeniería Civil: http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/algunos-parametros-de-forma-y-drenaje-de-la-cuenca-hidrografica-y-su-relacion-con-el-tiempo-de-concentracion/

36. UICN. (2012). Cuenca Hidrográfica. *Programa de Agua y el Centro de Derecho Ambiental*. Latinoamerica, Asia, África. Recuperado el 30 de 06 de 2021, de https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/cuenca_hidrografica.pdf

37. *Universidad Nacional del Nordeste.* (23 de 03 de 2005). Recuperado el 27 de 10 de 2020, de Universidad Nacional del Nordeste: http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro-tp7.pdf

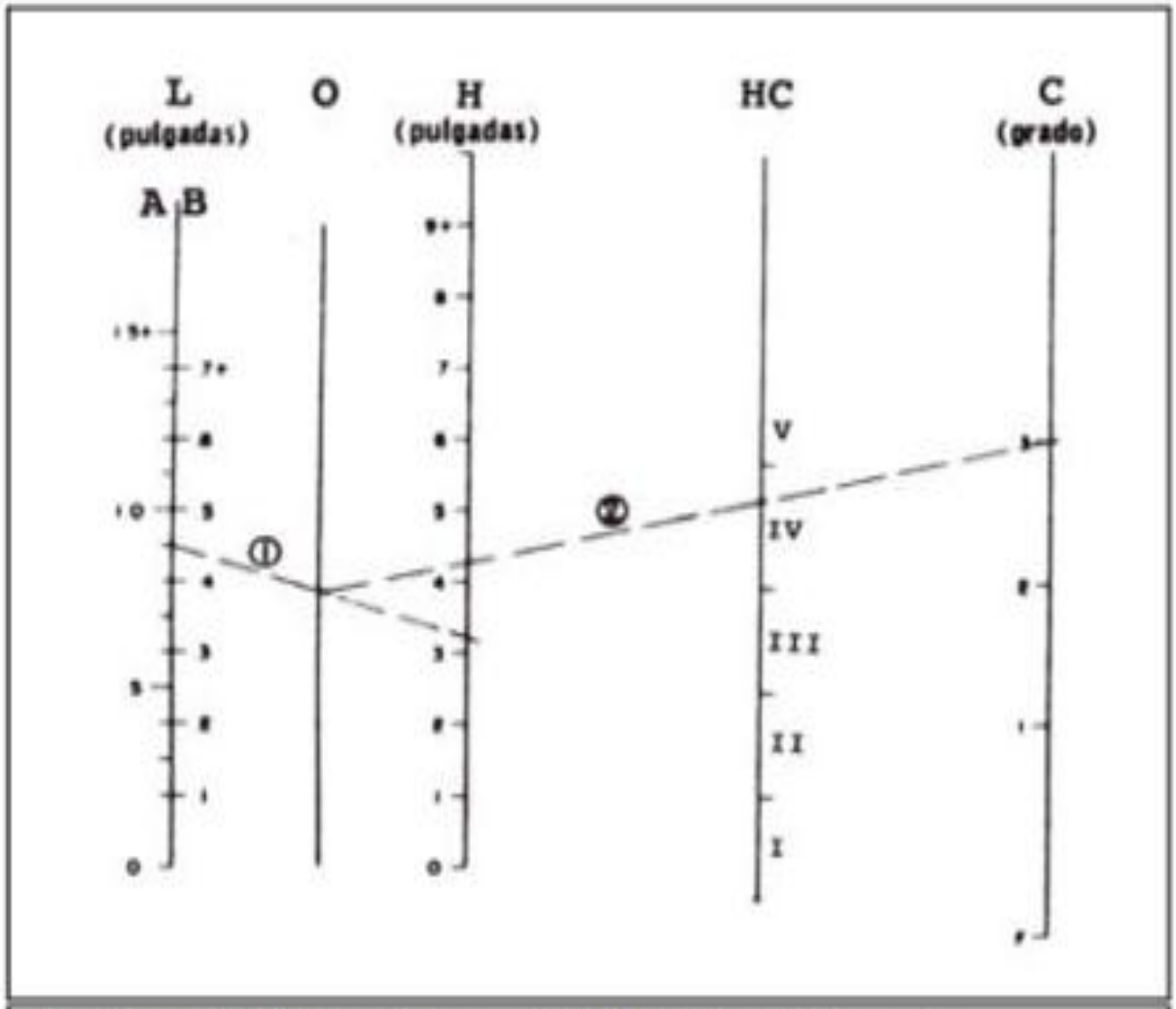
38. Villalta, C., & Castañeda, L. (2003). *Manual de Manejo de Cuencas Hidrográficas.* Buenos Aires. Recuperado el 05 de 02 de 2021

39. Villalta, C., & Castañeda, L. (2003). *Manual deManejo de Cuencas Hidrográficas.* Universidad de El Salvador, El Salvador.

40. WWAP, P. M. (2019). *InformeMundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hìdricos 2019: No dejar a nadie atrás.* UNESCO. Paris: Lucart Estudio S.A. de C. Recuperado el 16 de 10 de 2020, de https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf

41. Zárate et al. (2017). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Huella Hídrica en una Cuenca Hidrográfica.* Unión Europea, Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. San José: Imprenta IICA. Recuperado el 27 de 10 de 2020, de https://www.google.com/search?q=isbn+que+significa+en+un+libro&rlz=1C1GCEU_esEC914EC914&oq=ISBN+que+si&aqs=chrome.2.0j69i57j0j0i22i30l2j0i10i22i30j0i22i30l2.6559j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8

ANEXO



Anexo 1. Nonograma para la determinación de la condición hidrológica de un bosque

Tomado de: (Morey, 1995)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLOGICA	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 + I	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	68	79	86	89
	R	Buena	63	75	85	87
	R + CR	Pobre	64	75	85	88
	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 + I	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	58	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de legumi nosas 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
	-	Buenos	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenos	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral herbaceo, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenos	< 30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas arbolados	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenos	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenos	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	62	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

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

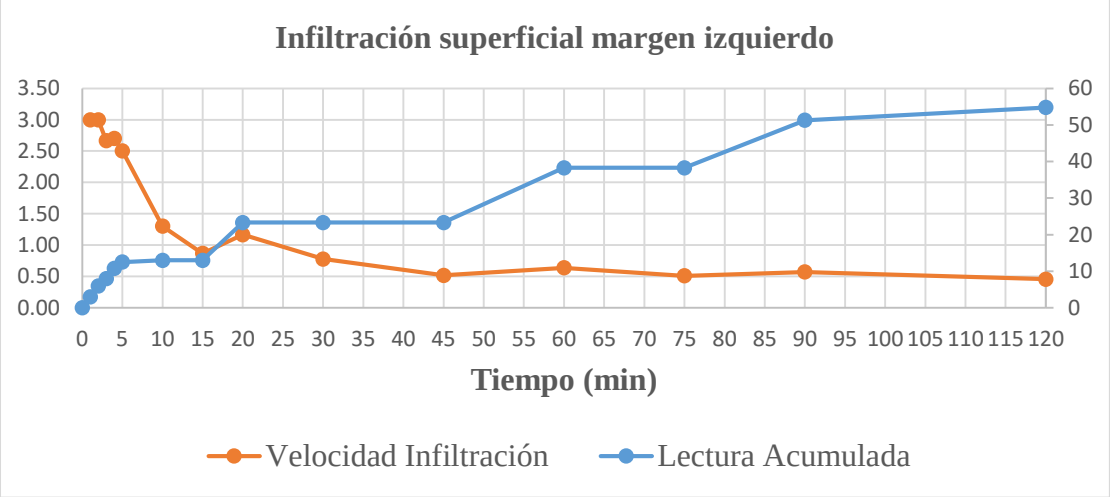
Anexo 2. Determinación del número de curva en condición II

Tomado de: (Martínez A. , 1996)



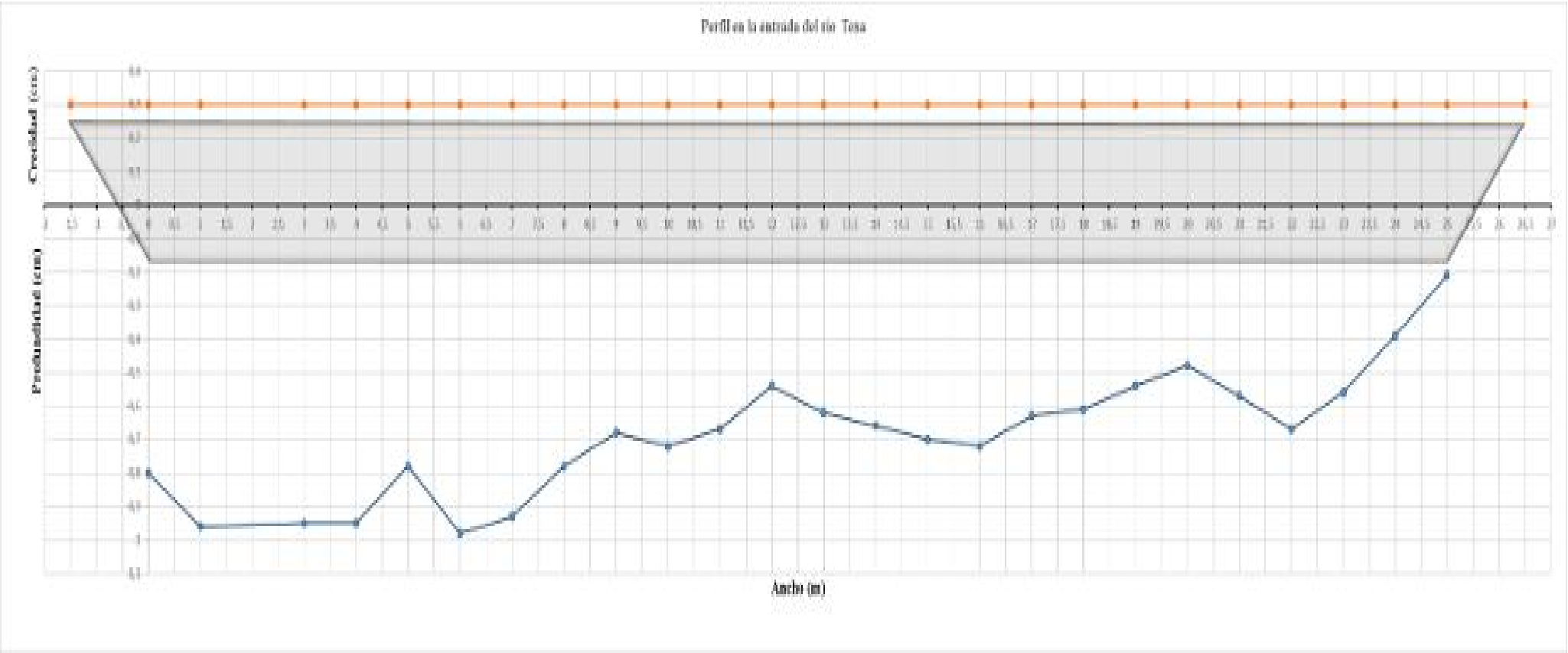
Anexo 3. Gráfico de la prueba del Cilindro Infiltrómetro

Fuente: Propia



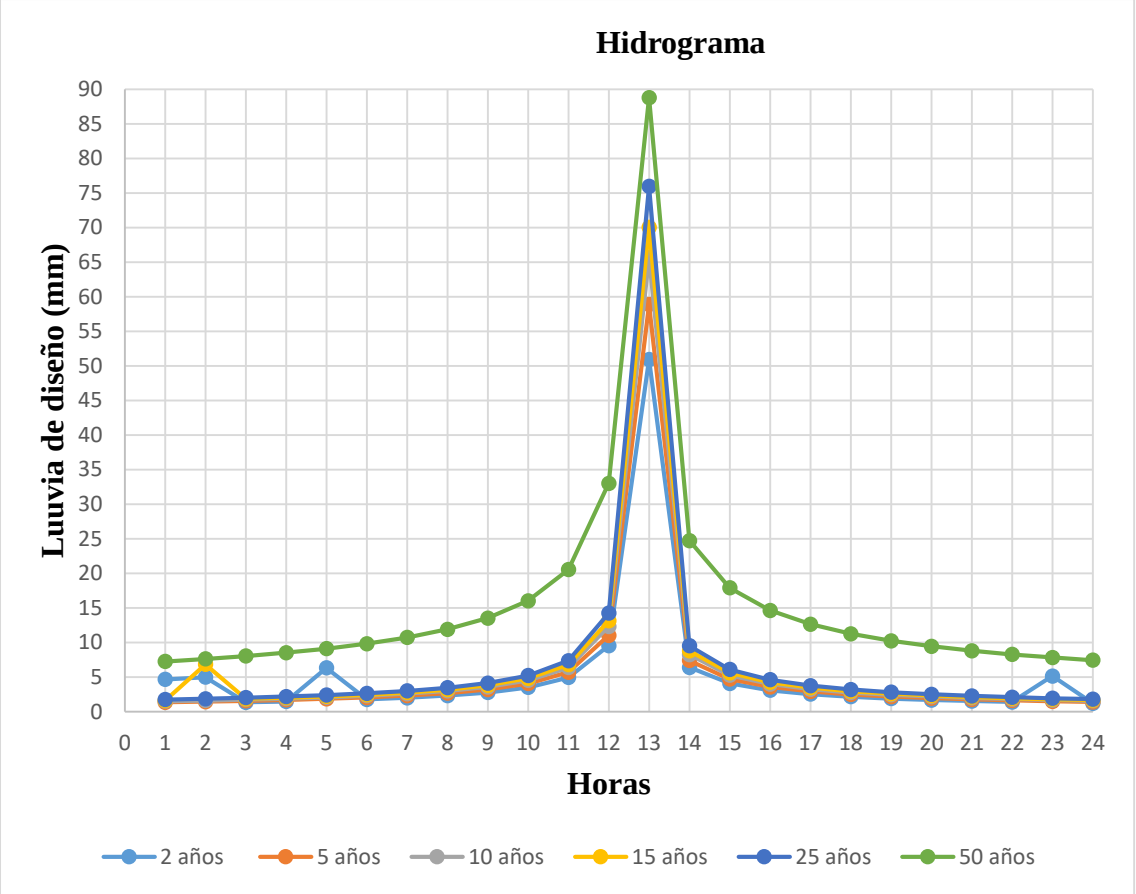
Anexo 4. Gráfico de la prueba del Cilindro Infiltrómetro

Fuente: Propia



Anexo 5. Gráfico del perfil en la entrada del río Tena

Fuente: Propia



Anexo 6. Hidrograma de la lluvia de diseño del río Tena

Fuente: Propia



Anexo 7. Vista de dos zonas de inundación en la parroquia San Juan de Muyuna (Polígonos 38-37)

Fuente: Propia



Anexo 8. Vista de zonas de inundación a lo largo del río Tena (Polígonos 36-35-34-33-32)

Fuente: Propia



Anexo 9. Vistas de zonas de inundación a lo largo del río Tena (Polígonos 31-30-29-28-27-26-25-24-23-22-21-20-19-18-17-16)

Fuente: Propia



Anexo 10. Vistas de zonas de inundación a lo largo del río Tena (15-14-13-12-11-10-9-8-7)

Fuente: Propia



Anexo 11. Vistas de zonas de inundación a lo largo del río Tena (6-5-4-3-2-1)

Fuente: Propia