UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DEL RÍO YUQUIPA EN EL CANTÓN MORONA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO

AUTORAS

PAOLA MISHEL LÓPEZ MOSQUERA

VERÓNICA VALERIA ORELLANA JARA

DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. RICARDO ABRIL. Dr. C.

PUYO - ECUADOR

2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben López Mosquera Paola Mishel y Orellana Jara Verónica Valeria con C.I. 1400948566 y 1400769061, hacen constar que son autoras del Trabajo de Integración Curricular titulado: Modelamiento hidrológico del Río Yuquipa en el cantón Morona, Provincia de Morona Santiago, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. C. Abril Saltos Ricardo Vinicio. En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio de 2021.

López Mosquera Paola Mishel
C.I: 1400948566

Orellana Jara Verónica Valeria
C.I: 1400769061

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el Trabajo de Investigación de Integración Curricular titulado: “Modelamiento hidrológico del Río Yuquipa en el cantón Morona, Provincia de Morona Santiago”.



Firmado electrónicamente por:
REINIER ABREU

Dr.C Abreu Naranjo Reinier
Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
REGLA MARIA BERNAL GUTIERREZ

MSc. Bernal Gutiérrez Regla María
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO NICOLAS AGUIAR NOVILLO

MSc. Aguiar Novillo Santiago Nicolás
Miembro del Tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 101-SAU-UEA-2021

Puyo, 06 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a las estudiantes: López Mosquera Paola Mishel con C.I. 1400948566 y Orellana Jara Verónica Valeria con C.I. 1400769061, con el Tema:**"Modelamiento Hidrológico del Río Yuquipa en el Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago.",** 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 unasimilitud del 9%, Informe generado con fecha 07 de julio de 2021 por parte del director conformearchivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO MARCELO

Ing. Ítalo Marcelo Lara Pilco MSc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA-.

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

Quien suscribe el presente Dr. C. Abril Saltos Ricardo Vinicio con C.I: 1803113321, certifica que el Trabajo de Integración Curricular titulado: “Modelamiento hidrológico del Río Yuquipa en el cantón Morona, Provincia de Morona Santiago”, ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje del 9 %.

En el cantón Pastaza, a los 07 días del mes de julio de 2021.

Firmado electrónicamente por:
RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

_____

Dr. C. Abril Saltos Ricardo Vinicio
Director del Trabajo de Integración Curricular

DERECHOS DE AUTOR COPYRIGHT

©2021, López Mosquera Paola Mishel y Orellana Jara Verónica Valeria.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

DECLARATORIA DE AUTENCIDAD

Nosotras, López Mosquera Paola Mishel y Orellana Jara Verónica Valeria, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular, es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente cuidados y referenciados.

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

López Mosquera Paola Mishel
C.I: 1400948566

Orellana Jara Verónica Valeria
C.I: 1400769061

DEDICATORIA

A mis padres Rigoberto López y Gloria Mosquera, quienes con su amor, valentía, disciplina y esfuerzo me han permitido cumplir un gran sueño, agradezco por inculcar en mi valores éticos y morales, que me ayudaron en mi formación personal, por ser un ejemplo, un apoyo incondicional, y por no perder su confianza en mí.

A mi familia por su confianza y cariño, durante todo este tiempo de formación académica, por estar conmigo en todo momento, en las buenas y en las malas, Dios le pague por sus oraciones, conocimientos y palabras de aliento cuando más lo necesitaba, gracias por acompañarme en todos mis objetivos, aspiraciones, sueños y metas.

Por último, quiero agradecer a mis profesores por brindarme sus conocimientos, que fueron de mucha importancia para mi formación como profesional y como persona.

Paola López

Esta meta se la quiero dedicar a mis padres Luis Orellana e Hilda Jara, quienes siempre me han apoyado y han luchado por verme convertir en una mujer de bien, en alguien que ha ido creciendo con cada paso que da. Esta meta se las dedico, por todo el esfuerzo que han hecho para que el día de hoy yo me encuentre aquí y por nunca soltar mi mano pese a la distancia.

De igual manera se la dedico a mis hermanos: Jessy, Diana, Nando, Jheremy y Nahomy, ya que su amor me ha dado la fuerza para seguir luchando día a día ante cualquier batalla tanto estudiantil como personal.

Este logro es por y para ustedes familia, los amo con mi vida.

Con amor y admiración.

Verónica Orellana

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por guardarme, cuidarme, protegerme, disciplinarme y por nunca abandonarme, por sus bendiciones derramadas en mí y en mi familia. Por permitirme respirar un día más y ver como su cumple un sueño anhelado.

Mi más sincero agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA, por abrirme las puertas y poder continuar con los trabajos de investigación y consulta.

Agradecimientos a mis profesores en especial al Dr. Ricardo Abril quien con la enseñanza de su valioso conocimiento hizo que pueda crecer como profesional, y ayuda en el desarrollo de este trabajo gracias por su paciencia y dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Paola López

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme estar hoy aquí, cumpliendo una gran meta en mi vida.

A mis padres por siempre guiarme y ser un gran ejemplo en mi vida, por formarme con grandes valores, por siempre creer en mí, y nunca darme la espalda pese a los errores o tropezones que he tenido durante mi trayecto estudiantil. Además, agradecer de manera especial a mi hermana mayor Jessy, ya que me supo apoyar en el inicio de mi carrera; y a toda mi familia por el apoyo brindado y por siempre creer en mí.

Por último, un agradecimiento especial a mi tutor de tesis, al Dr. Ricardo Abril; por guiarme en el proyecto de titulación, por los conocimientos brindados y sobre todo por el apoyo y la paciencia que ha tenido durante este trayecto, muchas gracias.

Con cariño, agradecimiento y respeto.

Verónica Orellana

RESUMEN

El presente trabajo se basa en la caracterización geográfica e hidro edafológicas de las cuencas. Con el fin de establecer las características mencionadas de la microcuenca del río Yuquipa, ubicada en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago.

Para ello se utilizó metodologías como la recopilación de datos bibliográficos, medición de parámetros en campo, aplicación de fórmulas matemáticas y el uso del programa para el modelamiento HEC-HMS y HEC-RASTER.

Los parámetros físicos - morfometría arrojaron que la microcuenca se clasifica como intermedia - pequeña, con un área de 390 km^2 y perímetro de 105 km, obtenidos del programa ArcGIS 10.5 con una pendiente del 0.018 %, que corresponde a una zona llana; su coeficiente de compacidad kc es 1.5, siendo de forma oval redonda y resulta un bajo riesgo de inundación, ya que los puntos de la microcuenca no son paralelos al río principal, con una longitud de 38.5 km. Se determinó el gasto base para los meses monitoreados, siendo octubre el mes de más bajo de caudal. El modelamiento de la cuenca permitió la proyección del caudal para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), en donde se determinó que las zonas de riesgo de inundación fueron en los periodos de 50 y 100 años, con un caudal máximo de 57.3 m^3/s y 95.2 m^3/s respectivamente, alcanzando su pico más alto en estos puntos a las 19:00 horas en ambos periodos.

Se concluye que en el Río Yuquipa se pueden presentar eventos extremos, donde existen zonas que presentan riesgos de inundación, tanto en los periodos de 50 y 100 años.

Palabras clave: Amenaza; Ecuador; inundaciones; riesgo; Río Yuquipa; Sistema de Información Geográfica; susceptible; vulnerabilidad, río principal, afluente, efluente.

ABSTRACT

The present work is based on the geographical and hydro-edaphological characterization of the basins. In order to establish the aforementioned characteristics of the Yuquipa river micro-basin, located in the Morona canton, Morona Santiago province.

For this, methodologies such as the collection of bibliographic data, measurement of parameters in the field, application of mathematical formulas and the use of the HEC-HMS and HEC-RASTER modeling program were used.

The physical parameters - morphometry showed that the micro-basin is classified as intermediate - small, with an area of 390 km2 and a perimeter of 105 km, obtained from the ArcGIS 10.5 program with a slope of 0.018 %, which corresponds to a flat area; its coefficient of compactness kc is 1.5, being round oval in shape and resulting in a low risk of flooding, since the points of the micro-basin are not parallel to the main river, with a length of 38.5 km. The base expenditure was determined for the monitored months, with October being the month with the lowest flow. The basin modeling allowed the projection of the flow for different return periods (2, 5, 10, 25, 50 and 100 years), where it was determined that the flood risk areas were in the periods of 50 and 100 years, with a maximum flow of 57.3 m3 / s and 95.2 m3 / s respectively, reaching its highest peak at these points at 7:00 p.m. in both periods.

It is concluded that extreme events can occur in the Yuquipa River, where there are areas that present flood risks, both in periods of 50 and 100 years.

Key words: Threat; Ecuador; floods; risk; Yuquipa River; Geographic information system; susceptible; vulnerability, main river, tributary, effluent

CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS ..... **ii**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .... **iii**

Certificado No. 101-SAU-UEA-2021 ..... **iv**

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILIRUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI-PLAGIO ..... **v**

DERECHOS DE AUTOR COPYRIGHT ..... **vi**

DECLARATORIA DE AUTENCIDAD ..... **vii**

DEDICATORIA ..... **viii**

AGRADECIMIENTOS ..... **ix**

RESUMEN ..... **x**

ABSTRACT ..... **xi**

CAPÍTULO I **1**

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **2**

1.1.1. ***Formulación del problema*** 3

1.2. OBJETIVOS **3**

1.2.1. ***OBJETIVO GENERAL*** 3

1.2.2. ***OBJETIVOS ESPECÍFICOS*** 3

1.3. JUSTIFICACIÓN **3**

CAPÍTULO II **4**

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 4

2.1. Cuenca Hidrográfica **4**

2.2. Caracterización de la cuenca **4**

2.3. Características Morfológicas 5

2.3.1. *Área de la cuenca (A)*..... 5

2.3.2. *Perímetro de una cuenca (P)* 5

2.3.3. *Longitud del cauce principal (L)* 5

2.4. Características hidro edafológicas..... 5

2.4.1. *Método de Manning* 5

2.4.2. *Coeficiente de Rugosidad*..... 6

2.4.3. *Textura del suelo* 6

2.4.4. *Velocidad de Infiltración* 6

2.4.5. *Carbono del suelo*..... 7

2.4.6. *Materia orgánica*..... 7

2.4.7. *Número de curva* 7

2.4.8. *Coeficiente de compacidad (Kc) (Gravelius, 1914)*..... 8

2.4.9. *Tiempo de concentración*..... 9

2.5. Hidrogramas Unitarios sintéticos..... 9

2.6. Curvas IDF 10

2.7. Periodos de Retorno..... 10

2.8. Lluvia de diseño..... 11

2.9. Modelamiento Hidrológico HEC-HMS y HEC-RAS (Hidrology Engineering Center- River Analysis System)..... 11

CAPÍTULO III..... 12

3. MATERIALES Y METODOS 12

3.1. Localización..... 12

3.2. Clima..... 13

3.3. Tipo de investigación 13

3.4. Método de investigación 14

3.5. Diseño de la investigación 14

3.6. Parámetros relativos a la forma 14

3.7. Parámetros relativos al relieve 15

3.8. Parámetros relativos al drenaje 15

3.9. Estimación de caudal 16

3.10. Radio Hidráulico 16

3.11. Velocidad 16

3.12. Caudal 17

3.13. Determinación de la lluvia del proyecto 17

3.13.1. *Construcción de curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia*) 17

3.13.2. *Determinación del Hietograma* 18

3.13.3. *Hidrograma del SCS (Servicio de Conservación del Suelo*) 18

3.16.1. *Programa de Modelamiento HEC-RAs (Hydrological Engineering Center – River Analysis System)* 21

3.16.2. Simulación con HEC-GeoRAS y HEC-RAS 22

3.17. Recursos 22

3.17.1. *Materiales* 22

CAPÍTULO IV 23

4. RESULTADOS 23

4.1. Características de cuenca 23

4.2. Infiltración 24

4.3. Determinación del número de curva 24

4.4. Caudales 25

4.4.1. *Perfil de entrada y salida* 25

4.5. Lluvia de Diseño 27

4.5.1. *Curvas de IDF* 27

4.5.2. *Curvas de intensidad, duración y frecuencia* 28

4.5.3. *Lluvia de diseño (2,5,10,25,50 y 100 años)* 29

4.6. Hidrograma unitario sintético (HEC-HMS) 30

4.6.1. *Caudales estimados en HEC-HMS para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años* 30

4.7. Áreas de Inundación para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en HEC- RAS 32

4.7.1. *Modelamiento Informático con HEC- RAS* 32

CAPÍTULO V 35

CONCLUSIONES 35

RECOMENDACIONES 35

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de Gravelius para la evaluación de la forma 8
Tabla 2. Índice de Gravelius para la evaluación de una Interpretación Ambiental 9
Tabla 3. Aspectos Climatológicos.....13
Tabla 4. Características hidrográficas de la microcuenca Río Yuquipa 23
Tabla 5. Condiciones hidrográficas, tipo de suelo y número de curva NC de la microcuenca del Río Yuquipa.....25
Tabla 6. Cálculo de Caudales.....27
Tabla 7. Intensidades máximas en 24 horas para períodos de (2,5,10,25,50 y 100 años) 29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa del Río Yuquipa en la Parroquia Sevilla Don Bosco 12
Figura 2. Curva de Infiltración.....24
Figura 3. Perfil de entrada del Río Yuquipa 26
Figura 4. Perfil de salida del Río Yuquipa.....26
Figura 5. Curvas IDF para le estación meteorológica M0062 28
Figura 6. Hietograma de lluvia de diseño para microcuenca Río Yuquipa 30
Figura 7. Hidrograma de periodos de retorno para la microcuenca del Río Yuquipa ..31
Figura 8. Periodo de retorno de 50 años, Inundación 32
Figura 9. Zonas de posible inundación en el periodo de 50 años 33
Figura 10. Periodo de retorno de 100 años, Inundación 34
Figura 11. Zonas de posible inundación en el periodo de 100 años 34

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones fluviales son fenómenos hidrológicos que se producen periódicamente y que han sido la causa de la formación de valles fluviales, llanuras aluviales, planicies de inundación y vegas de los ríos, es decir, forman parte de la geodinámica natural del planeta. Sin embargo, pueden transformarse en amenaza cuando el hombre ocupa zonas susceptibles de ser inundadas, lo cual genera impactos socioeconómicos. En este sentido, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred, 2009) y García (2010) coinciden en que, durante el periodo 1919-2005, las lluvias e inundaciones fueron los eventos naturales que se generaron e incrementaron mayor número de veces en comparación con incendios forestales, deslizamientos, ciclones y sequías, entre otros. (Burgos, Cartaya, & Mero, 2018)

Según Burgos, Cartaya & Mero (2018) el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es uno de los principales desencadenantes de precipitaciones intensas en algunos países del borde del Pacífico, tales como Ecuador y Perú. No obstante, el incremento e intensidad en la frecuencia de lluvias también es asociado al cambio climático, el cual está fuertemente vinculado al aumento de actividades humanas que implican cambios en el ambiente. De acuerdo con Garnica y Alcántara (2004), estas modificaciones ambientales se deben, principalmente, a la invasión y ocupación del terreno en valles fluviales y llanuras aluviales, en zonas de regulación hidráulica natural, así como al cambio de uso de suelos, construcción de infraestructuras deficientes, aumento de la sedimentación en los canales fluviales, deforestación de la cuenca alta, además de la topografía y características físicas de los ríos, lo cual aumenta la vulnerabilidad de la población a las inundaciones.

De acuerdo con Burgos, Cartaya y Mero (2018) en Ecuador, el riesgo de inundaciones está ligado a varias causas favorecidas por las condiciones naturales y la forma de ocupación del territorio. En este contexto, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) dio a conocer que, entre 1960 y 2006, el país ha registrado un incremento tanto en la temperatura promedio anual como en la intensidad y frecuencia de eventos extremos (sequías e inundaciones) (MAE, 2011). Incluso la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR,

2016), en su base de datos, indica que desde 2010 hasta 2016 se han registrado 2,002 inundaciones en todo el territorio ecuatoriano, que dejaron como saldo 22 decesos, 7,239 damnificados, 756 viviendas destruidas y 11,333.77 hectáreas de cultivos perdidas; además, resultaron afectados 191,205 personas, 28,035 viviendas, 329 centros educativos y 14,678.79 hectáreas de cultivos.

La provincia de Morona Santiago también ha sido afectada por inundaciones. En la parroquia Sevilla Don Bosco, ubicada en el cantón Morona de la Provincia mencionada, se localiza el Río Yuquipa, el cual es una microcuenca que desemboca en el río Upano. Este río ha experimentado crecidas, debido a las fuertes precipitaciones de la zona que se presentan con mayor intensidad en los meses de enero a abril. Y a medida que el tiempo avanza, el cambio climático ha ido alterando las épocas de lluvia, y un claro ejemplo es el presente año (2021) que las lluvias no han cesado, y se han presentado desde el inicio del año, sin haber diferencias en los cambios de temporadas, presentando de esta manera mayor vulnerabilidad a las comunidades aledañas del Río Yuquipa.

Por lo anterior se determinó realizar una caracterización geográfica e hidrológica del Río Yuquipa en su zona de recarga, con el fin de determinar las zonas inundables; así como también determinar el comportamiento de las crecientes del Río Yuquipa en función de las características hidrometereológicas.

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La parroquia “Sevilla Don Bosco”, se encuentra en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, siendo la parroquia más extensa del cantón, donde se encuentra el Río Yuquipa, que es un escenario propicio para balnearios, natación, pesca deportiva y observación de paisajes. La no disponibilidad de mapas que nos puedan indicar las zonas inundables genera afectaciones a las zonas aledañas al río, donde debido a la presencia de precipitaciones intensas, puede generar crecidas y a su vez provocar pérdidas económicas y también causar afectaciones a los bienes, infraestructura de transporte y a la salud de la población.

1.1.1. Formulación del problema

Las zonas aledañas al Río Yuquipa, al no disponer de una información adecuada, pueden presentar riesgos de inundación que afecte la infraestructura de viviendas, productiva y de bienestar de la comunidad.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización geográfica e hidrológica del Río Yuquipa en su zona de recarga, con el fin de determinar las zonas inundables.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las características geográficas e hidro edafológicas de la zona de recarga del Río Yuquipa.

Determinar el comportamiento de las crecientes del Río Yuquipa en función de las características hidrometereológicas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Alrededor del 70 % de la superficie de la Tierra está ocupada por agua. Es indispensable para todas las formas de vida, sin ella, el fenómeno de la vida no hubiera ocurrido. Agua y vida establecen una relación indisoluble; esta fuerte y total dependencia hacia el agua se refleja en el hecho de que los seres vivos están, mayoritariamente, formados por agua según la UNESCO (1985). Es por tal razón que surge la necesidad de estudiar el Río Yuquipa, realizando un modelamiento hidrológico el cual permita la caracterización geográfica e hidro edafológica; con el fin de preservar la biodiversidad y los sectores tanto turísticos como agrícolas de la zona y así determinar el comportamiento del río debido a las precipitaciones que se presentan en la provincia de Morona Santiago.

Por lo que el presente proyecto, busca aportar datos estadísticos con el comportamiento y crecimiento del caudal, con el fin de predecir posibles acontecimientos y así disminuir pérdidas tanto materiales, económicas como la biodiversidad en el sector que rodea al Río Yuquipa.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.Cuenca Hidrográfica

Según UICN (2016), la cuenca hidrográfica es un sistema y una unidad geográfica e hidrológica, formada por un río principal y todos sus territorios asociados entre el origen del río y su desembocadura. Además, la cuenca hidrográfica incluye el área y los ecosistemas, y sus interacciones que inciden en el curso de agua, tanto en su cantidad como en su calidad.

Los elementos de la cuenca son:

- **Río principal:** corriente natural de agua que fluye interrumpidamente. Posee un caudal variable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río
- **Afluentes:** pueden presentarse de dos formas:
- **Afluente (tributario):** alimenta el río principal de agua. Se une en un lugar llamado confluencia
- **Efluente (emisario):** son ríos que sacan agua de la corriente principal, pero no están presentes en todas las cuencas
- **Divisoria de aguas:** límite natural del agua que incluye toda la tierra que desemboca en un arroyo, río, lago o cuerpo de agua
- **Acuífero o aguas subterráneas:** formaciones geológicas en las cuales se encuentra el agua y, debido a sus características permeables, permite el almacenamiento de agua en espacios subterráneos

2.2.Caracterización de la cuenca

La presente investigación se enmarca en la cuenca “Río Yuquipa”, el cual es un afluente del Río Upano; ubicado en la Provincia de Morona Santiago. Se encuentra a una altitud de 1,049 msnm en Río Yuquipa se conoce también como Río Ceipa.

Sus coordenadas son 2º27´0´´S y 78º7´60´´W en formato DMS (grados, minutes, segundos) o -2.45 y -78.1333 (en grados decimales). Su posición UTM es RT12 y su referencia Joint Operation Graphics es SA17-12

2.3.Características Morfológicas

2.3.1. Área de la cuenca (A)

Según Mijares (1989) el área de una cuenca se define como la superficie en proyección horizontal, delimitada por la divisora de aguas, definido como la línea imaginaria formada por los puntos de nivel topográfico más alto, que separa una determinada área de una superficie más extensa

2.3.2. Perímetro de una cuenca (P)

Gaspari (2013) define al perímetro de una cuenca como la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

2.3.3. Longitud del cauce principal (L)

Beltrán (2010) define la distancia horizontal en kilómetros del río principal, es la distancia entre el desagüe y el punto más lejano de la cuenca.

Es decir, desde la parte más alta de la cuenca hasta su desembocadura, en sentido del cauce principal. (Fierro & Jiménez, 2011)

2.4.Características hidro edafológicas

2.4.1. Método de Manning

Para la estimación de caudal se utiliza la metodología Manning que es un índice que permite determinar la resistencia que presenta una corriente de agua dentro de un canal (Araya, González, & Jiménez, 2018). Este método es válido para canales muy anchos, en los cuales el radio hidráulico es aproximadamente igual a la profundidad y se fundamenta en el uso de la distribución de velocidad logarítmica.

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

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha

hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto. (ARIZA, 2018)

2.4.2. Coeficiente de Rugosidad

El coeficiente de rugosidad representa la resistencia al flujo de agua en cauces y llanuras de inundación. La selección de un valor adecuado de "n" de Manning, tiene relación directa con la precisión de los cálculos de perfiles hidráulicos ya que es uno de los parámetros principales que intervienen en la calibración del modelo hidráulico de un canal abierto. El número de Manning debe ser calibrado en todo sitio en donde sea disponible obtener información, se deberán utilizar valores obtenidos para ríos en condiciones similares, o en valores obtenidos desde datos experimentales. (Solano& Vintimilla, 2013)

2.4.3. Textura del suelo

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. (Álvarez, 2015)

Según Nicolás Ciancaglini (2016) todos los suelos están compuestos por fracciones y partículas minerales de diferentes tamaños. Las más gruesas se denominan arenas, las medianas son los limos y las más pequeñas son las arcillas.

2.4.4. Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. En casi todos los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar. Además, el proceso de infiltración es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, pudiendo detectarse así el peligro de erosión durante inundaciones a lluvias muy intensas.

La velocidad de infiltración varía considerablemente según el tipo de suelo (textura). Es así como los suelos pesados (arcillosos) presentan una baja velocidad de penetración de agua

en comparación con los suelos livianos (arenosos), que tienen una alta velocidad de infiltración. Esto hace que los suelos arcillosos se deban regar durante más tiempo que los arenosos para mojar a una misma profundidad. (Muñoz H & Miranda N, 1985)

2.4.5. Carbono del suelo

El Carbono Orgánico del Suelo es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan COS, (calcinación húmeda o seca) y que la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1.724. (Jackson, 1964)

El factor de transformación de COS a MOS puede variar entre 1.9 para suelos superficiales y 2.5 para muchos subsuelos (Broadbent, 1953). Como existe una considerable variación entre diferentes suelos y horizontes en el factor de conversión COS - MOS, es preferible informar el valor de COS sin transformar. (Allison, 1965)

2.4.6. Materia orgánica

Se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos. (Aguilera, 2000)

2.4.7. Número de curva

Según Azagra (1995), los Números de Curva del SCS reflejan la capacidad de la cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta, así como definir el Coeficiente de Escorrentía de cada cuenca.

- El valor del parámetro depende de los siguientes factores: Permeabilidad o Grupo Hidrológico de Suelo: Tipología de suelo y su capacidad de infiltración
- Uso de Suelo o tipo de cubierta vegetal: cultivos, praderas, bosques. Así como los tratamientos efectuados en el mismo (labores de cultivo): líneas de máxima pendiente, cultivos a nivel, fajas y terrazas.
- Pendiente del terreno (en función de que ésta sea superior o inferior al 3 %)

Dicho parámetro (Número de Curva) se obtiene a partir de los mapas de permeabilidad de suelos, cobertura vegetal y pendiente.

2.4.8. Coeficiente de compacidad (Kc) (Gravelius, 1914)

Compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de esa circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua. Para cuencas alargadas alcanza valores próximos a tres. **(Tablas 1 y 2)**

Tabla 1. *Índice de Gravelius para la evaluación de la forma*

Rango	**Descripción**
1 a 1.25	Forma casi redonda a oval- redonda
1.25 a 1.5	Forma oval- redonda a oval- alargada
1.5 a 1.75	Forma oval- alargada a alargada

Tomado de: Estudio Morfométrico de las Cuencas de Drenaje (Graveluis, 1984)

Tabla 2. *Índice de Gravelius para la evaluación de una Interpretación Ambiental*

Kc	**Interpretación Ambiental**
1 a 1.25	Alta tendencia a inundaciones
1.25 a 1.5	Mediana tendencia a inundaciones
1.5 a 1.75	Baja tendencia a la inundación
>1.70	Cuencas propensas a la conservación

Tomado de: Estudio Morfométrico de las Cuencas de Drenaje (Graveluis, 1984)

2.4.9. Tiempo de concentración

Llamas (1993) lo define como el tiempo requerido, para que, durante una tormenta uniforme, alcance un estado estacionario, es decir, es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el punto más alejado de la cuenca que produce el cauce, al punto de desagüe o cierre de la cuenca. (Monsalve, 1999)

El Tc depende de los siguientes factores:

Del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño mayor Tc

De la topografía: a mayor pendiente, menor Tc

La forma: las cuencas alargadas presentan menores Tc que las cuencas redondeadas

2.5.Hidrogramas Unitarios sintéticos

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

2.6.Curvas IDF

Roberto Pizarro (2017), Plantea que las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

Se debe destacar que la intensidad, según Chow et al (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h), y ésta (1) se expresa como:

$$i = \frac{P}{Td} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y Td es la duración, dada usualmente en h.

2.7.Periodos de Retorno

El Periodo de Retorno de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.), se define como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento (Mélice y Reason, 2007). El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles.

A continuación, se presenta uno de los métodos para calcular el Periodo de Retorno:

Método de Weibull

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{n+1}}{\mathrm{m}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Se define el periodo de retorno (T) como el valor inverso a la probabilidad de excedencia de un determinado evento (lluvia).

$$P = \frac{1}{T} * 100 \quad \text{(Ecuación 3)}$$

En la fórmula n es el número total de datos de una serie, m representa el número de orden de la serie arreglada en forma creciente y P la probabilidad de excedencia de que la precipitación sea igualada u operada.

2.8.Lluvia de diseño

La lluvia de diseño se calcula a partir de características tales como la media de los volúmenes de las lluvias observadas, la duración, y la posición en el tiempo y magnitud del pico de intensidad. (Marsalek, 1984)

2.9.Modelamiento Hidrológico HEC-HMS y HEC-RAS (Hidrology Engineering Center- River Analysis System)

El programa de modelamiento HEC–HMS es un piloto de parámetros agregados con distribución espacial. Mediante su operación se logra derivar la cuenca en microcuencas, tomando como referencia los tributarios del flujo principal. Posteriormente proceden a agruparse por áreas lo más posiblemente semejantes en la vegetación, uso de suelo, grupo de suelo y situación hidrológica.

Contempla tres modelos primordiales que se distinguen como la cuenca, precipitación y control, los mismos que antes de comenzar a realizar la simulación se deben encontrar totalmente definidos. Existen cinco bases de información que deben proporcionarse a la hora de operar el programa de modelamiento HEC–HMS como el antecedente de las precipitaciones en el tiempo o de diseño, particularidades del suelo, morfometría de las microcuencas, datos hidrológicos acerca del proceso de transformación de lluvia en escurrimiento, información hidráulica de los intervalos de conducto y de las capacidades de las presas. (Miranda, Ibáñez, Valdez, & Hernández, 2008)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización

La parroquia Sevilla Don Bosco, se encuentra en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, siendo la parroquia más extensa del cantón con una superficie de 2,305.44 km^2. La parroquia se encuentra ubicada al margen izquierdo del río Upano, planicie denominada Valle del Río Upano, frente a la ciudad de Macas, en las coordenadas 02° 26´ de latitud sur y 78° 11´ de longitud oeste, se extiende desde los 400 msnm hasta los 2,300 msnm. La parroquia se encuentra en la zona seis de planificación. **(Figura 1)**

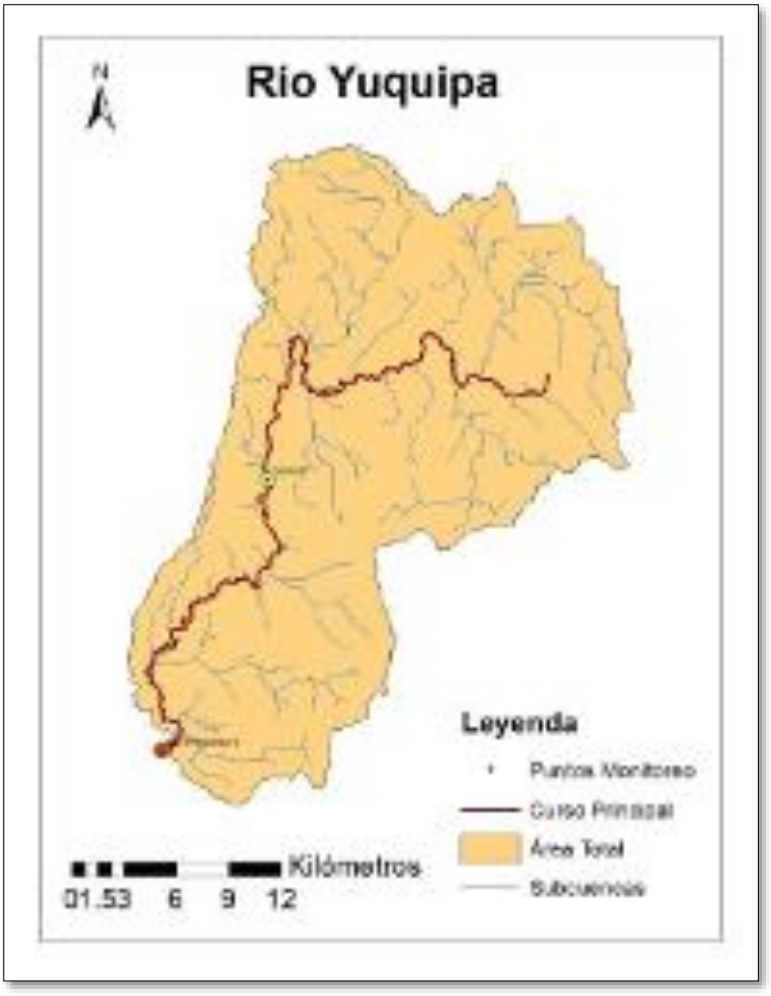

Figura 1.*Mapa del Río Yuquipa en la Parroquia Sevilla Don Bosco*

Aspectos ambientales

3.2.Clima

En el territorio de la parroquia Sevilla Don Bosco se presenta un clima templado, cálido, húmedo sin déficit hídrico, según el Mapa de climas del Ecuador del INAMHI.

En general, el clima es cálido, caracterizado además por sus elevadas precipitaciones, temperaturas elevadas y regulares a lo largo del año, con escasa oscilación térmica, mientras que debido a las precipitaciones se pueden caracterizar dos estaciones, una húmeda y otra seca. En otras partes del territorio parroquial se encuentran zonas donde la humedad relativa es evidentemente muy elevada, superior al 90 %, y el cielo está a menudo cubierto de nubes lo que se traduce en una insolación baja, del orden de las 1000 horas por año. (SENPLADES, 2016) **(Tabla 3)**

Tabla 3. *Aspectos Climatológicos*

ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	ÍNDICES
Altitud (m.s.n.m)	600 – 1600
Precipitación (mm)	2000 – 4000
Temperatura (ºC)	18 – 28
Humedad Relativa	87 %
Tipo de Clima	Húmedo subtropical Húmedo tropical Lluvioso temperado Muy húmedo subtropical

Tomado de: Sistema Nacional de Información (SENPLADES, 2016)

3.3.Tipo de investigación

El presente trabajo es de tipo descriptiva, analítica y cuantitativa; esto se debe a que durante su proceso se recopilo datos simultáneos previos a la elaboración de la fase de resultados, los mismos que nos ayudarán hacer más precisos en los modelamientos de posibles desastres.

3.4.Método de investigación

El presente trabajo se desarrolla en función del procesamiento de data secundaria, con datos obtenidos en la catedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, con información del estudio de intensidades de pluviometría. (Guachamín, 2015)

La recopilación de la información se lleva a cabo mediante información bibliográfica, medición de parámetros en campo, aplicación de fórmulas matemáticas y el uso de programas informáticos para modelamiento.

3.5.Diseño de la investigación

Para llevar a cabo el trabajo de investigación, primeramente, se reconoce el lugar de estudio y punto de estimación de caudal en un punto firme en el río (roca de 2m), se identifica las coordenadas con la aplicación de GPS Essencial y posteriormente se colocan corregidos los puntos en el Google Earth Pro.

Se descargan imágenes TIFF de la zona a través de la página Earth Explores y SIG Tierras las cuales se procesan en el programa ARC MAP 10.5, donde se identifica el sitio de registro del caudal y se determinan los límites de la cuenca, el área, la red de drenaje y el cauce del Río Yuquipa a través de la herramienta Hidrology del Arc Map.

Se levanta información bibliográfica de la morfología e hidrología referentes a la zona de estudio. Así como también se utiliza programas como Google Earth y ArcGIS, para indicar como se delimitará la cuenca a través de imágenes satelitales la zona de estudio.

3.6.Parámetros relativos a la forma

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

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28\frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$Donde$:

$Kc = Coeficiente\ de\ compacidad$

$P = Perímetro\ de\ la\ cuenca\ km$

$A = Área\ de\ la\ cuenca\ km^2$

3.7.Parámetros relativos al relieve

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

$$Pm = \frac{\Delta h}{L} * 100 \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$Donde$:

$Pm = Pendiente\ de\ la\ media\ del\ cauce$

$\Delta h = Diferencia\ de\ nivel\ de\ una\ sección$

$L = Longitud\ de\ la\ sección$

3.8.Parámetros relativos al drenaje

Para realizar el cálculo de la relación de bifurcación se emplea la siguiente fórmula:

$$Rb = \frac{No}{Nos} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$Donde$:

$Rb = Relación\ Bifurcación$

$No = Número\ de\ segmentos\ de\ un\ orden$

$Nos = Número\ de\ segmentos\ de\ un\ orden\ inmediatamente\ superior$

Según Bateman (2017), la densidad de corriente se puede calcular por la siguiente formula:

$$Ds = \frac{Ns}{A} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

$Donde$:

$Ds = Densidad\ de\ corriente$

$Ns = Número\ de\ corrientes\ perennes\ o\ intermitentes$

$A = Área\ de\ la\ cuenca$

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

$$Tc = (0.06628 * L)^{0.77} / S^{0.385} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

$Donde$:

$Tc = Tiempo\ de\ concentración$

$L = Longitud\ del\ canal$

$S = Pendiente$

3.9.Estimación de caudal

Para la estimación de caudal se marca con pintura roja una línea cada 0.10 m, donde se observa el nivel del río en cada una de las marcas durante 12 semanas, aquí se realiza una batimetría, registrando la profundidad del río con intervalos de 1 m, el mismo procedimiento se lo repite cinco metros aguas arriba, donde se determina los parámetros de área de mojado y perímetro de mojado, estableciéndose una media entre el perfil de entrada y el de salida. Posteriormente se identifica los rastros de crecida, como presencia de hojarasca acumulada, tallos doblados de hierbas, para así determinar la altura máxima que alcanza el río cuando crece y en función de las características del perfil establecer su caudal.

3.10. Radio Hidráulico

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

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

$Donde$:

$Rh = Radio\ Hidráulico$

$A = Área\ de\ la\ cuenca$

$P = Perímetro\ de\ la\ cuenca$

3.11. Velocidad

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

$$v = \frac{1}{n} * (Rh)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$Donde$:

$v = Velocidad$

$n = Coeficiente\ de\ rugosidad\ de\ Manning$

$Rh = Radio\ Hidraulico$

$S = Pendiente\ media\ del\ canal$

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

3.12. Caudal

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

$$Q = A * v \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

$Q =$ Gasto o caudal de la corriente

$A =$ Área de la sección transversal de la corriente

$v =$ Velocidad media de la corriente

3.13. Determinación de la lluvia del proyecto

3.13.1. Construcción de curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia)

Para realizar el análisis de la lluvia de proyecto, se utiliza las curvas IDF presentadas en el presente informe “Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación” publicado por el INAMHI, en el año 2015. (Guachamin et al., 2015)

3.13.2. Determinación del Hietograma

Teniendo en cuenta la curva del periodo de retorno con el que se calculara el hietograma, se divide la duración del hietograma en partes iguales (n). Se calcula la intensidad correspondiente a cada uno de los tiempos. Obteniendo como resultado la intensidad para cada hora. (Martínez, 2005)

$$H_1 = I_1$$
$$H_2 = 2I_2 - H_1$$
$$H_3 = 3I_3 - H_1 - H_2$$
$$H_n = nI_n - H_{n-1} - H_{n-2} - H_2 - H_1$$

3.13.3. Hidrograma del SCS (Servicio de Conservación del Suelo)

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

$$t_p = \frac{D}{2} + t_r \quad \text{(Ecuación 12)}$$

$$D = 0.133 t_c \quad \text{(Ecuación 13)}$$

$Donde$:

$T_p = Tiempo\ de\ punta\ en\ horas$

$D = Duración\ de\ la\ lluvia\ en\ horas$

$t_r = Tiempo\ de\ retardo\ (t_r = 0{,}6 \times t_c)$

$T_c = Tiempo\ de\ concentración\ en\ horas$

Para el cálculo de caudal punta por el método del SCS, según Martínez (2005), el caudal tiene la expresión:

$$Q_p = (2.08 \times A)/t_p \quad \text{(Ecuación 14)}$$

$Donde$:

$Q_p = Caudal\ en \frac{m3}{s} que\ produce\ una\ lluvia\ neta\ 1\ cm$

$t_p = Tiempo\ de$ puntas en horas

$A = Área\ en\ km^2$

3.14. Medición de la velocidad de infiltración mediante el método de infiltró metro de doble anillo

Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizó el método de doble anillo. (Weber, 2015)

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

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

$Donde$:

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

$t_0 = Tasa\ inicial\ de\ infiltración$

$k = Coeficiente\ de\ decrecimiento\ de\ la\ capacidad\ de\ infiltración$

$t = Tiempo\ en\ horas$

3.15. Número de la curva

Para determinar el número de curva ocuparemos los datos de:

P = Precipitación total

PE =Exceso de precipitación (lo que produce escorrentía)

F= Retención existente

S= Retención potencial máxima.

Para hallar esta última se usa la formula del número de la curva

$$CN=100010+SCN=100010+S \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde sí:

CN=100, entonces S=0. Por otro lado, si CN=1 casi toda la lluvia se infiltra o es retenida en la cuenca. (PASTRANA, 2011)

Para establecer el número de la curva, se necesita conocer parámetros como:

- ✓ El tipo de suelo (bosque, pastizal, etc.),
- ✓ Tratamiento agrícola
- ✓ Condiciones hidrológicas; pobres (menos del 50 % de cobertura), medias (entre el 50 % y 75 %) y buenas (más del 75 %)
- ✓ Antecedentes hidrológicos, y adaptarlos dentro de los rangos establecidos en tablas para mejor y más práctico reconocimiento del número de curva, que se encuentra en S.C.S Hidrology. Sección 4. National Engineering Handbook, 1972. (Martínez 2005)

3.16. Programa de modelamiento HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)

El programa de modelamiento HEC–HMS es una guía de parámetros agregados con distribución espacial. Mediante su ejecución se logra dividir la cuenca principal en microcuencas, tomando. Consecutivamente se proceden a aglomerar por áreas lo más semejantes en la vegetación, uso de suelo, grupo de suelo y situación hidrológica.

Se deben seguir los siguientes pasos para la aplicación de esta técnica, sin embargo, antes de realizar la simulación se debe instalar el programa previamente en el computador:

1. Abrir el programa, crear un proyecto y modelo nuevo: *Components* $\rightarrow$ *Basin model manager* $\rightarrow$ *New* $\rightarrow$ *Create*
2. Incluir el mapa de la cuenca obtenido del programa ArcMaps 10.5: *View* $\rightarrow$ *Background maps* $\rightarrow$ *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* $\rightarrow$ *Connect downstream* $\rightarrow$ *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. (Computacional, 2019)

3.16.1. Programa de Modelamiento HEC-RAs (Hydrological Engineering Center – River Analysis System)

El programa es un paquete integrado de análisis hidráulico unidimensional. El programa es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme y variado, transporte de sedimentos, modelización de flujo en régimen permanente y no permanente, modelización del trasporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas.

HEC-GeoRAS fue desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS. En este caso se empleó para obtener datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río y secciones transversales. Estos luego fueron exportados a HEC-RAS para introducirle los datos del flujo. (Tancredi, 2017)

Nania (2016) menciona que, para desarrollar el modelo, deben completarse los siguientes pasos:

1. Crear un nuevo proyecto
2. Introducir los datos geométricos
3. Introducir los datos hidráulicos: caudal y condiciones de contorno

4. Crear un plan seleccionado una geometría y unos datos hidráulicos y ejecutar la simulación
5. Ver los resultados

3.16.2. Simulación con HEC-GeoRAS y HEC-RAS

Consta en determinar la geometría del canal con ArcGis y HEC-GeoRAS, para generar un archivo de importación para HEC-RAS que contiene la información geométrica de las secciones transversales, modelización del flujo con HEC-RAS y generación del archivo de exportación para ArcGis, y elaboración de cartografía final. (Xiong, 2011; Timbadiya et al, 2011; Perozo y Marrero, 2011)

3.17. Recursos

3.17.1. Materiales

- ✓ Metro
- ✓ Libreta de campo
- ✓ GPS
- ✓ Lápiz
- ✓ Botas
- ✓ Flexómetro
- ✓ Regla
- ✓ Cintas
- ✓ Manila
- ✓ Gorras
- ✓ Computadora

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1.Características de cuenca

Las características de una cuenca hidrográfica nos ayudan a tener una mejor visualización de dicha cuenca, donde se estimó el área y el perímetro de la microcuenca, siendo de 390 km^2 y de 105 km respectivamente. Es importante mencionar y resaltar que estos valores de acuerdo con la clasificación de Chow (2011), el Río Yuquipa se considera una cuenca intermedia - pequeña, susceptible a precipitaciones de alta intensidad y corta duración permitiendo que el río siga su cauce.

Para la microcuenca, la longitud desde la naciente hasta la desembocadura es de 590 km, con una cota máxima de 1,652 msnm y la mínima de 958 msnm, con una pendiente de 0.018 % (**Tabla 4**)

Tabla 4. *Características hidrográficas de la microcuenca Río Yuquipa*

PARÁMETRO	UNIDAD
Área	390 km^2
Perímetro	105 km
LCP	38.5 km
D lineal	16,600 m
Cota Máx.	1,652 msnm
Cota Mín.	958 m
S	0,018 %
TC	5.2 h

Para calcular el tiempo de concentración se utilizó la fórmula de Kirpich, la cual arrojó un tiempo de recorrido total de 5.2 h.

Por último, se determinó el coeficiente de compacidad según Gaspari et al (2012), dándonos un valor de 1.5.

4.2.Infiltración

Mediante el Modelo Horton logramos plantear que la velocidad de infiltración y la capacidad de infiltración inicial Fo son de 0.793 cm/min, la capacidad de infiltración Fc= 0.099 cm/min. En la práctica de infiltración hecha en el punto de control del Río Yuquipa, se puede apreciar que la velocidad de infiltración va perdiendo su ritmo, es decir que va disminuyendo paulatinamente, mientras que en la infiltración acumulada va aumentado. **(Figura 2)**

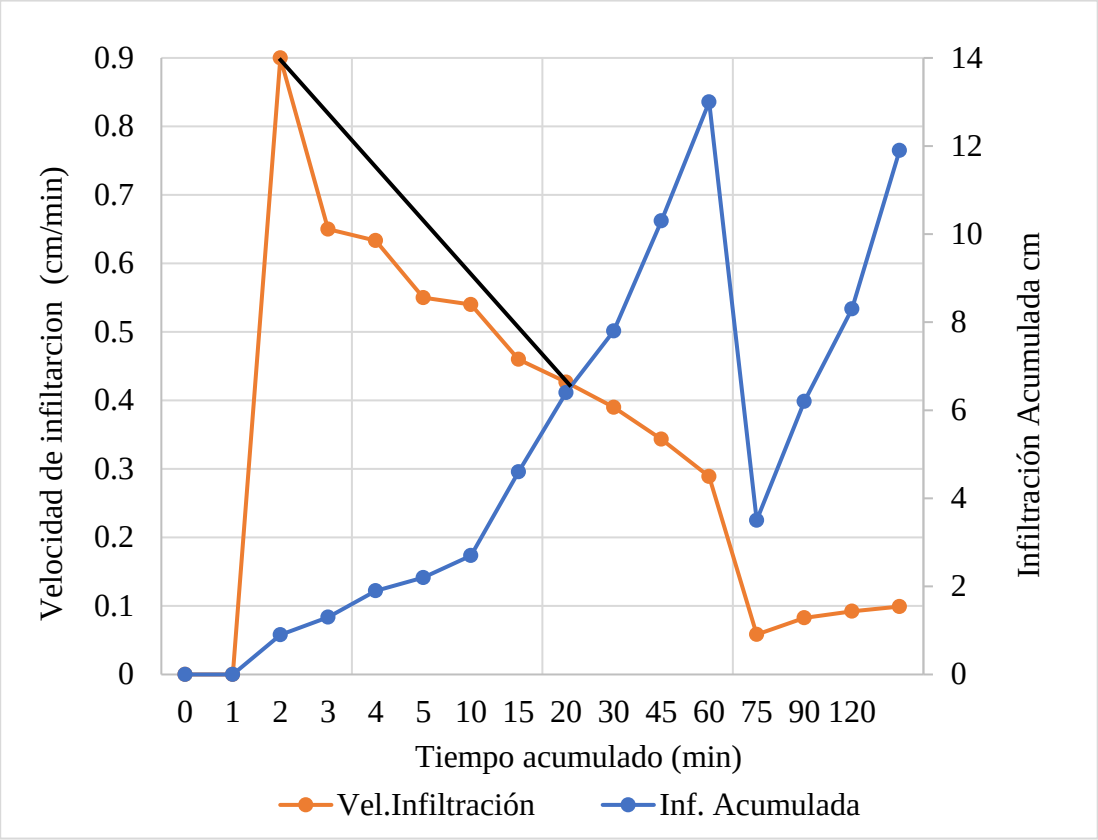

Figura 2.*Curva de Infiltración*

4.3.Determinación del número de curva

Para estimar el número de curva de la microcuenca del Río Yuquipa se tomó en cuenta determinados factores como el tipo de suelo, condición hidrológica y tipo de bosque. Para calcular dichos parámetros se utilizó los datos de lluvia cinco días previos a realizar la práctica de infiltración, esto demuestra que las plantas se encuentran en un periodo de crecimiento, determinando que existe una humedad previa, dándonos como resultado que un tipo de suelo del grupo A, con una condición de humedad II y el número de curva un valor de 39 (II). **(Tabla 5)**

Tabla 5. *Condiciones hidrográficas, tipo de suelo y número de curva NC de la microcuenca del Río Yuquipa*

Parámetros	Unidad
Capacidad de infiltración inicial Fo	476.08 mm/h
Velocidad de infiltración	476.08 mm/h
Capacidad de infiltración Fc	59.5 mm/h
F	59.5 mm/h
Categoría del suelo	A
Espesor de la hojarasca	2.12
Espesor de humus	5.11
Nivel de compacidad	Suelo no compacto
Número de curva II	39
Lluvia acumulada cinco días previos	7 mm
Número de curva I	5.41

4.4.Caudales

4.4.1. Perfil de entrada y salida

Mediante la práctica de batimetría se procedió a elaborar los cálculos de la entrada y salida del perfil del río, por medio de los datos que se obtuvieron en las mediciones a cada metro en un punto del río, el perfil de entrada es representado por un ancho de 14.8m, que durante el aumento del caudal este incrementa a una distancia de 16 m aproximadamente, tomando como referencia el perfil de crecida que deja luego de las fuertes precipitaciones, de igual manera su perfil de salida mantiene su ancho de 14.8m y aumenta tras las precipitaciones de la zona, como se puede visualizar en las siguientes figuras. **(Figura 3 y 4)**

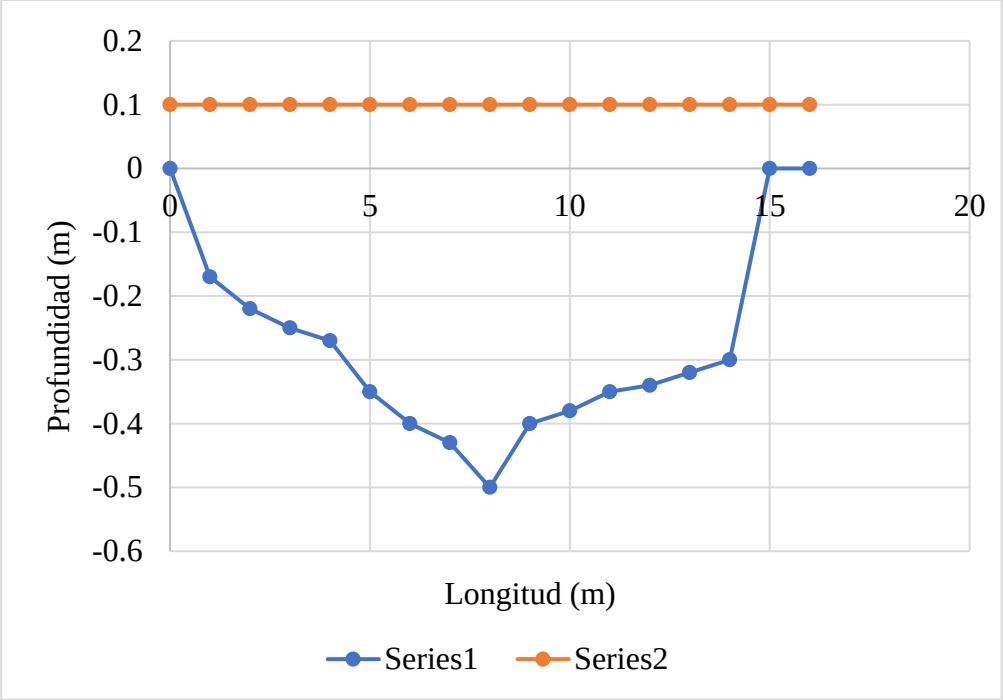

Figura 3.*Perfil de entrada del Río Yuquipa*

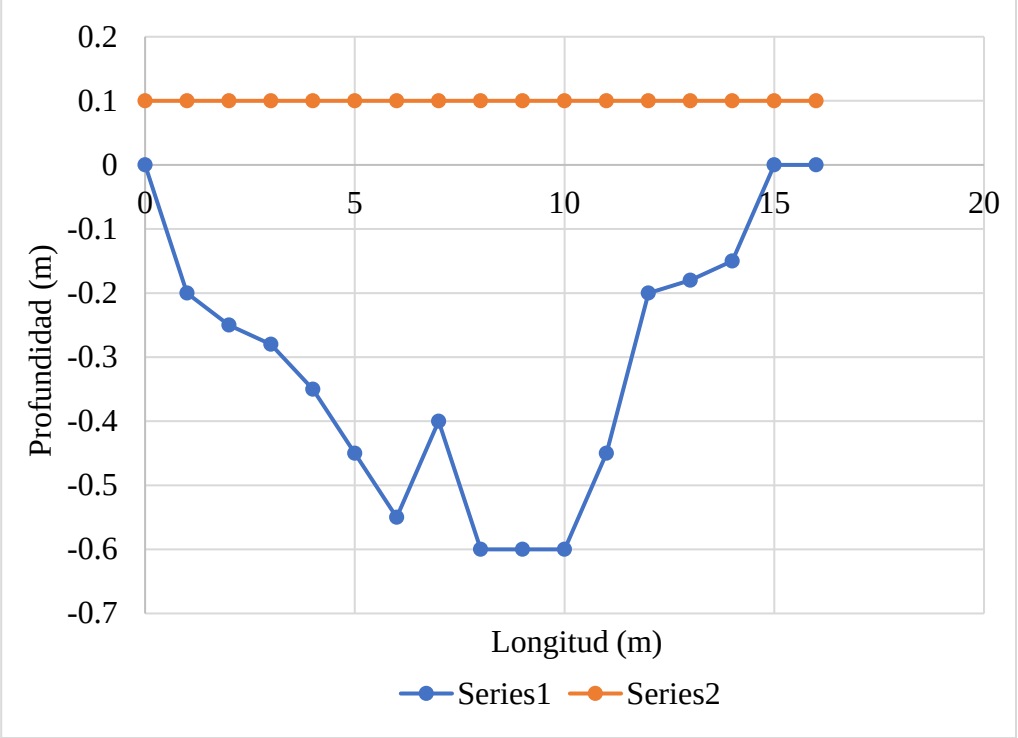

Figura 4.*Perfil de salida del Río Yuquipa*

A continuación, se calculó el coeficiente de rugosidad a través del diámetro y longitud de tres piedras, teniendo un promedio de 0.029, con una pendiente de 0.001 %; además, se obtuvieron los caudales en ambos perfiles siendo el más bajo de 1.9 m3/s. **(Tabla 6)**

Tabla 6. *Cálculo de Caudales*

Profundidad		**Entrada**	**Salida**	**Promedio**	**Radio Hidráulico**	**n**	**Pendiente**	**Velocidad**	**Caudal**
0	Área Perímetro	4.38 15.24	5.68 15.36	5.04 15.31	0.32	0.029	0.001	0.52	3.0
-0.05	Área Perímetro	3.68 15.05	4.218 15.10	4.218 15.1	0.27	0.029	0.001	0.47	2.0
-0.1	Área Perímetro	3.68 15.05	4.218 15.10	3.95 15.08	0.26	0.029	0.001	0.45	1.9

4.5.Lluvia de Diseño

4.5.1. Curvas de IDF

Según la curva IDF de la estación M0062 (Macas), para los tiempos de 60- 1,440 minutos (1-24 horas) se utilizaron las ecuaciones presentadas. Las cuales nos ayudaron a calcular los periodos de retorno y así establecer la lluvia de diseño con las fórmulas presentes. (**Figura 5)**

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R^2
CÓDIGO	NOMBRE				
M0062	MACAS AEROPUERTO	5 <30	$i = 125.5996 * T^{0.2276} * t^{-0.2881}$	0.9831	0.9666
		30 < 120	$i = 513.621 * T^{0.2112} * t^{-0.6962}$	0.9940	0.9880
		120 < 1440	$i = 1116.631 * T^{0.1747} * t^{-0.8301}$	0.9965	0.9931

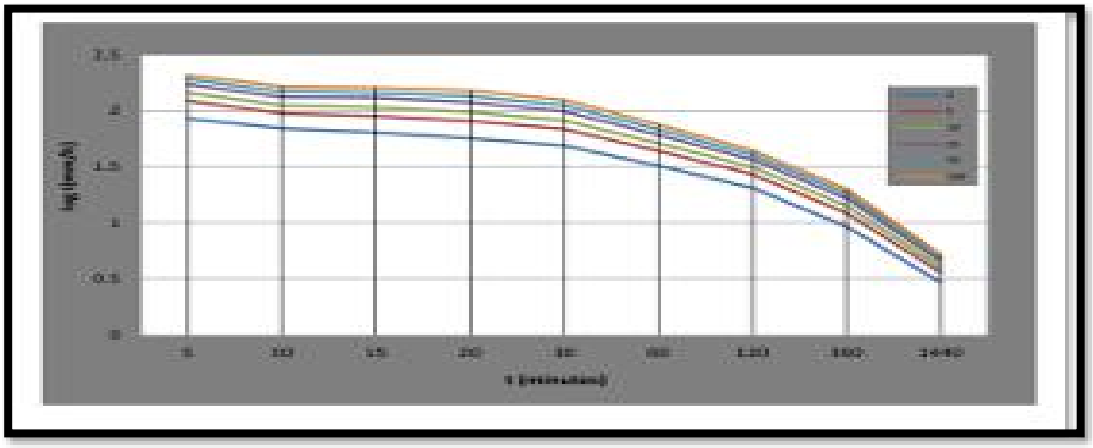

Figura 5.*Curvas IDF para le estación meteorológica M0062*

Tomado de: Guachamin (2015)

4.5.2. Curvas de intensidad, duración y frecuencia

Es el comportamiento de las precipitaciones presentadas durante un tiempo en dicho lugar, en nuestro caso de la estación Meteorológica Macas, en la provincia de Morona Santiago, donde se analizaron los registros pluviométricos en 24 horas. **(Tabla 7)**

Tabla 7. *Intensidades máximas en 24 horas para períodos de (2,5,10,25,50 y 100 años)*

Horas	Min	2	5	10	25	50	100
1	60	34.38	41.72	48.29	58.61	67.84	78.54
2	120	23.69	27.80	31.38	36.83	41.57	93.85
3	180	16.92	19.86	22.41	26.30	29.69	100.54
4	240	13.33	15.64	17.65	20.72	23.38	105.57
5	300	11.07	12.99	14.67	17.21	19.43	109.65
6	360	9.52	11.17	12.61	14.80	16.70	113.10
7	420	8.37	9.83	11.09	13.02	14.69	116.10
8	480	7.50	8.80	9.93	11.65	13.15	118.77
9	540	6.80	7.98	9.00	10.57	11.93	121.17
10	600	6.23	7.31	8.25	9.68	10.93	123.36
11	660	5.75	6.75	7.62	8.95	10.10	125.37
12	720	5.35	6.28	7.09	8.32	9.39	127.24
13	780	5.01	5.88	6.64	7.79	8.79	128.98
14	840	4.71	5.53	6.24	7.32	8.27	130.62
15	900	4.45	5.22	5.89	6.92	7.81	132.16
16	960	4.22	4.95	5.59	6.55	7.40	133.61
17	1020	4.01	4.71	5.31	6.23	7.04	135.00
18	1080	3.82	4.49	5.06	5.94	6.71	136.31
19	1140	3.66	4.29	4.84	5.68	6.41	137.57
20	1200	3.50	4.11	4.64	5.45	6.15	138.78
21	1260	3.36	3.95	4.46	5.23	5.90	139.93
22	1320	3.24	3.80	4.29	5.03	5.68	141.04
23	1380	3.12	3.66	4.13	4.85	5.47	142.11
24	1440	3.01	3.53	3.99	4.68	5.28	143.14

4.5.3. Lluvia de diseño (2,5,10,25,50 y 100 años)

Según Bazzano (2019), la estimación de la lluvia de diseño requiere al igual que el caudal, de un extenso registro de mediciones locales, aunque afortunadamente estas se encuentran con mayor

facilidad. Aun así, existen sitios donde escasean las series pluviométricas, en cuyo caso se recurre a información de zonas vecinas.

La lluvia de diseño es un evento hipotético crítico, cuya estimación pertenece al ámbito de la predicción. Se diferencia de los pronósticos en tantos éstos definen las condiciones meteorológicas asociadas a un momento definido en el tiempo. (Caamaño Nelli, 2003)

Analizando el Hietograma de lluvia de diseño que se obtiene en base a la curva IDF, se puede constatar que en la hora 13 todos los periodos de retorno alcanzan su punto máximo. **(Figura 6)**

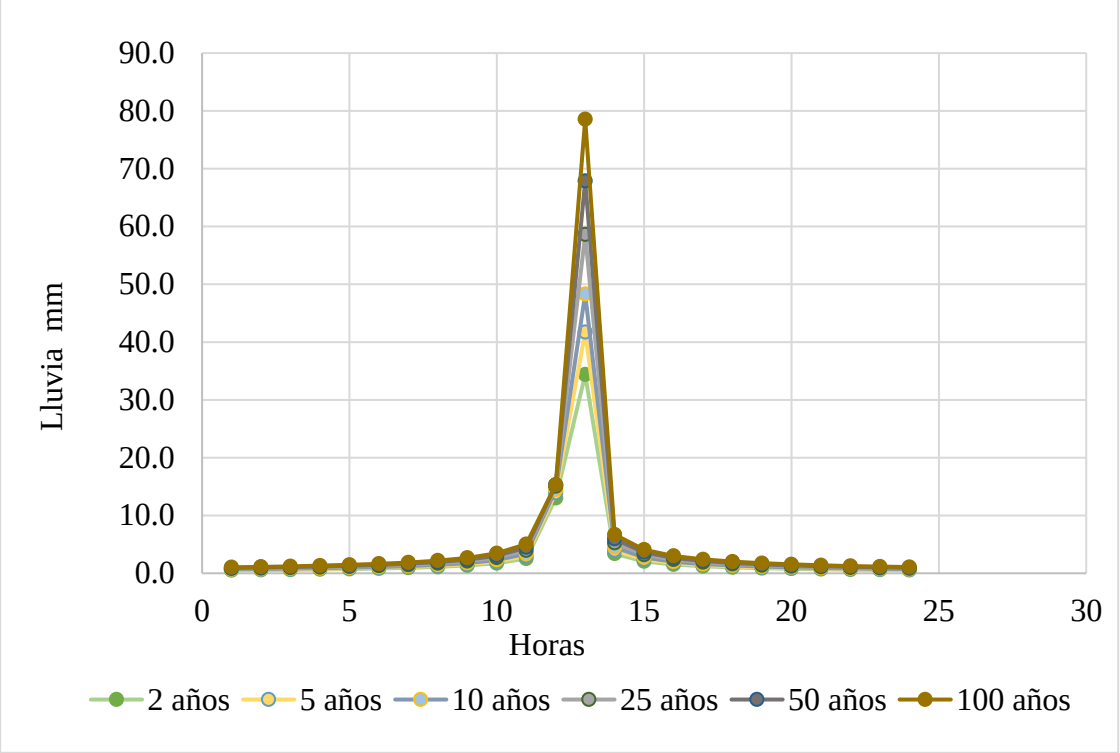

Figura 6. *Hietograma de lluvia de diseño para microcuenca Río Yuquipa*

4.6.Hidrograma unitario sintético (HEC-HMS)

4.6.1. Caudales estimados en HEC-HMS para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años

Para elaborar el modelamiento hidrológico de la microcuenca del Río Yuquipa, se manejó el Software Hidrologic Engineering Center- Hidrologic Modeling Sistem (HEC-HMS), donde se integraron datos de los parámetros como: área de 390 km^2, número de curva (II) 39, una pendiente de 0.018 %, gasto base de 1.9 m^3/s y un tiempo de concentración de 310 min.

Adicional, se ingresó los valores obtenidos de la lluvia de diseño del proyecto, donde posteriormente se generó la simulación para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años). Posteriormente se obtuvo los siguientes resultados del programa (HEC-HMS) con el tiempo, la precipitación y el caudal total, de los seis periodos de retorno.

4.6.1.1.HEC-HMS periodo de retorno de (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años)

En la figura 7, se visualiza un hidrograma que representa los flujos de caudal para cada periodo de retorno, en donde se puede observar que existe un aumento en el flujo a partir de las 13:00 horas para todos los periodos, mientras que el pico más alto para el periodo de dos y cinco años es de 17:00-18:00 horas con un flujo de 10 m^3/s; para el periodo de 10 años de 18:00-19:00 horas con un caudal de 14.3 m^3/s; para 25 años su pico es a las 20:00 horas con un flujo de 31.9 m^3/s; para el periodo de 50 años su pico es a las 19h00 con 57.3 m^3/s y el de 100 años a las 19h00 horas con un caudal de 95.2 m^3/s. **(Figura 7)**

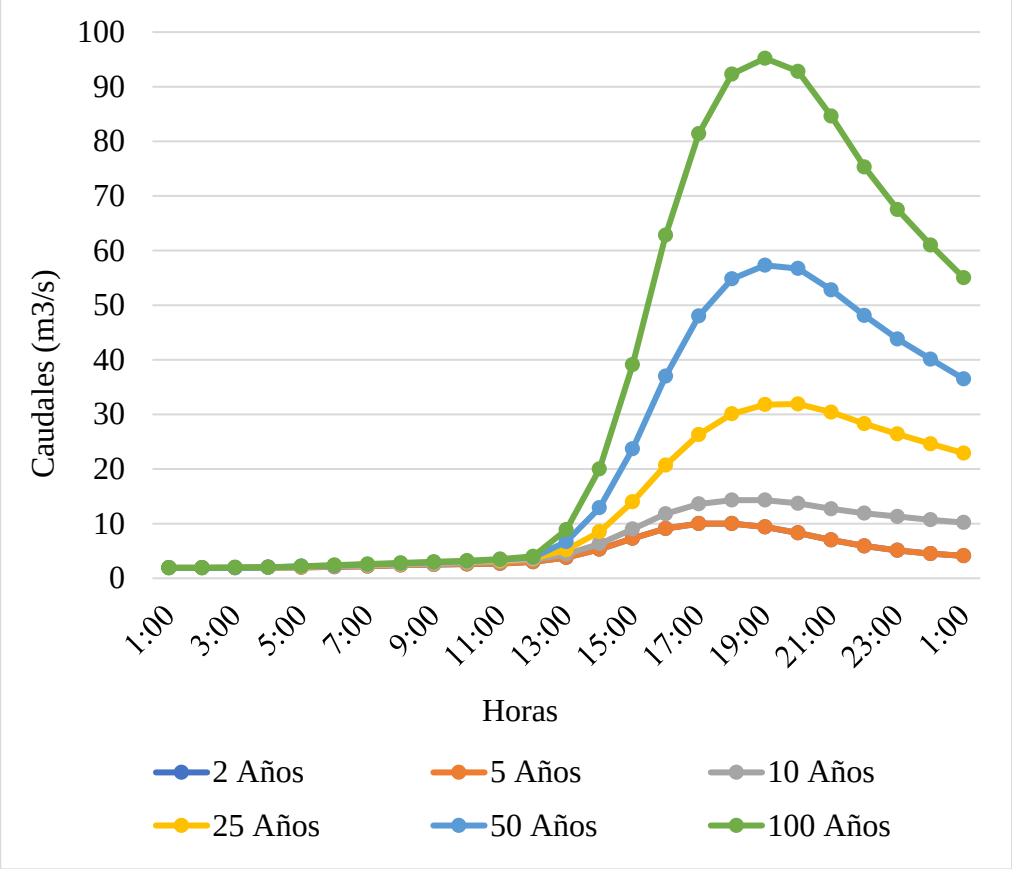

Figura 7. *Hidrograma de periodos de retorno para la microcuenca del Río Yuquipa*

4.7.Áreas de Inundación para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en HEC- RAS

4.7.1. Modelamiento Informático con HEC- RAS

Inundaciones generadas en los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, mediante la aplicación del programa informático HEC- RAS, para la simulación de las inundaciones.

4.7.1.1.Periodo de retorno 50 años HEC-RAS

En el presente modelamiento hidrológico para el periodo de 50 años, realizado en el Software HEC- RAS conjunto con Google Earth, se observan las zonas con riesgo de inundación del Río Yuquipa, con sus respectivas elevaciones para los 50 años; siendo este periodo uno de los más riesgosos para inundación. **(Figuras 8 y 9)**

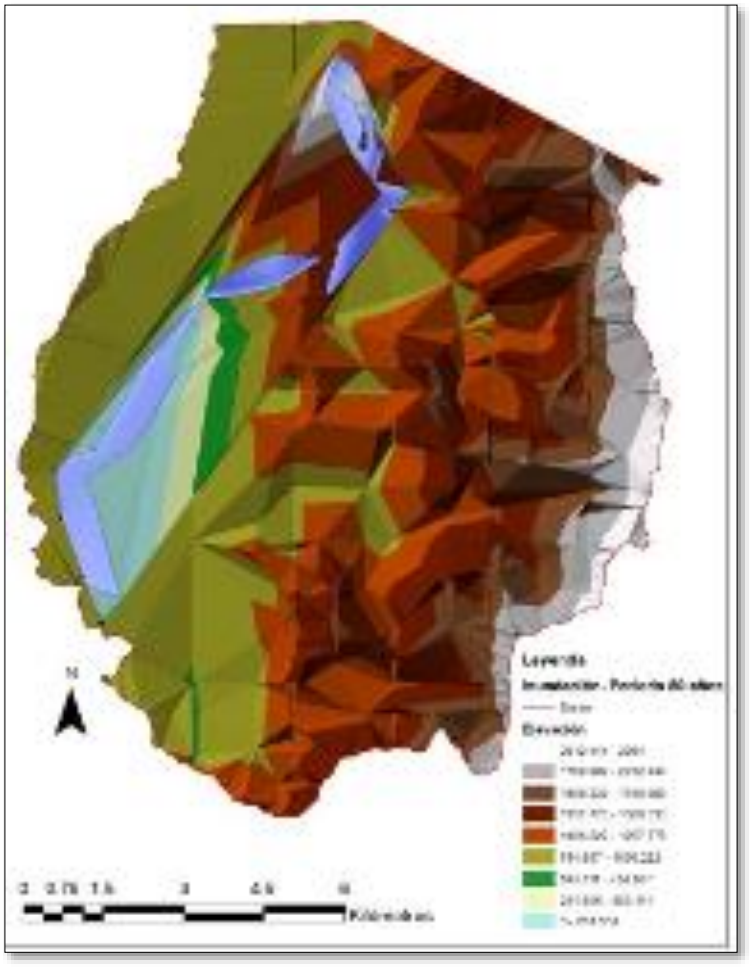

Figura 8. *Periodo de retorno de 50 años, Inundación*



Figura 9. *Zonas de posible inundación en el periodo de 50 años*

Las zonas de inundación están representadas de color celeste desde el punto de control, hasta la desembocadura del río Yuquipa

4.7.1.2.Periodo de retorno 100 años en HEC-RAS

A continuación, se observan las zonas inundables del río Yuquipa, con sus respectivas elevaciones para los 100 años; siendo también este periodo otro de los más riesgosos para inundación. **(Figuras 10 y 11)**

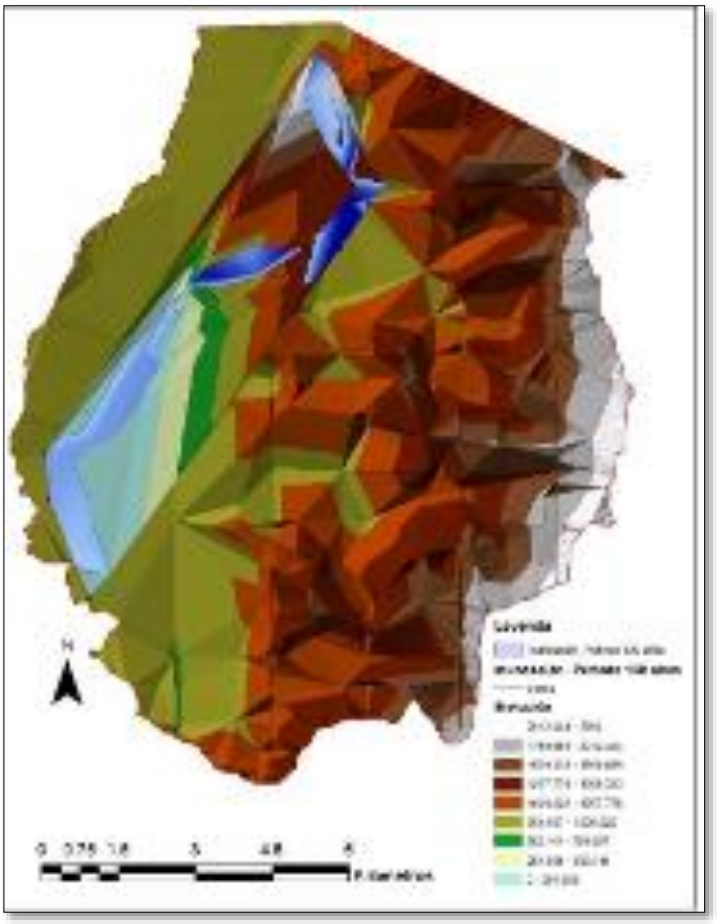

Figura 10. *Periodo de retorno de 100 años, Inundación*



Figura 11. *Zonas de posible inundación en el periodo de 100 años*

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Se concluye que en el Río Yuquipa se pueden presentar eventos extremos, donde existen zonas que presentan riesgos de inundación, tanto en los periodos de 50 y 100 años.
- Dentro de la cuenca del Río Yuquipa se identificó las características geográficas e hidro edafológicas como el tipo de suelo, tipo de vegetación y la condición hidrológica de la cuenca, las cuales son factores importantes que pueden o no influenciar en los cambios del cauce del río a través de los años, debido a las inundaciones que puedan presentarse en el trayecto y verse afectados por su vulnerabilidad al poseer pastizales y al ser un suelo no compacto
- Se determinó que el comportamiento del Río Yuquipa al tener un cambio en su caudal en el periodo de 50 años con 57.3 m^3/s y en 100 años incrementando aún más a un caudal de 95.2 m^3/s, afectará al cauce normal de la cuenca, causados por las condiciones meteorológicas de la zona y así poniendo en riesgo a las comunidades de San Luis de Ininquis y Sagrado Corazón.

RECOMENDACIONES

- Actualización de la base de datos de las microcuencas en las provincias de Morona Santiago para editar dificultades al momento de realizar algún tipo de investigación con respeto a modelamientos hidrológicos.
- Realizar varias pruebas de estudio en la micro cuenta del Río Yuquipa para evitar datos erróneos en la obtención de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. B. (2015). *Agronomía*. Recuperado de: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5221/1/Introduccion%20a%20la%20agronomia.pdf.
- Álvarez; H & Cárdenas; H. 2018. *Determinación del número de curva*. Modelos y Validación de Métodos. Recuperado de: https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=f87557e201d24d64a6578a25632bebde.
- Ariza, J. A. (2018). *20161579016*. Obtenido de UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13336/parraarizajerssonaugusto2018.pdf;jsessionid=54B15146B2DECE5AA865B77EAAFE48DB?sequence=1.
- Bazzano, F. (2019). *Predicción de lluvias máximas para diseño hidrológico. Desarrollo experimental en la provincia de Tucumán (Tesis Doctoral, Universidad Ncional de Tucumán, Argentina).* Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/79213/CONICET_Digital_Nro.b8fe39db-3dd1-4c68-86a6-6e3a60325bad_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Bello & Velázquez, 2012. *Cálculo de periodo de retorno*. Recuperado de: http://ru.ffyl.unam.mx/bitstream/handle/10391/3722/07_Bello_Velazquez_Periodo_retorno_Guia_Metodos_Estadisticos_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Burgos, B., Cartaya, S., & Mero, D. (13 de Diciembre de 2018). *Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador*. Obtenido de SciELO: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112019000100003&lng=es&nrm=iso.
- Caamaño Nelli, G.E., 2003. *Planteo teórico metodológico y encuadre geográfico del análisis. Capítulo 1 en Lluvias de diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias.* Editores: Caamaño Nelli,G. y Dasso, C. Ed. Universitas. Córdoba, Argentina.
- Cenapred (Centro Nacional de Prevención de Desastres) (2009). *Inundaciones*. México: Cenapred.

- Ciancaglini, N. (2016). *Guía para la determinación de textura de suelos por método.* Recuperado de: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf.
- Ciudades, H. d. (s.f.). *Manual para la evaluación de la huella hídrica*. Manual de Evaluación. Recuperado de: https://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf.
- FAO, 2020. *Textura del suelo*. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s06.htm#:~:text=La%20textura%20indica%20el%20contenido,el%20suelo%20y%20lo%20atraviesa.
- García, J. (2010). Marco internacional y discusión de los conceptos de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático. En Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, Gobierno Regional Piura y EIRD-UNISDR, *Lecciones aprendidas de la gestión del riesgo en procesos de planificación e inversión para el desarrollo* (p. 141). Lima: Forma e Imagen.
- Garnica, R. J. y Alcántara, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, *84*, 23-45.
- Graveluis. (1984). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje*. https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf.
- Guachamín, W. (2015). *INAMHI.* Obtenido de: D*eterminación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación.*
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Estimación de la demanda de Agua. Pag 170, 228.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), 2015. *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá. D.C. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf.
- Nania, L. S. (2016). *Manual basico de HEC-RAS* . Granada.

- Nicolás Ciancaglini, 2016. R- 001- *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. INTA EEA San Juan. Recuperado de: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf.
- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador) (2011). *Segunda Convocatoria Nacional sobre el Cambio Climático*. Quito: MAE.
- Martínez, E. (2001). *Hidrología práctica*. España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=106912.
- Muñoz H, I., & Miranda N, O. (1985). *Manejo de suelo y velocidad de infiltracion del agua de riego en un parronal CV*. Sultanina. Recuperado de: https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/33412.
- Pastrana, S. A. (2011). *Pequeña guia de uso del modelo MODIPE*. Recuperado de: http://www.oasification.com/archivos/Peque%C3%B1a%20gu%C3%ADa%20de%20uso%20del%20modelo%20MO.
- Roberto Pizarro, 2017 *Módulo 2 curvas, intensidad, duración y frecuencia*. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA. Recuperado de: http://ctha.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf.
- SENPLADES. (2016). *Plan estratégico para el Gobierno Autónomo Morona.* Macas.
- SNGR (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos) (2016). *Consolidado de eventos adversos y afectaciones*. Secretaría de Gestión de Riesgos. Recuperado de Recuperado de https://www.gestionderiesgos.gob.ec/ el 14 de abril de 2018.
- Tancredi, D. D. (Febrero de 2017). *Revista de Investigación Nº89. Vol. 40, 2016*. Obtenido de https://issuu.com/daliadiezdetancredi/docs/final_diagramada89-_40_revista_de_i/162.