UNIVERSIDAD "ESTATAL AMAZÓNICA"

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO A REALIZAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

Modelamiento geomorfológico e hidrológico de la microcuenca del río Machángara, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, Ecuador.

AUTORES:

Calderon Coraisaca Jennifer Leonela

Delgado Jadan Cristian Fernando

DIRECTOR:

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos

PASTAZA – ECUADOR

2021

DECLARATORIA DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS

Jennifer Leonela Calderón Coraisaca con C.I. 0150883999 y Cristian Fernando Delgado Jadan con C.I. 1401086945, hacen constar que son autores del Trabajo de Interacción Curricular titulado: Modelamiento geomorfológico e hidrológico de la microcuenca del río Machángara, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, Ecuador, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos. 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 texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 2 días del mes de julio del 2021

Jennifer Leonela Calderon Coraisaca	Cristian Fernando Delgado Jadan
C.I. 0150883999	C.I. 1401086945

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/trabajo de integración curricular titulado: "Modelamiento geomorfológico e hidrológico de la microcuenca del río Machángara, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, Ecuador."

_____

Paul Marcelo Manobanda Pinto

Presidente del Tribunal

_____

Pamela Jacqueline Pintado Vallejo

Miembro del Tribunal

_____

Darwin Javier Sucoshañay Villalba

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 106-SAU-UEA-2021

Puyo, 06 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a los estudiantes: Calderón Comisaca Jennifer Leonela con C.I. 0150853593 y Delgado Judan Cristian Fernando con C.I. 1400086945, con el Tema: **"Modelamiento geomorfológico e hidrológico de la microcuenca del río Machángara, ubicada en la provincia del Azuay, Cantón Cuenca, Ecuador."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación Dr.C. Alvá Salbo Ricardo Vinicio, Phd., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 10%, 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

Nosotros Jennifer Leonela Calderón Coraisaca y Cristian Fernando Delgado Jadan declaro 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 y académica los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular

Jennifer Leonela Calderon Coraisaca	Cristian Fernando Delgado Jadan
C.I. 0150883999	C.I. 1401086945

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía durante toda mi vida y acompañarme en el transcurso de esta, guiándome por el buen camino para culminar con éxito mis estudios y ser una gran persona.

A mis padres Gladys Coraisaca y Jhon Calderon, a mi hermano Jonnathan que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral como la económica para poder llegar a ser una gran profesional gracias a ellos por cada día ser los promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día creer y confiar en mí y en mis expectativas.

A mi familia en general, por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria también agradezco a mi enamorado José Luis Palacios por toda su ayuda brindada la cual ha sido muy importante para mí, ha estado en los momentos más difíciles siempre apoyándome.

Al Dr. Ricardo Abril por haberme brindado el apoyo y guiarme en este proyecto de titulación brindándome todos sus conocimientos, experiencias y enseñanzas profesionales.

A la Universidad Estatal Amazónica por la oportunidad que me brindo al formar parte de ella, también agradezco a todos mis maestros, mis compañeros por todos los conocimientos otorgados durante mi etapa universitaria.

Jennifer Leonela Calderon Coraisaca

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a Dios quien fue mi guía y me dio la fortaleza y los ánimos para seguir adelante y culminar con éxito mis estudios.

A mis padres, hermano y familia quienes han sido las personas más importantes durante esta etapa de mi vida, que a pesar de todo siempre estuvieron ahí apoyándome incondicionalmente, aconsejándome desde el inicio de mi etapa universitaria.

Al Dr. Ricardo Abril por haberme guiado en la elaboración del presente proyecto y también a lo largo de mi vida universitaria brindándome apoyo para desarrollarme profesionalmente.

Jennifer Leonela Calderon Coraisaca

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por bendecirme y guiarme en cada paso que doy, siendo mi apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Agradezco a mis padres, Luz y Ramiro, por ser los principales promotores para mi formación profesional en esta prestigiosa institución, que con esfuerzo y dedicación me han apoyado de forma económica y moralmente, agradezco por todos sus consejos y valores que han sabido inculcarme para poder ser una persona de bien con la sociedad. Así mismo agradezco a mi hermano Willam, que siempre me ha dado su apoyo y ha estado para mí cuando lo he necesitado, siempre estaré agradecido por todo lo que ha hecho por mí.

Quiero agradecer al Doctor Ricardo Abril, el cual me ha brindado sus conocimientos para poder desarrollar este proyecto. Así mismo agradezco a cada uno de los docentes de la universidad que han sabido aportarme con sus enseñanzas y me han ayudado para poder formarme profesionalmente.

De igual manera quiero agradecer a todos mis amigos cercanos, que han sido participes de mi formación, con los que he compartido vivencias y experiencias que nos dejan un gran recuerdo y enseñanzas, aquellas personas que han estado presentes en los momentos más difíciles e incluso de enfermedad. Gracias por formar parte de mi vida y poder seguir compartiendo muchos momentos más.

Por último y no menos importante agradezco a cada una de las personas que han sabido aportar de diferente manera con su granito de arena en mi crecimiento tanto profesional y personal, aquellas personas que me han sabido extender la mano cuando más lo he necesitado.

Cristian Fernando Delgado Jadan

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo y las metas alcanzadas, refleja toda la dedicación, el amor que invierten sus padres en sus hijos.

Por eso quiero dedicar este proyecto a mi madre Luz Jadan, que siempre ha estado para mí en cada etapa de mi formación profesional y me ha apoyado para poder salir adelante y no decaer brindándome su amor, comprensión y educación durante mi formación.

De igual manera quiero dedicar a mi padre y mi hermano, pues constantemente encuentro apoyo incondicional que siempre se necesita para no decaer y su motivación ha sido importante para poder salir adelante en los momentos más difíciles.

Cristian Fernando Delgado Jadan

RESUMEN

El siguiente trabajo de integración curricular se basa en el modelamiento geomorfológico e hidrológico de cuencas, en donde se determinó dichas características en la microcuenca del río Machángara ubicado en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Para su desarrollo se hizo el uso de información bibliográfica, se procedió a la recolección de datos de precipitaciones en la página oficial del INAHMI, recolección de datos in situ, se aplicó fórmulas matemáticas y a la vez se usó programas informáticos para el modelamiento HEC-HMS y para la estimación de inundaciones HEC-RAS y Arc Gis. Los parámetros que se obtuvieron con la ayuda del programa Arc Gis, fueron el área con un valor de 36 km^2 y el perímetro con 38 km. La microcuenca del río Machángara se puede considerar como pequeña, debido a que está dentro del rango que va entre los 4 a 130 km^2. La microcuenca tiene una longitud del cauce principal de 14,85 km con una cota máxima que se encuentra a 3350 m.s.n.m. y la mínima a 2480 m.s.n.m. obteniendo así una pendiente de 0,074 considerándose como suave. El tiempo de concentración de la microcuenca se obtuvo con la fórmula de Kirpich dándonos un resultado de 1,43 h lo que quiere decir que en el momento de presentarse una lluvia en la parte alta de la Cuenca esta tardara un tiempo de 86 minutos para que el caudal se refleje en la parte baja de la cuenca del río Machángara. Así mismo se pudo determinar el caudal mínimo de 24,53 m^3/s y el máximo de 78,91 m^3/s que tendría durante los meses de recolección. Para el modelamiento hidrológico de la microcuenca se usó el programa HEC-HMS para realizar la simulación para cada periodo de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años.

Palabras claves: Inundación; precipitación; modelamiento; caudal; pendiente; cota.

ABSTRACT

The following curricular integration work is based on the geomorphological and hydrological modeling of basins, where these characteristics were determined in the micro-basin of the Machángara River located in the city of Cuenca, province of Azuay Ecuador. For its development, bibliographic information was used, precipitation data was collected on the official INAHMI website, data collection in situ, mathematical formulas were applied, and computer programs were used for HEC-HMS modeling. and for the estimation of HEC-RAS and Arc Gis floods. The parameters obtained with the help of the Arc Gis program were the area with a value of 36 km2 and the perimeter with 38 km. The micro-basin of the Machángara River can be considered as small, because it is within the range that goes between 4 to 130 km2. The micro-basin has a length of the main channel of 14.85 km with a maximum elevation that is 3350 m.s.n.m. and the minimum at 2480 m.s.n.m. thus obtaining a slope of 0.074 being considered as smooth. The concentration time of the micro-basin was obtained with the Kirpich formula, giving us a result of 1.43 h, which means that at the time of rain in the upper part of the Basin, it would take 86 minutes for the flow is reflected in the lower part of the Machángara river basin. Likewise, it was possible to determine the minimum flow of 24.53 m3 / s and the maximum of 78.91 m3 / s that it should during the months of collection. For the hydrological modeling of the micro-basin, the HEC-HMS program was used to perform the simulation for each return period of 2, 5, 10, 25 and 50 years.

Keywords: Flood; precipitation; modeling; flow; earring; elevation.

Tabla de contenidos

Tabla de contenidos i

CAPITULO I 17

1 Introducción 17

1.1 Planteamiento del problema 18

1.2 Objetivos: 18

1.2.1 Objetivo General 18

1.2.2 Objetivo Especifico 18

1.3 Justificación 19

CAPITULO II 20

2 Marco Teórico 20

2.1 Cuencas hidrográficas 20

2.2 Caracterización de cuencas 20

2.2.1 Área 20

2.2.2 Perímetro 21

2.3 Parámetros relativos al drenaje 21

2.3.1 Coeficiente de compacidad 21

2.3.3 Densidad de corrientes 22

2.3.4 Tiempo de concentración 22

2.4 Estimación de caudales 22

2.5 Características hidrológicas 22

2.5.1 Método de Manning 22

2.5.2 Estimación de caudales con el uso de la huella hídrica 22

2.5.3 Coeficientes de rugosidad 22

2.6 Características hidrológicas del suelo 23

2.6.1 Textura 23

- Franco. 23
- Turboso. 23
- Pedregoso 23
- Ligero o arenoso. 23
- Pesado o arcilloso. 23

2.6.2 Velocidad de infiltración 24

2.6.3 Carbono 24

2.6.4 Materia orgánica 24

2.7 Estimación lluvia-diseño 25

2.7.1 Número de curva 25

2.7.2 Hidrogramas Unitarios sintéticos 25

2.7.3 Lluvia de Diseño 25

2.7.4 Hidrograma SCS 25

2.7.5 Programas para el modelamiento hidrológico HEC-HMS (“Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System”) y HEC-Ras (Hydrologic Engineering Center y River Analysis System) 26

CAPITULO III 27

3 METODOLOGÌA DE LA INVESTIGACIÓN 27
3.1 LOCALIZACIÓN 27
3.2 CLIMA 27
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN 28
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 28
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 28
3.5.1 Área de la cuenca 29
3.5.2 Perímetro 29
3.5.3 Coeficiente de compacidad 29
3.5.4 Densidad de drenaje 29
3.5.5 Densidad de corrientes 30
3.5.6 Tiempo de concentración 30
3.5.6 Caudal 30
3.5.6.1 Método de Manning 31
3.5.8 Coeficiente de Rugosidad 31
3.5.9 Textura 31
3.5.10 Velocidad de infiltración 32
3.5.11 Carbono 32
3.5.12 Materia Orgánica 32
3.5.13 Número de curva 33
3.5.14 Lluvia de diseño 33
3.5.15 Hidrograma SCS 33

3.5.16 Modelamiento en HEC - HMS HEC-RAS 34

3.6 Recursos 35

CAPITULO IV 36

4.1 Características de la Cuenca 36

4.2 Pruebas de infiltración 37

4.2.1. Cálculo del número de curva 37

4.3 Caudales 38

4.3.1. Determinación del caudal por el método de Manning 43

4.4 Lluvia de diseño 45

4.5 Hidrograma unitario sintético (HEC - HMS) 46

4.6 Modelamiento HEC-RAS 52

Bibliografía 57

ANEXOS 60

Anexo 1: Infiltración Superficial margen derecho 60

Anexo 2: Infiltración profunda margen derecho 60

Anexo 3: Infiltración superficial margen izquierdo 61

Anexo 4: Infiltración profunda margen izquierdo 61

Anexo 5: Área de la cuenca según su tamaño 61

Anexo 6: Tipo de suelo según la tasa mínima de infiltración 62

Anexo 7: Nanograma utilizado para ver la condición hidrológica del suelo 62

Anexo 8: Tabla para sacar el número de curva 63

Anexo 9: Zona de inundación río Machángara (Polígono 1 y 2) 64

Anexo 10: Zona de inundación río Machángara (Polígono 3 y 4)..... 64

Anexo 10: Zona de inundación río Machángara (Polígono 5,6 y 7)..... 65

Anexo 11: Zona de inundación río Machángara (Polígono 8 y 9)..... 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño..... 21

Tabla 2: Características de la cuenca..... 37

Tabla 3: Infiltración..... 38

Tabla 4: Datos de Batimetría Entrada..... 39

Tabla 5: Datos batimetría salida..... 41

Tabla 6: Coeficiente de Rugosidad de Bray..... 43

Tabla 7: Calculo de caudales..... 43

Tabla 8: Calculo del Gasto Base..... 44

Tabla 9: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 2 años..... 47

Tabla 10: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 5 años..... 48

Tabla 11: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 10 años..... 49

Tabla 12: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 25 años..... 50

Tabla 13: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 50 años..... 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio 27

Figura 2: Área de la cuenca 36

Figura 3: Velocidad de infiltración..... 37

Figura 4: Perfil Entrada 40

Figura 5: Perfil de salida..... 42

Figura 6: Grafica caudales y Gasto Base..... 44

Figura 7: Curvas IDF para la Estación Meteorológica M0067 45

Figura 8: Lluvia de diseño para la microcuenca del río Machángara..... 46

Figura 9: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 2 años..... 47

Figura 10: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 5 años..... 48

Figura 11: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 10 años..... 49

Figura 12: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 25 años..... 50

Figura 13: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 50 años..... 51

Figura 14: Modelamiento 52

Figura 15: Zona de inundación..... 53

Figura 16: Vista panorámica de la zona de inundación del río Machángara..... 54

CAPÍTULO I

1 Introducción

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM,1974), las inundaciones han causado millones de muertes a nivel global. El Atlas de Mortalidad y Pérdidas Económicas del Clima y Extremos Hídricos indica que el 79% de los desastres naturales son debidos a fenómenos meteorológicos o hidrológicos extremos, ocasionados por tormentas intensas y el desbordamiento de ríos o barrancos. Esto causó el 55% de muertes y el 86% de las pérdidas económicas más importantes durante el periodo entre 1970 y 2012. Las áreas densamente pobladas tienen mayor riesgo de inundaciones repentinas**.** Los edificios, autopistas, avenidas o calzadas aumentan el escurrimiento al reducir la cantidad de lluvia absorbida por el suelo, por lo que, la escorrentía aumenta el potencial de inundación repentina. (Garcia & Villena , 2019)

En todos los lugares del planeta pueden ocurrir inundaciones a excepción de las zonas desérticas, estas pueden ocurrir en periodos intensos y prolongados de lluvias, no todas las inundaciones van a tener un mismo comportamiento ya que estas van a depender de los diferentes periodos, duración y los efectos que estos va a causar dependiendo de la región o lugar en donde esta ocurra.

En el Ecuador las inundaciones y las lluvias fuertes son las amenazas más frecuentes y las que mayor incidencia han tenido en el territorio nacional durante los últimos 35 años (44 %), seguidas por los incendios forestales (26 %), los deslizamientos de tierra (11 %), oleajes (9 %), terremotos y tsunamis (8 %) y las sequías (2 %).

Las inundaciones en el Ecuador se presentan de manera recurrente, especialmente en las cuencas bajas del litoral ecuatoriano, cuencas de la amazonia y en algunas cuencas de la región andina. Los principales factores para que se produzcan las inundaciones en el país son: precipitaciones estacionales, fenómeno del niño, sobrepasar la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje en urbes, represamiento de ríos, ruptura o desbordamiento de represas y represamientos, efectos asociados a volcanes, y precipitaciones marinas. (Carvajal et al , 2011)

Cuando el suelo pierde la capacidad de absorber la cantidad de el agua lluvia, se produce acumulación del agua en la superficie del suelo llevando así a la inundación de

varios lugares. El agua está en zonas donde sus condiciones naturales se encuentran dentro del nivel normal, cuando se presentan diferentes fenómenos de la naturaleza como son las altas precipitaciones se produce lo normalmente conocido como inundación, aquí los ríos o quebradas elevaran su volumen de agua natural y este va a sobrepasar su cauce natural entonces podemos decir que estamos hablando de una inundación.

En el año 2012, la capital azuaya sufrió el peor estrago de los últimos 40 años, el desbordamiento de los ríos provocó la más grave emergencia en cuanto a inundaciones ocurridas en el 2012. Se prevé que las lluvias seguirán, por lo que la amenaza de los cuatro ríos seguirá latente. (Castillo & Montalvo , 2014). Las inundaciones pueden traer beneficios dado que estas pueden recargar acuíferos, hacen los suelos fértiles, aumentan la disponibilidad de nutrientes al suelo, reabastecen los embalses de agua y mantienen la biodiversidad de las planicies inundables y estuarios.

1.1 Planteamiento del problema

La cuenca del río Machángara, ubicado al noreste de la ciudad de Cuenca, constituye un importante afluente de la red hidrográfica del río Paute que se encuentra localizada al nor–oriente de la ciudad de Cuenca; la mayor parte de esta subcuenca del río Paute, pertenece a la provincia del Azuay, cantón Cuenca y una pequeña porción se encuentra en la provincia de Cañar. El río presenta un área de 324.9 Km^2. Presenta mayores precipitaciones en los meses de marzo, abril y octubre, siendo esto una gran problemática en el incremento del caudal del río, produciendo desbordamientos de la cuenca que afectan a las poblaciones cercanas a ella y a las diferentes estructuras como puentes que se encuentren cruzando el río. Así mismo, la erosión puede ser un factor potencial al momento de producir un desastre para las viviendas y estructuras cercanas.

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una caracterización morfológica de la cuenca del río Machángara, determinando los niveles que alcance en crecida del río hasta su desembocadura, y las áreas que puede afectar en zonas cercanas a su cauce, elaborando modelos hidrológicos como SCS, y las aplicaciones del software HEC-HMS, y HEC Ras.

1.2.2 Objetivo Especifico

- Determinar las características de la zona de recarga del río Machángara.

- Establecer las características hidroedafológicas de la zona de recarga del río Machángara
- Realizar una caracterización meteorológica de la zona de recarga del río Machángara.
- Realizar un modelamiento hidrológico para períodos de 2, 5, 10, 25 y 50 años

1.3 Justificación

El agua es la base fundamental para la vida y es la sustancia más abundante del planeta y la única que se encuentra en la atmósfera en sus tres estados esenciales como lo son el estado líquido, sólido y gaseoso, esta cubre un (71%) de la superficie de la tierra. El agua es el cuerpo hídrico más utilizado por los seres vivos para su consumo diario y para poder ejecutar un conjunto de actividades. (Fernández, 2012)

A partir de esto surge la necesidad de realizar el estudio Geomorfológico/Hidrológico de la cuenca del río Machángara con el fin de preservar la flora y fauna existente en el lugar debido a que este río es uno de los cuatro principales de la ciudad de Cuenca, y en la presencia de altas precipitaciones el cauce del río crece de una forma significativa, por lo cual puede llegar a desbordarse ocasionando así daños en la población.

Por eso es importante caracterizar geomorfológica e hidrológicamente la cuenca del río Machángara en donde se busca realizar los estudios pertinentes con el fin de aportar un análisis del mismo y poder obtener posibles soluciones a los riesgos o desastres que puedan ocurrir en el lugar, puesto que los caudales del río pueden tornarse en amenazas tanto para la población humana como para la infraestructura civil, por lo que el presente trabajo de investigación busca realizar un estudio que recopile toda la información y datos necesarios para el análisis y resultados de la cuenca del río Machángara.

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundación es: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. Podemos comprender que el “nivel normal” se lo puede observar como una pequeña elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas. (Carvajal et al , 2011)

2.1 Cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisora de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. (Villón, 2002).

Según (Carrie, 2013) una cuenca hidrografía es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

2.2 Caracterización de cuencas

Para la caracterización de las cuencas existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. También se mencionan las cuencas arreicas cuando su curso de agua se pierde en el suelo por evaporación. (Gálvez, 2011)

2.2.1 Área

El parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. El área de la cuenca es definida como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.

La forma de una cuenca influye en el escurrimiento superficial de un cauce, para determinar la forma de la cuenca se determinan dos parámetros importantes que son: el coeficiente de compacidad y la relación de elongación. (Gálvez, 2011)

El área de la cuenca es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc. Se define como la proyección horizontal de la superficie de la misma y se puede medir directamente del mapa topográfico. (Villalta & Castañeda, 2003)

Tabla 1: Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño

Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño		
Clasificación	**Tamaño (km2)**	**% del total del país**
Muy chicas	< 500	4,2
Chicas	500-1000	2,5
	1000-2000	4
Medianas	2000-5000	7,1
	5000-10000	9,6
Medianamente grandes	10000-20000	14,1
Grandes	20000-100000	43,1
Muy grandes	>100000	19,7

Fuente: INEGI (2005)

2.2.2 Perímetro

El perímetro es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca. (Villón, 2002)

2.3 Parámetros relativos al drenaje

2.3.1 Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad se define como el coeficiente del perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo con área igual al tamaño de la cuenca. La relación de elongación es definida como el cociente del diámetro (D) de un círculo que tiene igual área que la cuenca y la longitud (Lc) de la misma. (Villón, 2002)

2.3.2 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje se define como la longitud de corrientes por unidad de área. La forma de una cuenca influye en el escurrimiento superficial de un cauce, para determinar la forma de la cuenca se determinan dos parámetros importantes que son: el coeficiente de compacidad y la relación de elongación. (Camino, 2018)

2.3.3 Densidad de corrientes

La densidad de corrientes es el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área. (Villón, 2002)

2.3.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es una de las variables más importantes a determinar en la planificación de usos del suelo y en la conservación de suelos y aguas o gestión de recursos hídricos lo podemos definir como uno de los tiempos mínimos para que todos los puntos de una cuenca aporten agua y este a través de la escorrentía llegue hacia su punto de desembocadura. (Villón, 2002)

2.4 Estimación de caudales

Para la estimación de caudales, se realiza diseñando un canal, pero para ello tenemos que medir caudales y lo podemos hacer con 3 tipos de métodos: Método de vertedero, método de canal abierto y con la fórmula de Manning. (Sanchez et al , 2017)

2.5 Características hidrológicas

2.5.1 Método de Manning

La fórmula de Manning es usada para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías.

2.5.2 Estimación de caudales con el uso de la huella hídrica

La estimación de caudales con las huellas máximas se usa para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente, en un río donde no se cuenta con ningún tipo de aforo, para su aplicación se requiere contar con la topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante su paso de la avenida. (Villón, 2002)

2.5.3 Coeficientes de rugosidad

Aplicando la fórmula de Manning lo más difícil es determinar el coeficiente de rugosidad “n”, porque no hay un método exacto de seleccionar el valor “n”. El seleccionar un valor significa estimar la resistencia al escurrimiento en el canal lo cual es intangible,

por lo cual existen tablas para poder determinar según el canal que estemos trabajando. (Yepez , 2015)

2.6 Características hidrológicas del suelo

Las propiedades del suelo cuentan con una gran influencia en los aspectos de la escorrentía superficial y en el transporte de los sedimentos y principalmente lo que viene a ser la tasa de infiltración y permeabilidad. Varios estudios han demostrado que la infiltración en bosques primarios donde los suelos no son alterados es decir estos no han sufrido ningún daño por la actividad humana en estos lugares generalmente la lluvia excede su intensidad por lo tanto predominan flujos subsuperficiales. (Oyarzún et al, 2011)

Cuando el sistema está bien desarrollado en cuanto a lo que es la vegetación arbórea, su materia orgánica, actividad biológica del suelo, su porosidad y su baja densidad aparente, especialmente en la capa superficial del horizonte A de suelo va a beneficiar a sus flujos subsuperficiales.

2.6.1 Textura

La textura de suelo nos 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. (FAO, 2014)

- **Franco.** Tiene una textura media (45%de arena, 40% de limo y 15% de arcilla), por lo que sus condiciones físicas y químicas son las mejores y el más apto para el cultivo.
- **Turboso.** Está formado por tierra vegetal descompuesta, por lo que tiene un bajo contenido mineral y un exceso de materia orgánica. Una gran ventaja es que no requiere de materiales productores de humus.
- **Pedregoso.** Contiene partículas muy gruesas y su drenaje es muy bueno, pero no retiene ni el agua ni los nutrientes.
- **Ligero o arenoso.** Este tipo de suelo tiene una textura gruesa con un 75% de arenas, un 5% de arcillas y un 20% de limo, lo que le permite una gran aireación. Aunque absorbe bien el agua, no la retiene y se filtra con facilidad hacia el fondo.
- **Pesado o arcilloso.** Su fina textura le otorga una elevada retención de agua y nutrientes. Tiene un 45% de arcillas, un 30% de limo y un 25% de arena. No

obstante, la porosidad es baja y carece de buenas posibilidades de aireación. (Gisbert & Ibáñez, 2010)

2.6.2 Velocidad de infiltración

Para la velocidad de infiltración podemos encontrar diferentes métodos para su debida medición entres estos métodos se pueden encontrar tres diferentes los cuales son: Método cilindro este se utiliza para medir la infiltración en suelos donde utilizan el riego como acequias en contorno, bordes de goteo etc. Los surcos Infiltrómetros, Método de represa o poceta. Cada uno de estos métodos son muy utilizados ya que son económicos al no utilizar muchos equipos y materiales también son muy fáciles de operar e instalar obteniendo excelentes resultados al momento de medir la velocidad de la infiltración. (Alvarado & Barahona , 2016)

Se dice que la infiltración va a depender de muchos factores muy irrelevantes como son las propiedades del terreno (posición en la pendiente y su ondulación), y otros factores como su textura, estructura, tamaño, potencial matricial, contenido de agua y su cantidad de materia vegetal. Se puede decir que un suelo húmedo obtendrá menor cantidad de infiltración que uno seco, cuando existe una cobertura vegetal escasa la tasa de infiltración decrece muy a menudo. (Alvarado & Barahona , 2016)

2.6.3 Carbono

Mediante la descomposición de los residuos y el almacenamiento del carbono dentro de su propia biomasa o mediante la reconstrucción de nuevas estructuras de carbono, la biota del suelo tiene una función muy importante en los procesos de reciclaje de nutrientes y, por lo tanto, en la capacidad de un suelo para proveer al cultivo con suficientes nutrientes para cosechar un buen producto. (Chacón & Cuartas, 2007)

2.6.4 Materia orgánica

Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas y los animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas (disponibilidad de nutrientes). Los productos de deshecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia

orgánica del suelo. Los materiales de desecho son más difíciles de descomponer que el material original de las plantas y los animales, pero pueden ser usados por un gran número de organismos. (sanchez, 2017)

2.7 Estimación lluvia-diseño

2.7.1 Número de curva

El número de curva es un parámetro hidrológico el cual va a permitir determinar el potencial de la escorrentía de la cuenca de un río y se determina a partir de varias características físicas del lugar como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo. (Carvajal, 2017)

2.7.2 Hidrogramas Unitarios Sintéticos

Los hidrogramas unitarios sintéticos están estimados por un acuerdo con fórmulas en donde podemos incluir varios parámetros los cuales pueden ser los parámetros físicos de la cuenca en estudio como el río "Machángara" obteniendo lo que es el área, la longitud del cauce, pendiente y demás parámetros. (Moore, 2011)

2.7.3 Lluvia de Diseño

La Lluvia de Diseño es un evento pluvial intenso el cual nos permitirá obtener una duración y una recurrencia asignada, el cual junto a un modelo lluvia- escorrentía nos ayudará a conocer la creciente que existe en el lugar y a diseñar medidas que pueden o no ser estructurales.

La gestión de los recursos hídricos es fundamental para la planeación y el manejo sostenible del medio ambiente en un país como Colombia que cuenta con una alta biodiversidad en gran parte de su extensión geográfica. El estudio y conocimiento de la hidrología, por lo tanto, juega un papel importante para la identificación de reservas hídricas, la determinación de demandas y suministros de agua potable y garantizar la calidad de esta, así como la protección de sus fuentes, y específicamente para predecir la ocurrencia de fenómenos de frecuencia extrema (crecientes y sequías). (Vargas, 2018)

2.7.4 Hidrograma SCS

El método del Soil Conservation Service SCS en la estimación de hidrogramas de escorrentía superficial empleando los hidrogramas unitarios de Snyder, Clark y el SCS es

el más utilizado en nuestro país para estimar la precipitación de excesos, la metodología más empleada en la práctica para realizar esta transformación consiste en la aplicación de la teoría del Hidrograma Unitario; por tal motivo, para el análisis de hidrogramas de escorrentía superficial se emplearán los hidrogramas unitarios de uso más frecuentes en el diseño hidrológico. (Turrent et al , 2009)

2.7.5 Programas para el modelamiento hidrológico HEC-HMS ("Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System") y HEC-Ras (Hydrologic Engineering Center y River Analysis System)

Las herramientas de simulación hidráulica como el HEC-RAS tiene la oportunidad de abrir muchas posibilidades en el campo del post proceso de datos, este busca comprobar las limitaciones de los modelos empleados bajo distintos parámetros ya sean por las condiciones de flujo rápidamente variable, las aguas presentan inestabilidades que influyen directamente en los resultados; como investigadores es preciso conseguir un modelo estable que permita obtener resultados confiables, puestos que los errores que podrían influir están relacionadas con la observación, conservación y organización de la información hidrometeorológica que se obtenga, es importante realizar las combinaciones de métodos propuestos con intervalos de parámetros de estudios antes realizados, eso facilitará la modelación ya sea con HEC-HMS u otra metodología que se esté empelando, para poder utilizarlo ya sea en cuencas montañosas orientales con escasez o ausencia de información, dependiendo del estudio que se esté realizando.

Gracias a la modelación hidrológica en HEC-HMS HEC-RAS nos ayudará a realizar el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Hemos tomado en cuenta que este modelo utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÌA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

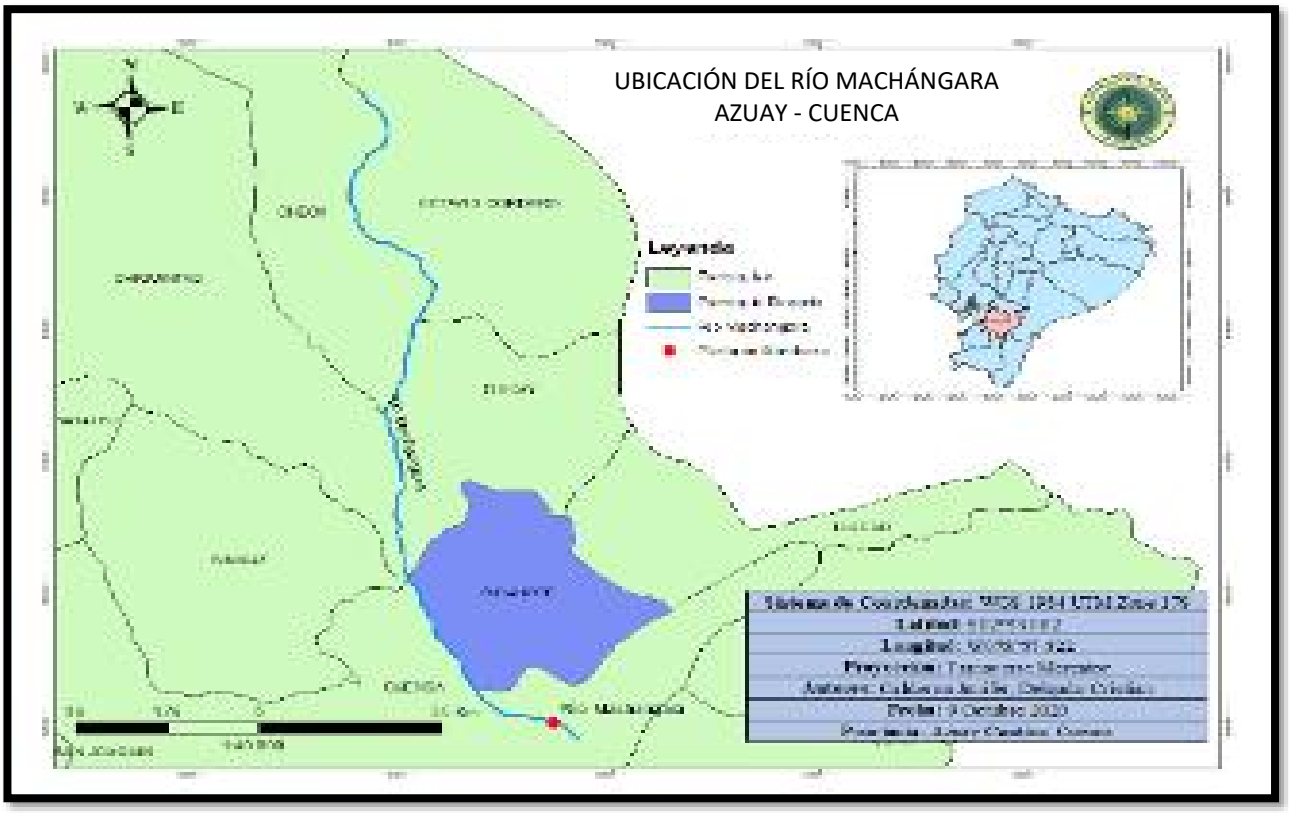


Figura 1: Ubicación del área de estudio

La cuenca del río Machángara, está ubicada al noroeste de la ciudad de Cuenca, siendo un importante afluente de la red hidrográfica del Paute. La mayor parte se encuentra en la provincia del Azuay, Cantón Cuenca y una pequeña porción está en la provincia de Cañar. Su cauce nace en el Parque Nacional Cajas hasta desembocar en el río Cuenca, siendo un gran generador de energía y productividad. (Villavicencio Riera & Chavez Ochoa, 2011)

El río Machángara presenta un área de forma pseudo triangular de 324.9 km^2.

3.2 CLIMA

La humedad relativa media en la región varía con el aumento de la altitud, así: Cuenca: 72% (2516 msnm) y El Labrado: 88% (3335 msnm).

La temperatura media mensual va desde los 8,4 °C a 15,4 °C. La temperatura disminuye según se aumenta la altitud, por cada 300 m de incremento de altitud se reduce 1 °C. (Villavicencio Riera & Chavez Ochoa, 2011)

Se presentan dos periodos húmedos y uno seco: el primero entre los meses de febrero a mayo, con pico máximo en el mes de abril; el segundo entre octubre y diciembre, presentando en el mes de octubre las máximas precipitaciones y el periodo seco vendría a ser de junio a agosto, precipitaciones mínimas se presentan en el mes de agosto.

La mayor parte del terreno especialmente en los páramos las lluvias son frecuentes permaneciendo un clima lluvioso húmedo. (Villavicencio Riera & Chavez Ochoa, 2011)

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptiva, analítica: detalla el fenómeno y hace un análisis del comportamiento de los caudales a diferentes periodos de retorno.

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente proyecto se trabajó con data secundaria procedente de la recopilación e información bibliográfica, registros meteorológicos y datos obtenidos en prácticas desarrolladas en la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, se aplicó el uso de fórmulas matemáticas y el uso de programas informáticos para el modelamiento respectivo.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar, se identificó la zona de estudio, a continuación, se llevó a cabo la recopilación bibliográfica sobre los temas referentes a hidrología y geomorfología. Así como la revisión de fotografías satelitales de Google Earth pro (2019), imágenes TIF descargadas de Earth Explorer.

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

Para la obtención de datos climatológicos de precipitación, se trabajó con el informe “Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de

precipitación" publicado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI.

Los fenómenos que ocurren en esta microcuenca fueron analizados a través de fórmulas y modelos matemáticos conjuntamente con la recopilación de datos en campo. Donde se modeló el comportamiento real de la microcuenca. Primero se determinó el área de la cuenca con la ayuda de Arc Map 10.5. Se obtuvo en el mismo programa el perímetro y se estimó la longitud del cauce principal y de todos los cauces, en función de lo cual se determinó los siguientes parámetros.

3.5.1 Área de la cuenca

Con la información obtenida y la herramienta del ArcGis, se calculó el área de la microcuenca del río Machángara.

3.5.2 Perímetro

El perímetro es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca. (Villalta & Castañeda, 2003)

Por consiguiente, determinamos el coeficiente de compacidad,

3.5.3 Coeficiente de compacidad

El índice o coeficiente de compacidad Kc *(Ecuación 1)* se debe a Gravelius, y es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca. Llamas (1993) da la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{Kc = 0,28\frac{P}{\sqrt{A}}} \qquad (\mathbf{1})$$

(Villalta & Castañeda, 2003)

Después se calculó la densidad de drenaje,

3.5.4 Densidad de drenaje

Según Horton (1945) *(Ecuación 2)* la fórmula se empleará para definir la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los canales de flujo pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca:

$$\boldsymbol{D = \frac{\sum L\,c}{A}} \qquad (\mathbf{2})$$

D: densidad de drenaje, en 1 km.

L: suma de las longitudes de las corrientes, en km.

A: área de la cuenca, en km^2.

(Villalta & Castañeda, 2003)

Así mismo se calculó la densidad de corrientes,

3.5.5 Densidad de corrientes

$$Ds = \frac{Ns}{A} \quad (3)$$

Ds: densidad de corriente, en km/km^2.

Ns: suma de las longitudes de los tributarios, en km.

A: área de la cuenca, en km^2.

(Breña & Jacobo, 2010)

Seguido calculamos el tiempo de concentración,

3.5.6 Tiempo de concentración

Se aplicó la fórmula de Kirpich

$$Tc = 0,06628 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (4)$$

Tc: tiempo de concentración en (horas).

L: longitud del curso de agua más largo en (km).

S: es la pendiente promedio del cauce principal en (m/m).

(Villalta & Castañeda, 2003)

A continuación, calculamos el caudal,

3.5.6 Caudal

Se marcó con pintura roja una línea cada 0,10m, donde se observó el nivel del río en cada una de las marcas durante 12 semanas, aquí se realizó una batimetría registrando la profundidad del río con intervalos de 1m, el mismo procedimiento se lo repitió 5 m aguas arriba, donde se determinó los parámetros de área de mojado y perímetro de mojado, estableciéndose una media entre el perfil de entrada y el de salida. Se identificó los rastros de crecida como presencia de hojarasca acumulada, tallos doblados de hiervas, para determinar la altura máxima que alcanza el río cuando crece y en función de las características del perfil establecer su caudal:

Primero calculamos la velocidad con la siguiente fórmula.

$$V = \frac{1}{n} * RH\frac{2}{3} * S\frac{1}{2} \qquad (5)$$

Se procedió al cálculo del caudal

$$Q = A * v * fc \qquad (6)$$

Q: gasto o caudal de la corriente, m^3/s.

A: área de la sección transversal de la corriente, m^2.

V: velocidad media de la corriente, m/s.

fc: factor de corrección.

(Villalta & Castañeda, 2003)

3.5.6.1 Método de Manning

$$Q(h) = \frac{1}{n} * A(h)^{\frac{5}{3}} * P(h)^{-\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \qquad (7)$$

A: área mojada, en m, función del tirante hidráulico h.

P: perímetro mojado, en m, función del tirante hidráulico h.

N: un parámetro que depende de la rugosidad de la pared.

V (h): velocidad media del agua en m/s, que es función del tirante hidráulico h.

Q (h): caudal del agua en m/s, en función del tirante hidráulico h.

S: la pendiente de la línea de agua en m/m.

(Villalta & Castañeda, 2003)

3.5.8 Coeficiente de Rugosidad

Se aplicó la ecuación de Bray para poder calcular el coeficiente de rugosidad

$$n = 0,0495D^{\frac{0,16}{50}} \qquad (8)$$

D_{50}: diámetro medio de las partículas en metros.

(Villalta & Castañeda, 2003)

Luego se calculó la textura del suelo,

3.5.9 Textura

$$\%\ de\ la\ participación\ en\ estudio = \frac{lectura\ definitiva\ del\ hidrómetro}{Peso\ del\ suelo} * 100 \quad (9)$$

(Villalta & Castañeda, 2003)

Se obtuvo la velocidad de infiltración,

3.5.10 Velocidad de infiltración

Se usó el tiempo que empleado *(Ecuación 10)* para la práctica en minutos junto con la velocidad de infiltración en el primer minuto transcurrido y la pendiente de la curva de velocidad con respecto al tiempo. Y es así que podemos aplicar la siguiente formula:

$$\boldsymbol{I = k * T^{n}} \quad (\mathbf{10})$$

I: velocidad de infiltración instantánea.

T: tiempo en minutos.

K: constante que representa la velocidad de infiltración en el primer minuto.

n: pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

(Pizarro, Flores, Sanguesa, & Martínez)

De igual manera se calculó el carbono,

3.5.11 Carbono

$$\boldsymbol{Ct = 100C * Da * Grosor * \frac{100 - V}{100}} \quad (\mathbf{11})$$

Ct: carbono de un horizonte, en mg^{-2}.

C: la concentración de carbono en la tierra fina (en %).

Da: densidad aparente en gcm^{-3}.

Grosor: el grosor del horizonte en cm.

V: el % del volumen del horizonte ocupado por piedras y gravas.

(Villalta & Castañeda, 2003)

También se obtuvo el porcentaje de materia orgánica,

3.5.12 Materia Orgánica

$$\boldsymbol{\%MO = \frac{(Peso\ 105°c - PesoT°\ calcinación)}{Peso\ 105\ °c} * 10} \quad (\mathbf{12})$$

%MO: porcentaje de materia orgánica.

Peso 105%c: peso inicial de la materia orgánica.

Peso T° calcinación: peso inicial de la materia orgánica calcinada.

(Villalta & Castañeda, 2003)

Después se calculó el número de curva,

3.5.13 Número de curva

Para la obtención del número de curva necesitaremos la lluvia total acumulada y la escorrentía directa.

Según *(Villegas, 2017)*, matemáticamente, la ecuación parte de lo siguiente**.**

$$\boldsymbol{Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}} \qquad \boldsymbol{(13)}$$

Q: escorrentía directa (mm)

P: lluvia total acumulada (mm)

S: (25400/NC – 254) (mm)

Después se determinó la duración de las lluvias en horas,

3.5.14 Lluvia de diseño

Para determinar de la lluvia de proyecto, se necesita:

- a) Obtención de datos de lluvia en las estaciones pluviométricas de la zona.
- b) Relleno de datos no existentes y comprobación por el método de las dobles masas acumuladas de los datos pluviométricos.
- e) Cálculo de la serie pluviométrica de la cuenca por el método de Thiessen o de las isohietas. (Villalta & Castañeda, 2003)

Seguido se consiguió el hidrograma SCS

3.5.15 Hidrograma SCS

Se uso la fórmula del tiempo punta:

$$\boldsymbol{t_p = \frac{D}{2} + t_r} \qquad \boldsymbol{(14)}$$

$$D = 0{,}133 t_c$$

Tp: tiempo de punta en horas.

D: duración de la lluvia en horas.

tr: tiempo de retardo (tr=0,6*tc)

tc: tiempo de concentración

(Villón, 2002)

A continuación, se aplicó el modelamiento en HEC – HMS HEC - RAS

3.5.16 Modelamiento en HEC - HMS HEC-RAS

1) Ubicar las coordenadas del punto de monitoreo en ARC GIS.
2) Generar y extraer la cuenca con las herramientas de Hydrology Fill, Basin.
3) Generar la red de drenaje con las herramientas stream link, stream order y watersheed
4) Seleccionar las cuencas aledañas a la cuenca de muestreo (4 cuencas).
5) Determinar las características de área y tiempo de concentración.
6) Generar Un nuevo proyecto en HEC – HMS.
7) Insertar el Shapefile de las subcuencas y la red de drenaje en el HEC HMS.
8) Generar las subcuencas (subbasin) y colocar las características de Numero de Curva, Tiempo de concentración y Área.
9) Colocar valores hipotéticos de caudales para cada una de las cuencas.
10) Generar la lluvia de diseño para un período de retorno de 2 años.
11) Correr el modelo en Simulation Run.
12) Realizar capturas de pantalla del hidrograma en el último punto de unión.
13) Repetir el proceso con periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.
14) Generar un Terrain con la herramienta Raster to TIN.
15) Procesar los datos con herramienta RAs Geometry.
16) Determinar el curso del río, Bank lines y Stream flow.

- Establecer XS Cut lines.
- Procesar los datos.
- Exportar para trabajar en HEC RAS.

17) En el programa HEC RAS verificar las características de cada estación de monitoreo (determinada en las XS cutlines).
18) Generar los valores de n (Manning).
19) Ingresar los máximos caudales generados para los períodos de retorno (obtenerlos del HEC- HMS).
20) Procesar y exportar.
21) Procesar con RAS MAPPING y obtener áreas de inundación, velocidad.

3.6 Recursos

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

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Características de la Cuenca

Los datos presentados a continuación fueron adquiridos a través del programa ARC GIS, el área y el perímetro de la microcuenca del río Machángara en donde se obtuvieron los valores de 36km^2 y 38 km respectivamente. Según Chow, Maidment, & Mays (1994), se puede considerar a esta microcuenca como pequeña, considerando que una cuenca es pequeña cuando se encuentra entre los 4 a 130 km^2, la cual puede llegar a extenderse hasta los 250 km^2, el límite de tamaño de una cuenca se debe a la variabilidad natural de las pendientes y coberturas vegetales. (Campos, 2010). **(VER FIG. 2)**

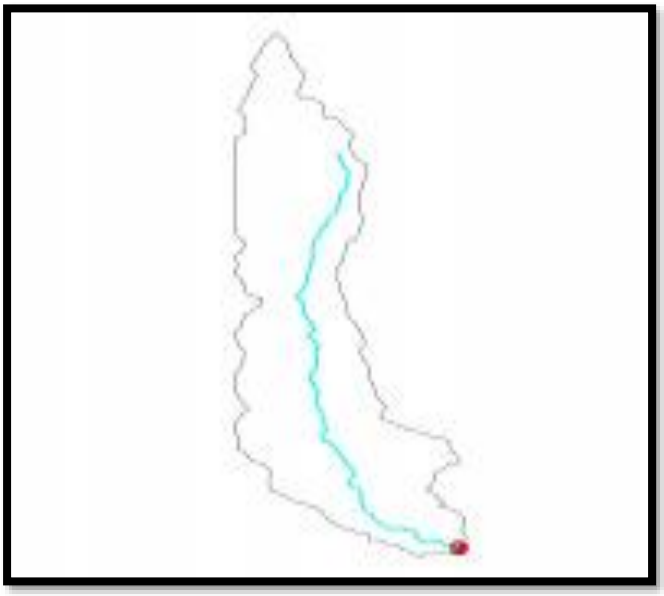


Figura 2: Área de la cuenca.

La microcuenca del río Machángara tiene una longitud del cauce principal de 14,85 km. Su cota máxima se encuentra a 3350msnm y la mínima 2480msnm, obteniendo así una pendiente de 0.074 considerándola como suave según Ibal (2009). **(VER TABLA 2)**

El tiempo de concentración de la microcuenca lo obtuvimos a través de la fórmula de Kirpich dándonos como resultado 1.43 h lo que nos quiere decir que en el momento de presentarse una lluvia en la parte alta de la cuenca esta tardará un tiempo de 86 minutos para que el caudal se refleje en la parte baja de la cuenca del río Machángara. **(VER TABLA 2)**

Tabla 2: Características de la cuenca.

MAGNITUD/MEDIDA	Cantidad	Unidades
Área	36	km^2
Perímetro	38	km
Longitud del cauce principal	14.85	Km
Distancia lineal	11652.8	M
Cota máxima	3350	Msnm
Cota mínima	2480	Msnm
Pendiente (%)	0.074	
Tiempo de concentración (horas)	1.43	Horas
Coeficiente de compacidad	1,8	

4.2 Pruebas de infiltración

La prueba de infiltración realizada en la microcuenca del río Machángara se realizó a 20m del margen derecho e izquierdo del punto de monitoreo, se puede observar según el gráfico realizado como la velocidad de infiltración va disminuyendo progresivamente en función del tiempo, mientras que la infiltración acumulada va aumentando. **(VER FIG. 3).**

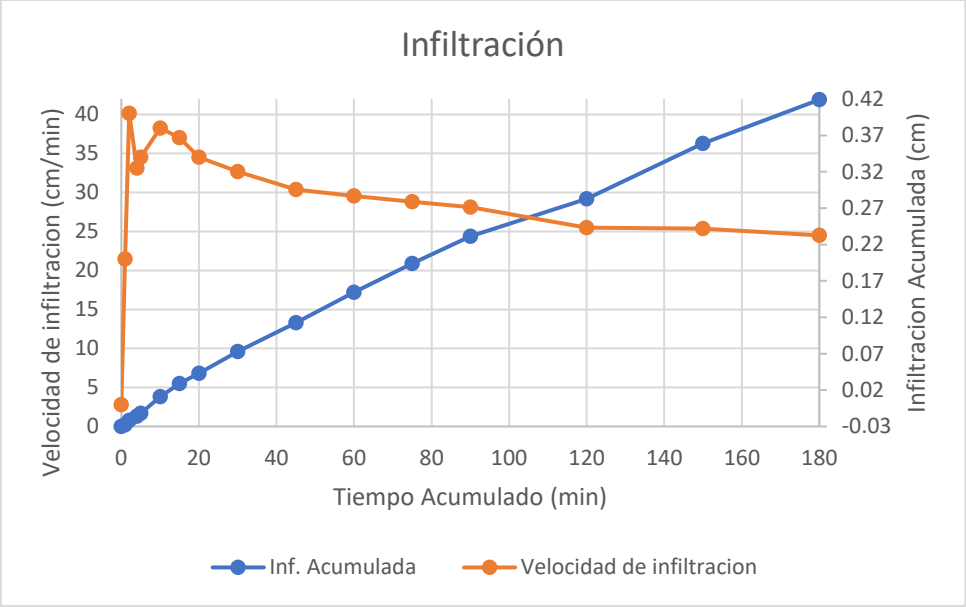


Figura 3: Velocidad de infiltración.

4.2.1. Cálculo del número de curva

Para establecer el número de curva de la microcuenca del río Machángara, se determinó previamente el tipo de suelo en ambos márgenes, tipo de vegetación y la condición hidrológica para cada uno de los lados. Los parámetros utilizados fueron: los datos de lluvia de los 5 días previos a realizar las pruebas de infiltración la cual se la

realizó en un lapso de 3 horas, también se procedió a identificar el tipo de suelo, la condición hidrológica y el número de curva que se detalla a continuación. **(VER TAB. 3)**.

Tabla 3: Infiltración.

Margen	**Izquierdo**		**Derecho**	
Prueba	**Superficial**	**Profunda**	**Superficial**	**Profunda**
Fo (cm/min)	1711.07mm/h	163.68mm/h	120.21mm/h	150.11mm/h
Velocidad de infiltración H1	4.6	0.50	0.20	0.50
Velocidad de infiltración H2	1.1	0.01	0.24	0.01
Fc	2.94mm/h	0.04mm/h	0.78mm/h	0.03mm/h
F	28.56	2.49	2.57	2.28
Categoría del suelo.	4	4	3	3
Espesor de Humus	7	7	6cm	6cm
Espesor de hojarasca	2	2	2cm	2cm
Nivel de compacidad	3	3	2	2
Numero de curva (II)	39	39	79	79
Lluvia acumulada 5 días previos	24.68	24.68	16.2	16.2
Numero de curva (I)	21.17	21.17	61.24	61.24

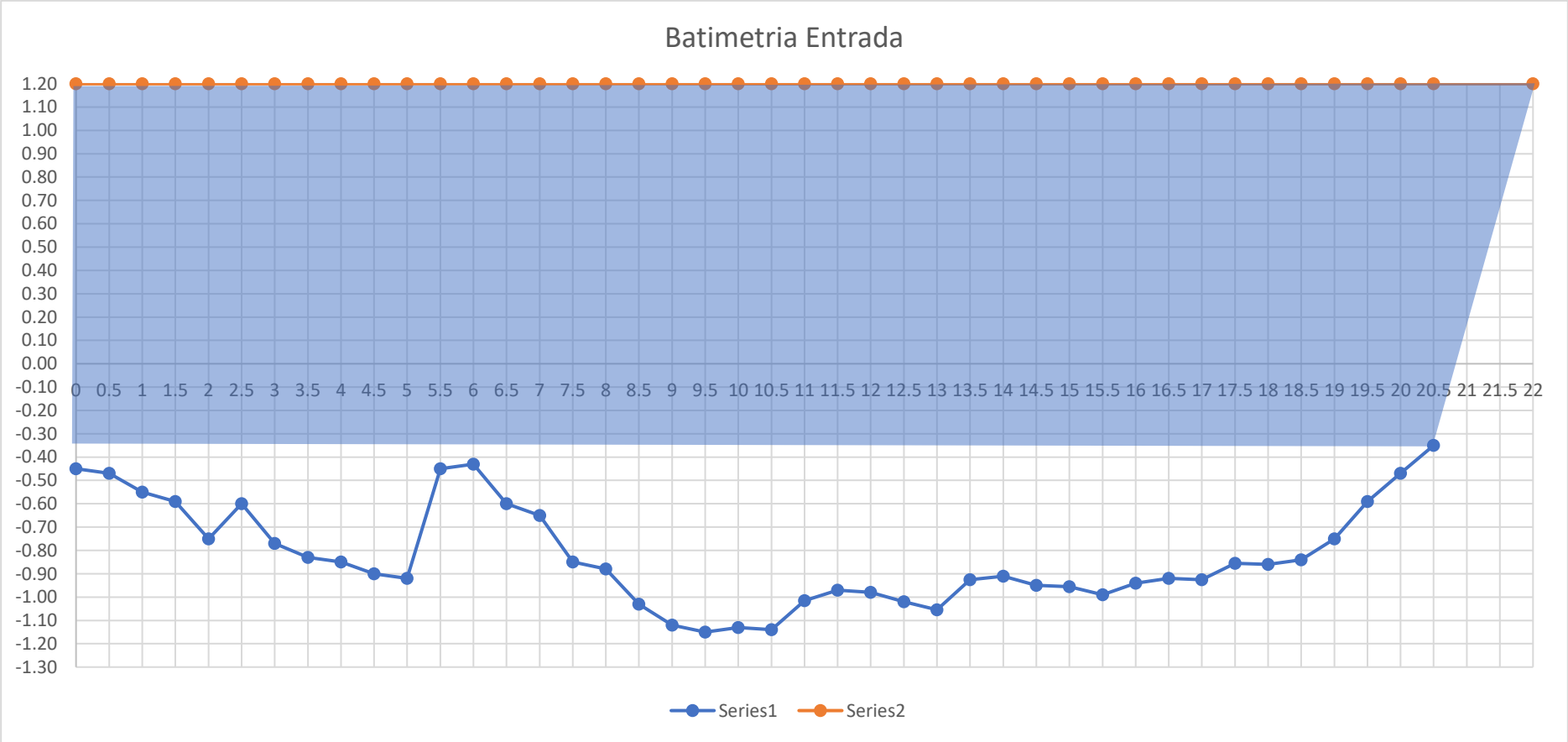
4.3 Caudales

Para determinar los caudales de entrada y salida **(VER TABLA 4 Y 5)** se realizó una batimetría la de salida lo realizamos en el punto de monitoreo y la de entrada 10m más arriba, a partir de esto se tomó los datos de la profundidad cada 0.50 cm, de extremo a extremo, a partir del cual el nivel más bajo fue de 0.005m y el más alto fue de 0.67m, luego con la medición de 10 rocas se pudo obtener un promedio de 0.38 dándonos así un coeficiente de rugosidad de 0.042 **(VER TABLA 6)** aplicando la ecuación de Bray.

Batimetría Entrada	
Distancias	**Profundidad(m)**
0	0.005
0.5	0.085
1	0.055
1.5	0.06
2	0.035
2.5	0.075
3	0.105
3.5	0.12
4	0.27
4.5	0.28
5	0.65
5.5	0.45
6	0.64
6.5	0.66
7	0.565
7.5	0.67
8	0.75
8.5	0.56
9	0.565
9.5	0.51
10	0.58
10.5	0.62
11	0.76
11.5	0.55
12	0.54
12.5	0.55
13	0.46
13.5	0.32
14	0.67
14.5	0.56
15	0.47
15.5	0.44
16	0.53
16.5	0.39
17	0.48
17.5	0.53
18	0.53
18.5	0.55
19	0.1

Tabla 4: Datos de Batimetría Entrada.

Figura 4: Perfil Entrada.



Batimetría Salida	
Distancias	**Profundidad(m)**
0	0.30
0.5	0.32
1	0.40
1.5	0.44
2	0.60
2.5	0.45
3	0.62
3.5	0.68
4	0.70
4.5	0.75
5	0.77
5.5	0.30
6	0.28
6.5	0.45
7	0.50
7.5	0.70
8	0.73
8.5	0.88
9	0.97
9.5	1.00
10	0.98
10.5	0.99
11	0.87
11.5	0.82
12	0.83
12.5	0.87
13	0.91
13.5	0.78
14	0.76
14.5	0.80
15	0.81
15.5	0.84
16	0.79
16.5	0.77
17	0.78
17.5	0.71
18	0.71
18.5	0.69
19	0.60
19.5	0.44
20	0.32
20.5	0.20

Tabla 5: Datos batimetría salida.

Figura 5: Perfil de salida.

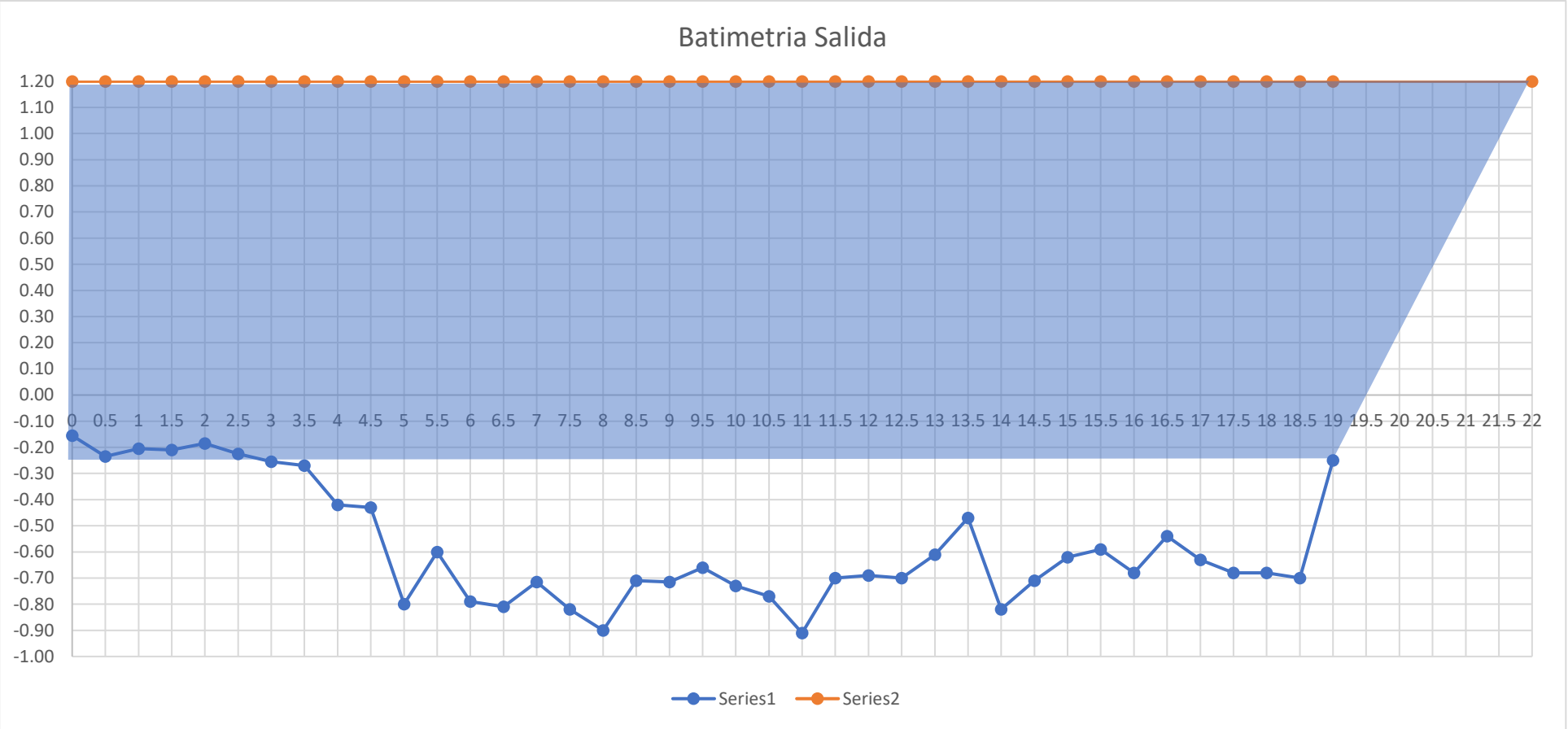


Tabla 6: Coeficiente de Rugosidad de Bray.

Rocas			
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Promedio
1	22	78	0.5
2	8	26	0.17
3	25	31	0.28
4	23	54	0.38
5	34	61	0.47
6	29	34	0.31
7	45	55	0.5
8	14	39	0.26
9	47	65	0.56
10	36	42	0.39
Metros			0.384
n			0.042

4.3.1. Determinación del caudal por el método de Manning

Para determinar el caudal del río Machángara se tomó como referencia las batimetrías realizadas tanto en la entrada como en la salida del río, a partir de los cuales se pudo obtener el perímetro y área de mojado para así proceder a realizar los cálculos respectivos de los caudales. **(VER TABLA 7)**

Tabla 7: Calculo de caudales.

	Entrada		Salida								
Cota (m)	Área de mojado	Perímetro de mojado	Área de mojado	Perímetro de mojado	Área Promedio	Perímetro promedio	Radio Hidráulico	Pendiente	Coef. Rugosidad	Velocidad	Caudal
0,4	22.34	22.38	16.3	24.19	30.49	34.48	0.88	0.074	0.04	5.90	96.19
0,3	20.22	22.24	14.3	23.97	27.37	34.23	0.80	0.074	0.04	5.52	78.91
0,2	18.11	22.11	12.32	23.75	24.27	33.99	0.71	0.074	0.04	5.12	63.04
0,1	16.01	21.98	10.36	23.44	21.19	33.70	0.63	0.074	0.04	4.70	48.69
0	13.91	21.57	8.42	22.73	18.12	32.94	0.55	0.074	0.04	4.30	36.20
-0,1	11.84	21.79	6.5	23.14	15.09	33.36	0.45	0.074	0.04	3.77	24.53

Para determinar el gasto base del río Machángara se tomó como referencia el punto de entrada y salida, se calculó la pendiente dándonos como resultado 0.074. A continuación, se muestra el cálculo de los caudales con su respectivo Gasto Base. **(VER TABLA 8).**

Tabla 8: Calculo del Gasto Base.

Caudales	***Registro cm***	***Registro m***	***Observación***	***Caudal***	***Gasto Base***
11-oct	11	0.11	Inicio	36.20	36.2
18-oct	37	0.37	Arriba	78.91	
25-oct	15	0.15	Arriba	48.69	
1-nov	8	0.08	Abajo	24.53	24.53
8-nov	9	0.09	Abajo	24.53	
15-nov	7.5	0.08	Abajo	24.53	
22-nov	8	0.08	Abajo	24.53	
29-nov	6	0.06	Abajo	24.53	
6-dic	9.5	0.10	Abajo	24.53	24.53
13-dic	28.5	0.29	Arriba	63.04	
20-dic	25	0.25	Arriba	63.04	
27-dic	24	0.24	Arriba	48.69	
3-ene	31	0.31	Arriba	63.04	
10-ene	21	0.21	Arriba	48.69	
17-ene	22	0.22	Arriba	48.69	
24-ene	21	0.21	Arriba	48.69	
31-ene	23	0.23	Arriba	24.53	24.53
7-feb	11	0.11	Inicio	36.20	
14-feb	10	0.10	Abajo	24.53	24.53
21-feb	30	0.30	Arriba	63.04	
28-feb	36	0.36	Arriba	78.91	

En la siguiente figura se puede observar los diferentes caudales y gasto base para cada uno de los meses monitoreados.

Figura 6: Gráfica caudales y Gasto Base.

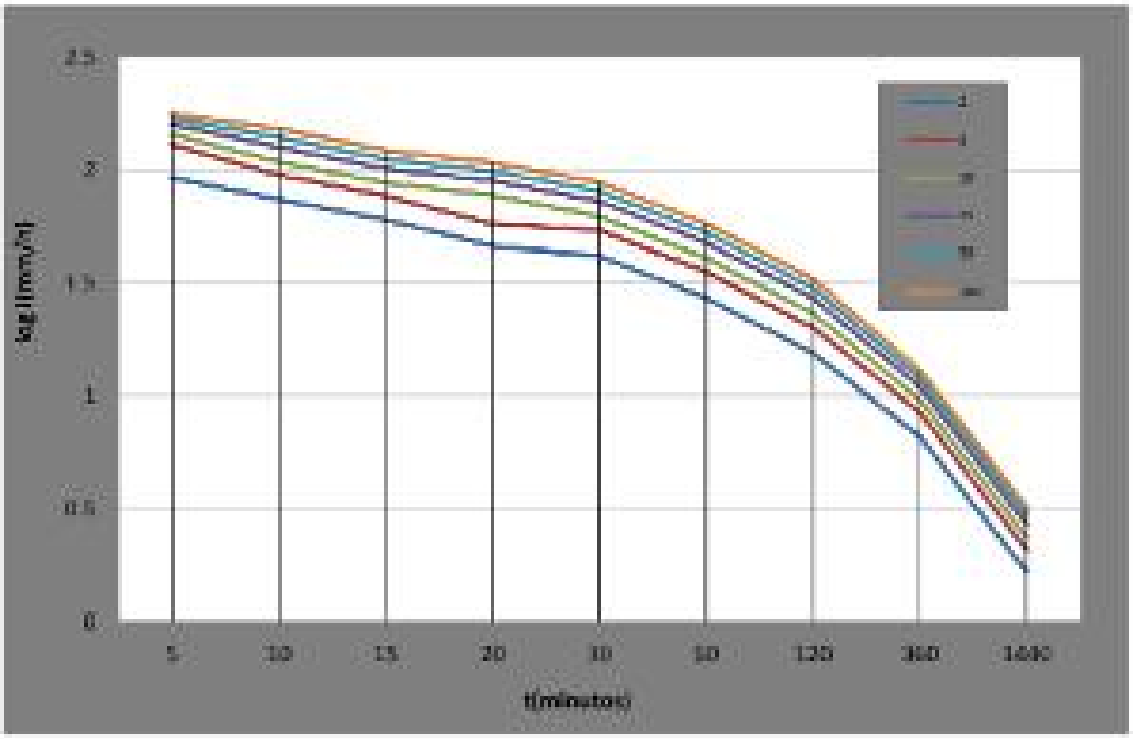


4.4 Lluvia de diseño

El cálculo de intensidades máximas de precipitación para la lluvia de diseño fue realizado en base a curvas IDF de la ciudad de Cuenca, obtenidas del manual de determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación del INAMHI (2015). **(VER FIG. 5)**

Figura 7: Curvas IDF para la Estación Meteorológica M0067.

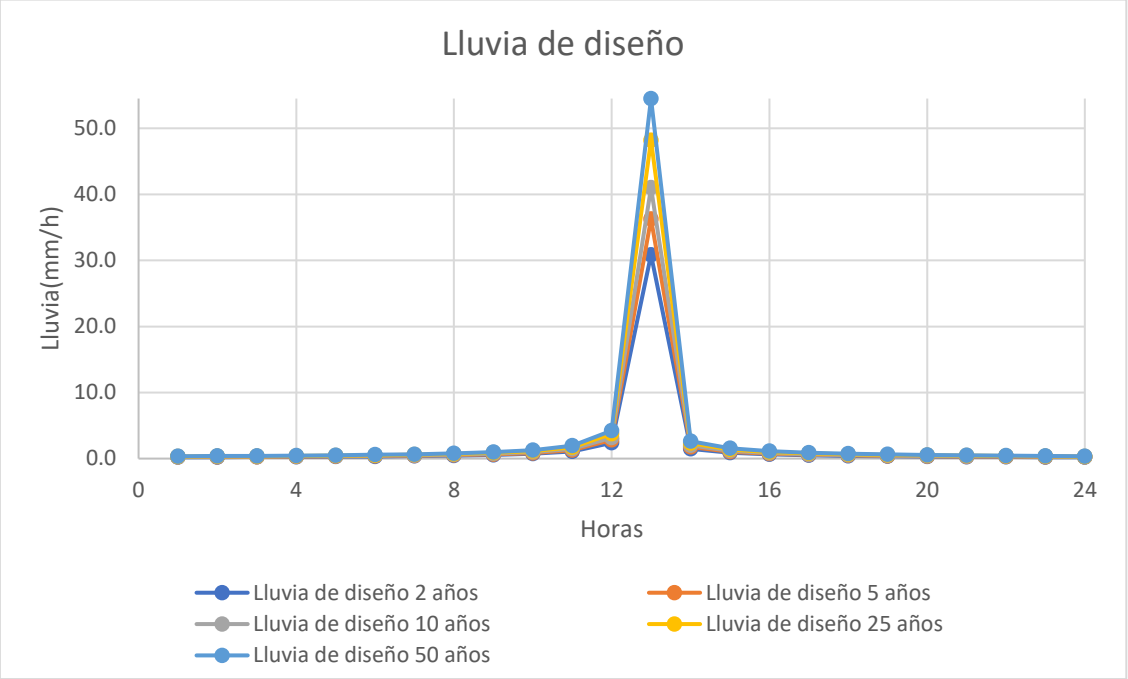
ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0067	CUENCA AEROPUERTO	5 ×60	$i = 201.93 \times T^{0.1045} \times t^{-0.4926}$	0.9885	0.9771
		60 ×1440	$i = 1052.78 \times T^{0.1567} \times t^{-0.8981}$	0.9834	0.9958



Fuente: INAHMI, 2015.

A continuación, se muestra la distribución de la precipitación diseñada para el proyecto realizado para el periodo de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años. **(VER FIG. 6)**

Figura 8: Lluvia de diseño para la microcuenca del río Machángara.



4.5 Hidrograma unitario sintético (HEC - HMS)

Para la realización del modelamiento hidrológico de la microcuenca del río Machángara a partir del programa ("Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System") HEC HMS se consideró los diferentes parámetros calculados anteriormente como la pendiente, gasto base, tiempo de concentración, lluvia de diseño entre otros y se procedió a generar la respectiva simulación para cada periodo de retorno como lo es 2, 5, 10, 25 y 50 años

Del programa de modelamiento se obtuvo los resultados del tiempo, la precipitación y el caudal total para los cinco años y sus respectivas graficas.

Tabla 9: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 2 años.

Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total Flujo (m3/s)
1:00				0	24.5	24.5
2:00	0.2	0.2	0	0	24.5	24.5
3:00	0.2	0.2	0	0	24.5	24.5
4:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.5
5:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.6
6:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.6
7:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
8:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
9:00	0.6	0.59	0.01	0	24.5	24.6
10:00	0.7	0.69	0.01	0.1	24.5	24.6
11:00	1.1	1.09	0.01	0.1	24.5	24.6
12:00	2.4	2.38	0.02	0.1	24.5	24.6
13:00	30.8	30.31	0.49	1.1	24.5	25.6
14:00	1.5	1.38	0.12	2.2	24.5	26.8
15:00	0.9	0.81	0.09	1.9	24.5	26.4
16:00	0.6	0.54	0.06	1.3	24.5	25.8
17:00	0.5	0.44	0.06	0.9	24.5	25.4
18:00	0.4	0.35	0.05	0.7	24.5	25.2
19:00	0.3	0.26	0.04	0.5	24.5	25.1
20:00	0.3	0.26	0.04	0.4	24.5	25
21:00	0.3	0.26	0.04	0.4	24.5	24.9
22:00	0.2	0.17	0.03	0.4	24.5	24.9
23:00	0.2	0.17	0.03	0.3	24.5	24.8

Figura 9: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 2 años.

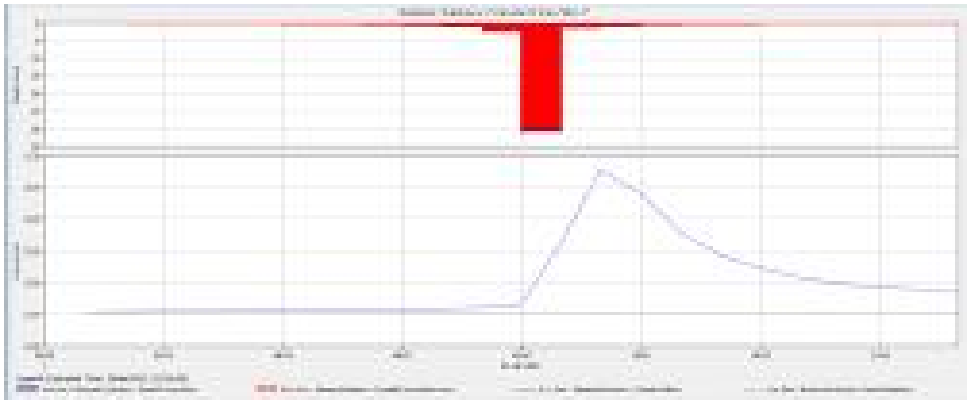


Tabla 10: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 5 años.

Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total Flujo (m3/s)
1:00				0	24.5	24.5
2:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.5
3:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.5
4:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.6
5:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.6
6:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
7:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
8:00	0.5	0.49	0.01	0	24.5	24.6
9:00	0.6	0.59	0.01	0	24.5	24.6
10:00	0.9	0.89	0.01	0.1	24.5	24.6
11:00	1.3	1.29	0.01	0.1	24.5	24.6
12:00	2.8	2.77	0.03	0.1	24.5	24.7
13:00	36.3	35.08	1.22	2.5	24.5	27.1
14:00	1.7	1.44	0.26	5.4	24.5	29.9
15:00	1	0.83	0.17	4.3	24.5	28.9
16:00	0.7	0.58	0.12	2.7	24.5	27.3
17:00	0.6	0.49	0.11	1.9	24.5	26.4
18:00	0.5	0.41	0.09	1.4	24.5	25.9
19:00	0.4	0.32	0.08	1.1	24.5	25.6
20:00	0.4	0.32	0.08	0.9	24.5	25.5
21:00	0.3	0.24	0.06	0.8	24.5	25.3
22:00	0.3	0.24	0.06	0.7	24.5	25.2
23:00	0.3	0.24	0.06	0.6	24.5	25.2

Figura 10: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 5 años.

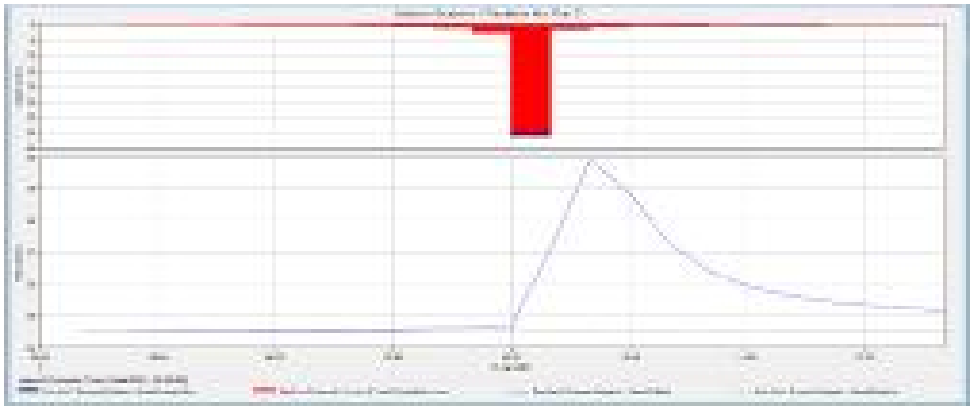


Tabla 11: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 10 años.

Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total Flujo (m3/s)
1:00				0	24.5	24.5
2:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.5
3:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.5
4:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.6
5:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
6:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
7:00	0.5	0.49	0.01	0	24.5	24.6
8:00	0.6	0.59	0.01	0	24.5	24.6
9:00	0.7	0.69	0.01	0.1	24.5	24.6
10:00	1	0.99	0.01	0.1	24.5	24.6
11:00	1.5	1.49	0.01	0.1	24.5	24.6
12:00	3.2	3.17	0.03	0.2	24.5	24.7
13:00	41	38.79	2.21	4.5	24.5	29
14:00	2	1.58	0.42	9.6	24.5	34.1
15:00	1.2	0.93	0.27	7.5	24.5	32.1
16:00	0.8	0.62	0.18	4.6	24.5	29.1
17:00	0.7	0.53	0.17	3.1	24.5	27.6
18:00	0.5	0.38	0.12	2.2	24.5	26.7
19:00	0.5	0.38	0.12	1.7	24.5	26.2
20:00	0.4	0.3	0.1	1.4	24.5	25.9
21:00	0.4	0.3	0.1	1.2	24.5	25.7
22:00	0.3	0.22	0.08	1	24.5	25.6
23:00	0.3	0.22	0.08	0.9	24.5	25.4

Figura 11: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 10 años.

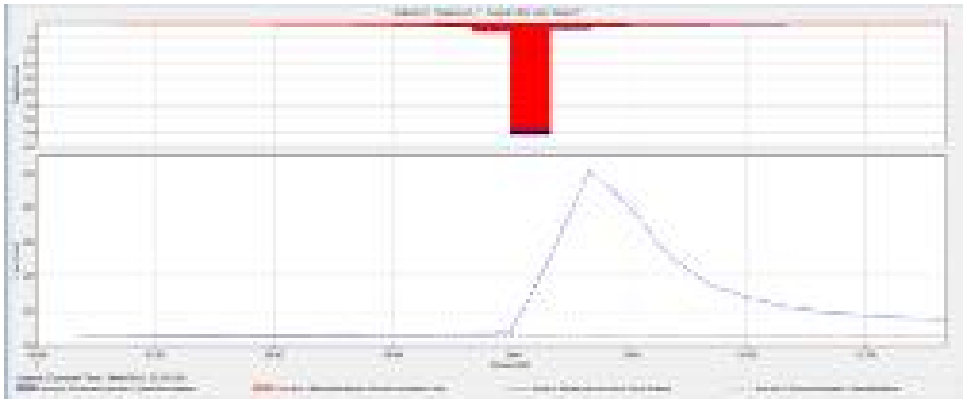


Tabla 12: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 25 años.

Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total Flujo (m3/s)
1:00				0	24.5	24.5
2:00	0.3	0.3	0	0	24.5	24.5
3:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.5
4:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
5:00	0.5	0.49	0.01	0	24.5	24.6
6:00	0.5	0.49	0.01	0	24.5	24.6
7:00	0.6	0.59	0.01	0	24.5	24.6
8:00	0.7	0.69	0.01	0.1	24.5	24.6
9:00	0.9	0.89	0.01	0.1	24.5	24.6
10:00	1.1	1.09	0.01	0.1	24.5	24.6
11:00	1.7	1.68	0.02	0.1	24.5	24.6
12:00	3.7	3.66	0.04	0.2	24.5	24.7
13:00	48.2	43.91	4.29	8.6	24.5	33.1
14:00	2.3	1.65	0.65	18.1	24.5	42.7
15:00	1.4	0.99	0.41	13.7	24.5	38.3
16:00	1	0.7	0.3	8	24.5	32.5
17:00	0.8	0.55	0.25	5.2	24.5	29.7
18:00	0.6	0.41	0.19	3.5	24.5	28.1
19:00	0.5	0.34	0.16	2.6	24.5	27.1
20:00	0.5	0.34	0.16	2.1	24.5	26.6
21:00	0.4	0.27	0.13	1.7	24.5	26.3
22:00	0.4	0.27	0.13	1.5	24.5	26
23:00	0.4	0.27	0.13	1.4	24.5	25.9

Figura 12: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 25 años.

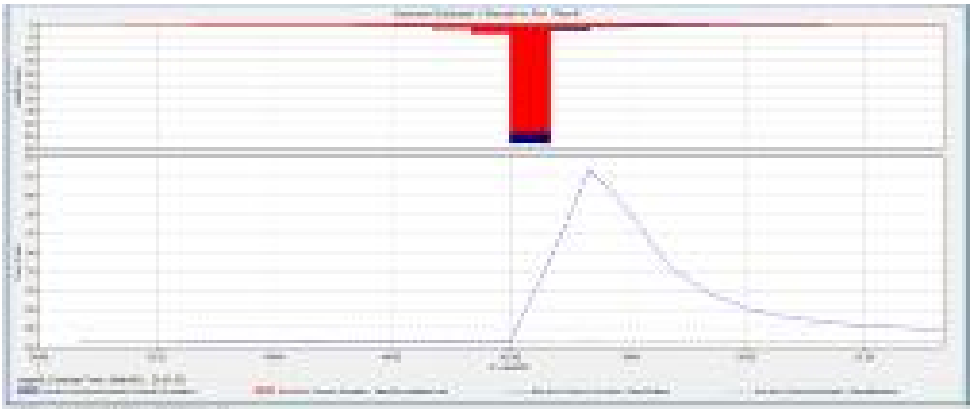
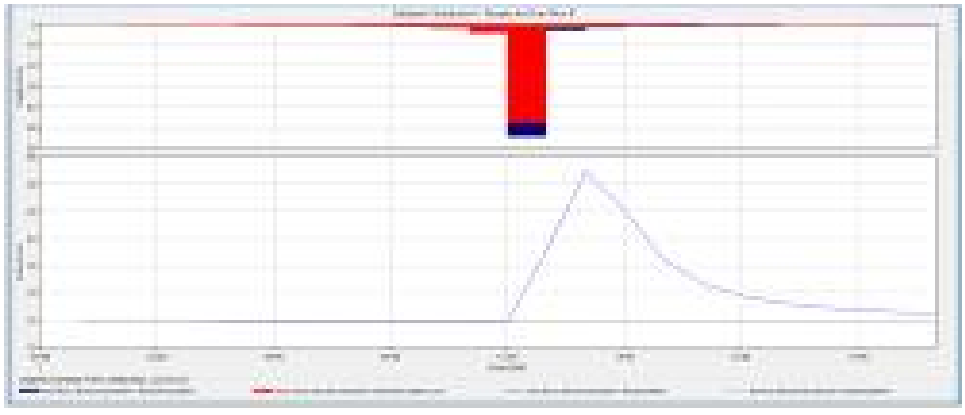


Tabla 13: Resultados HEC-HMS periodo de retorno 50 años.

Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total Flujo (m3/s)
2:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.5
3:00	0.4	0.4	0	0	24.5	24.6
4:00	0.5	0.49	0.01	0	24.5	24.6
5:00	0.5	0.49	0.01	0	24.5	24.6
6:00	0.6	0.59	0.01	0	24.5	24.6
7:00	0.7	0.69	0.01	0.1	24.5	24.6
8:00	0.8	0.79	0.01	0.1	24.5	24.6
9:00	1	0.99	0.01	0.1	24.5	24.6
10:00	1.3	1.29	0.01	0.1	24.5	24.6
11:00	1.9	1.88	0.02	0.1	24.5	24.7
12:00	4.2	4.16	0.04	0.2	24.5	24.7
13:00	54.5	47.87	6.63	13.2	24.5	37.7
14:00	2.6	1.72	0.88	27.7	24.5	52.3
15:00	1.5	0.97	0.53	20.5	24.5	45.1
16:00	1.1	0.7	0.4	11.5	24.5	36
17:00	0.9	0.57	0.33	7.2	24.5	31.7
18:00	0.7	0.44	0.26	4.9	24.5	29.4
19:00	0.6	0.37	0.23	3.6	24.5	28.1
20:00	0.5	0.31	0.19	2.8	24.5	27.3
21:00	0.5	0.31	0.19	2.3	24.5	26.8
22:00	0.4	0.25	0.15	2	24.5	26.5
23:00	0.4	0.24	0.16	1.7	24.5	26.3

Figura 13: Resultado de la subcuenca para el periodo de retorno 50 años.



4.6 Modelamiento HEC-RAS

De acuerdo con el modelamiento realizado con la herramienta HEC-RAS, se pudo determinar las diferentes zonas de inundación de acuerdo con los datos de lluvia de los periodos de retorno para 2, 5, 10, 25 y 50 años. Plasmando así las zonas de riesgo cuando sean los picos más altos de precipitaciones y de esta manera vincular a los meses de lluvia más intensos.

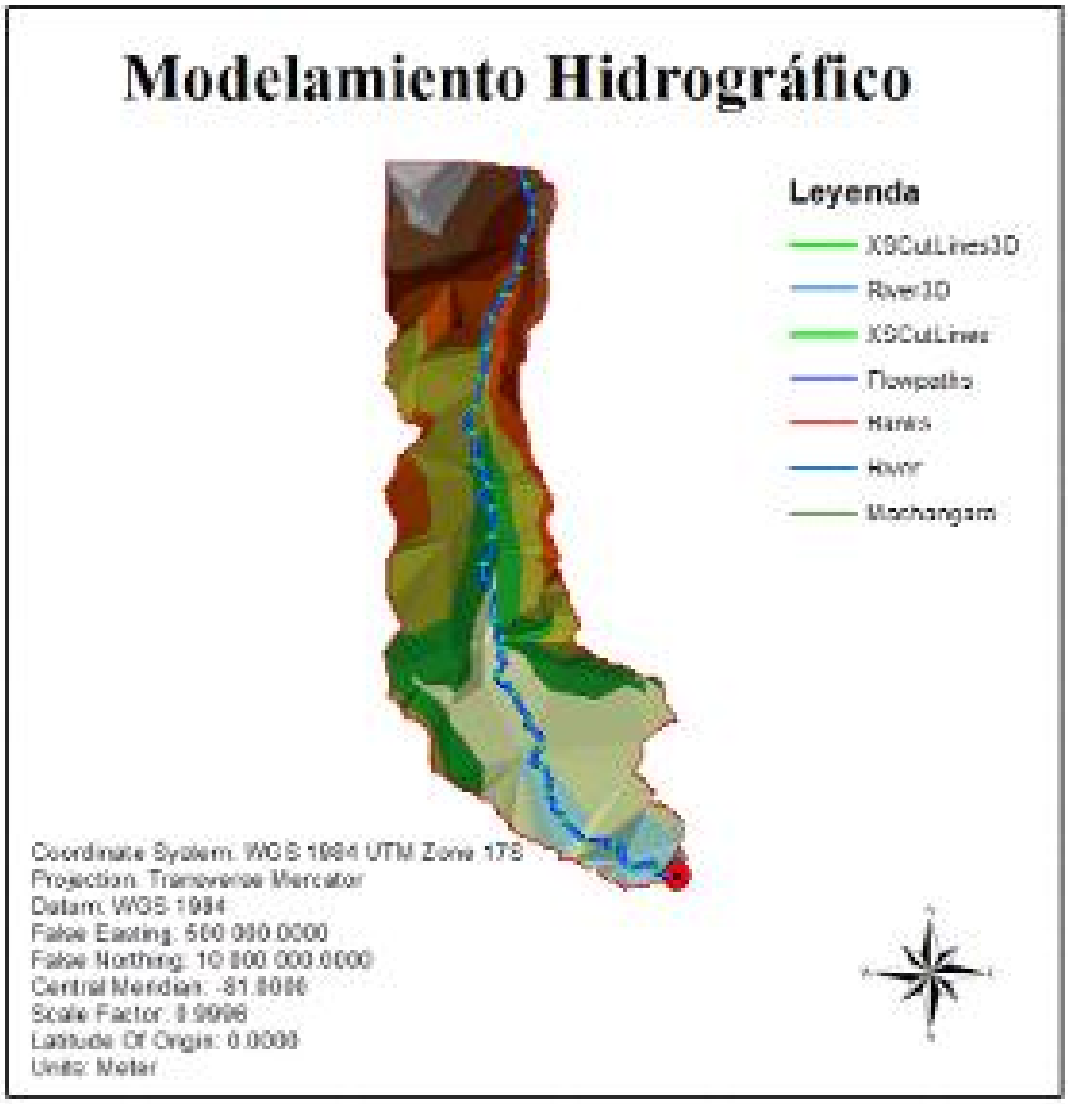


Figura 14: Modelamiento Hidrográfico del río Machángara.

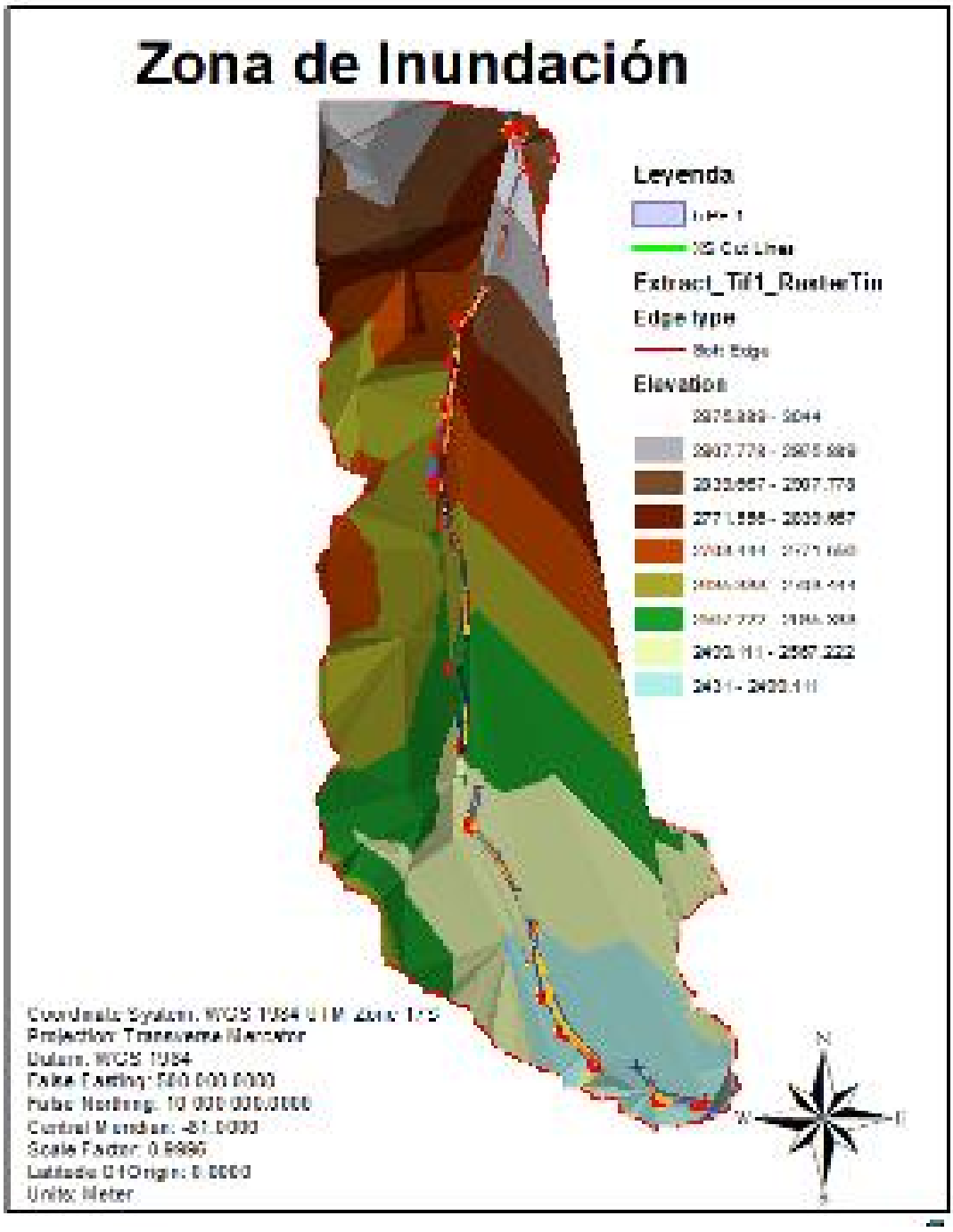


Figura 15: Zona de inundación del río Machángara.



Figura 16: Vista panorámica de la zona de inundación del río Machángara.

Fuente: *Google Earth Pro*

5 Conclusión

- La microcuenca del río Machángara se clasifica por su tamaño en pequeña ya que se encuentra dentro del rango establecido según Chow, Maidment & Mays (1994), con un área de 36km^2 y un perímetro de 38km y una longitud del cauce de 14.85km^2. El tiempo de concentración de la microcuenca revela que, en caso de presentarse una lluvia con altas precipitaciones en la parte más alta de la microcuenca, tardará 86 minutos en reflejarse en la desembocadura del río.
- En la microcuenca del río Machángara se pudo calcular el índice de infiltración cuyo número de curva fue de 61.24, teniendo en cuenta las precipitaciones en la ciudad de Cuenca no son muy constantes, pero hay un periodo en donde las precipitaciones son muy altas alterando así el cauce del río, su cota máxima se encuentra a 3350msnm y la mínima 2480msnm, obteniendo así una pendiente de 0.074 considerándola como suave según Ibal (2009). Se concluye según los resultados obtenidos a través del método de Manning, que el mes con mayor gasto base corresponde al mes de octubre con 36.2m^3/s.
- Para el modelamiento hidrológico de la microcuenca del río Machángara se utilizó el programa HEC HMS arrojó un modelamiento de caudal de avenida donde se puede observar los aportes y las pérdidas de la microcuenca, lo cual indica una relación directa entre lluvia y caudal, para lo cual se consideró los parámetros calculados anteriormente como la pendiente, gasto base, tiempo de concentración, lluvia de diseño, entre otros y se generó la simulación para cada periodo de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años.
- El tipo de suelo se caracterizó como tipo A con una textura de suelo arenosa, areno-limosa con un drenaje excesivo, para el flanco izquierdo y como tipo C con una textura franco-arcillosa y un drenaje imperfecto, para el flanco derecho.

6 Recomendaciones

- Al momento de realizar la recolección de datos en la infiltración, se debe tener en cuenta que no haya llovido el día anterior de la recolección para que así se tenga un cálculo más certero y no se encuentre el suelo saturado de agua.
- Al momento de recolectar muestras de tierra, para que esta sea representativa se debe recoger dos muestras superficiales y dos muestras a una profundidad de 2 metros.
- Al momento de proyectar la lluvia de diseño esta debe ser diseñada para 2, 5, 10, 25 y 50 años para así tener en cuenta a futuro en las posibles infraestructuras que se tienten a realizar cerca del cauce.
- Realizar estudios periódicamente en la microcuenca del río Machángara que permitan tener información actualizada y pueda así formar parte de los diferentes programas y proyectos de manejo y conservación realizados por la Universidad Estatal Amazónica con el propósito de asegurar su sostenibilidad ambiental.

Bibliografía

Alvarado, C., & Barahona , M. (15 de Septiembre de 2016). *Scielo*. Obtenido de Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador: https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00023.pdf

Breña, A., & Jacobo, M. (2010). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superciail.* Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Camino, M. (2018 de Febrero de 2018). *Revista Universitaria de Geografía*. Obtenido de Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires: https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf

Campos, D. F. (2010). *Introduccion a la Hidrologia Urbana.* San Luis Potosi .

Carrie, J. (2013). *Manual de manejo de Cuencas.* Ottawa , Canáda. Obtenido de https://www.actswithscience.com/Descargas/manual%20de%20manejo%20de%20cuencas.pdf

Carvajal et al , G. (2011). *Amenazas en Ecuador*. Obtenido de Inundaciones: https://eird.org/wikiesp/images/Ejemplo_de_ficha_t%c3%a9cnica.pdf

Carvajal, A. (2017). *Determinación del número de curva en la subcuenca de Betanci.* Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n2/2145-9371-inde-35-02-00452.pdf

Castillo , L., & Montalvo , D. (13 de Octubre de 2014). Inundación de Cuenca fue peor que la del 2012. *El comercio*. Obtenido de https://www.elcomercio.com/actualidad/inundaciones-cuenca-coe-invierno.html

Chacón, M., & Cuartas, C. (2007). *Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua.* Instituto Nitlapán. Managua: Fundación CIPAV. Obtenido de https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Mitigacion%20del%20cambio%20climatico/almacenamiento%20de%20carbono%20en%20el%20suelo%20y%20la%20biomasa%20arborea.pdf

FAO. (2014). *Textura del suelo.* Obtenido de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/.!33791!x6706s06.htm#:~:text=La%20textura%20indica%20el%20contenido,el%20suelo%20y%20lo%20atraviesa.

Fernández, A. (10 de Diciembre de 2012). El agua, un recurso esencial. *Volumen 11*(3), 25. Recuperado el 03 de Febrero de 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf

Gálvez, D. J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020, de

https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Garcia, U. P., & Villena , J. J. (14 de Junio de 2019). Inundaciones, uno de los desastres naturales más mortíferos. *METEORED*. Obtenido de https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/inundacion-problema-en-todo-el-mundo.html

Gisbert, J. M., & Ibáñez, S. (Enero de 2010). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/50839531_La_textura_del_suelo

Mendoza, M., & Bocco, G. (4 de Abril de 2002). Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no intrumentadas. *Investigaciones Geográficas Boletin del Instituto de Geografía, UNAM*, 23. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n47/n47a4.pdf

Moore, H. (11 de Septiembre de 2011). *civilgeeks*. Obtenido de Hidrograma unitario sintético: https://civilgeeks.com/2011/09/08/hidrograma-unitario-sintetico/

Oyarzún et al, C. (10 de Octubre de 2011). *Scielo*. Obtenido de Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002011000100002

Pizarro, R., Flores, J. P., Sanguesa, C., & Martínez, E. (s.f.). *Curva de Infiltración*. Obtenido de https://docplayer.es/9274229-Modulo-3-curvas-de-infiltracion.html

Ramos, X. (12 de Julio de 2020). 2268 inundaciones se dieron en Ecuador durante los últimos cinco años. *El Universo*. Obtenido de https://www.eluniverso.com/noticias/2020/07/12/nota/7903011/inundaciones-ecuador-2020-agua-lluvias-cambio-climatico

Sanchez et al , C. (09 de Abril de 2017). *Revista cumbres*. Obtenido de Metodología para la estimación de caudales mínimos de una cuenca hidrográfica con escasa información hidrometeorológica: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjG25_8j4PuAhUN1VkKHfC7A-EQFjADegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Finvestigacion.utmachala.edu.ec%2Frevistas%2Findex.php%2FCumbres%2Farticle%2Fview%2F200%2F80&usg=AOvVaw2LUj112H

sanchez, C. (24 de 01 de 2017). *EcuRed*. Obtenido de Microorganismos del suelo: https://www.ecured.cu/Microorganismos_del_Suelo

Turrent et al , A. (Mayo de 2009). *Scielo*. Obtenido de Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS–CN en el trópico subhúmedo de México: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000100008

Vargas, L. (2018). Evaluacion del modelo de hidrograma unitario SCS. Obtenido de Dialnet-EvaluacionDelModeloDeHidrogramaUnitarioSCSEnLaDete-7007372.pdf

Villalta, C., & Castañeda, L. (2003). *Manual de Manejo de Cuencas Hidrográficas.* Universidad de El Salvador, El Salvador. Recuperado el 04 de Noviembre de 2020

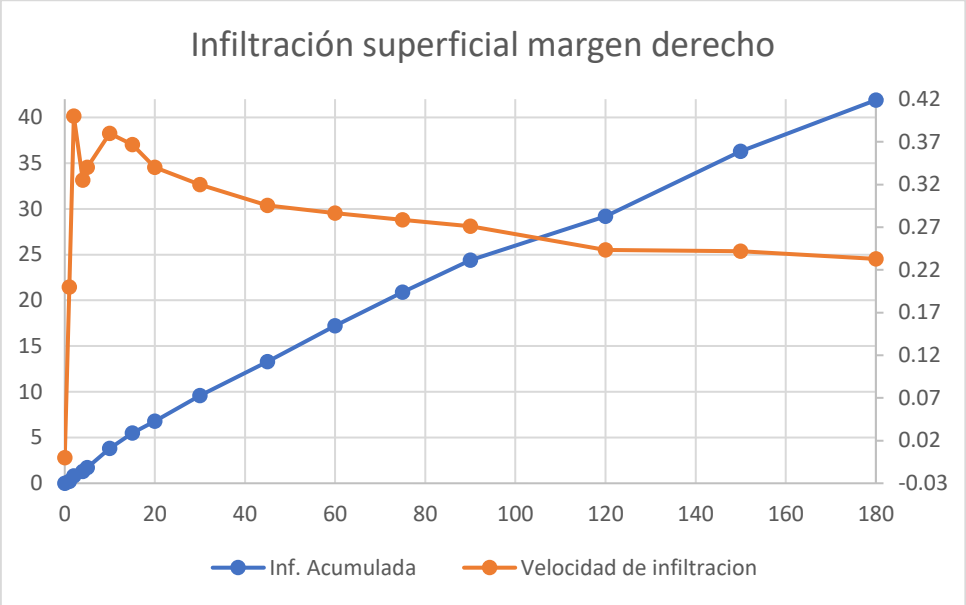
Villavicencio Riera, V. E., & Chavez Ochoa, L. M. (2011). *Estudio Arqueológico en las Cuencas media y baja del río Machángara.* Cuenca.

Villegas, P. (09 de Enero de 2017). *Método del Número de Curva del SCS*. Obtenido de https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/

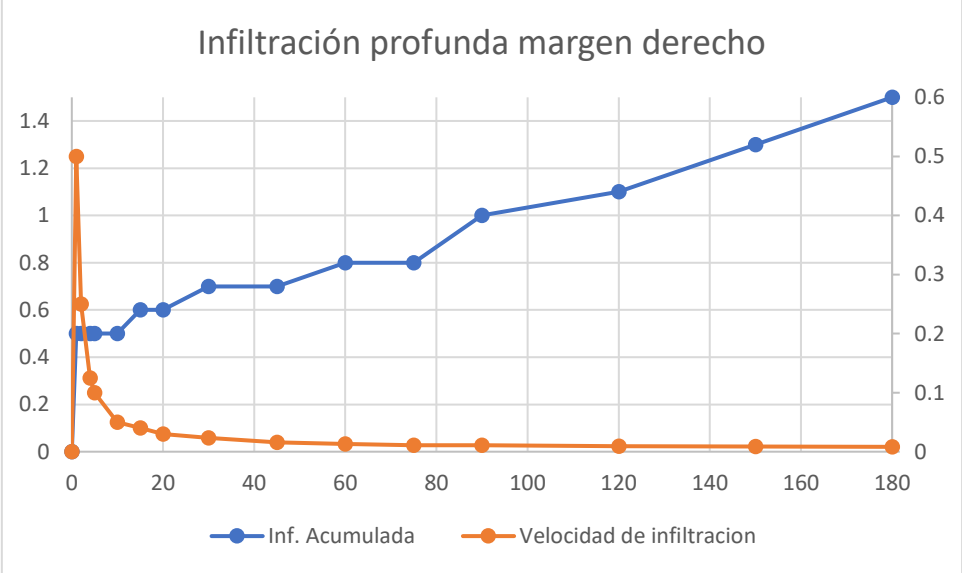
Villón, M. (2002). *Hidrología.* Lima.

Yepez , O. (2015). *CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING EN LOS GRANDES RÍOS DE VENEZUELA.* Valencia. Obtenido de http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a7n2/7-2-1.pdf

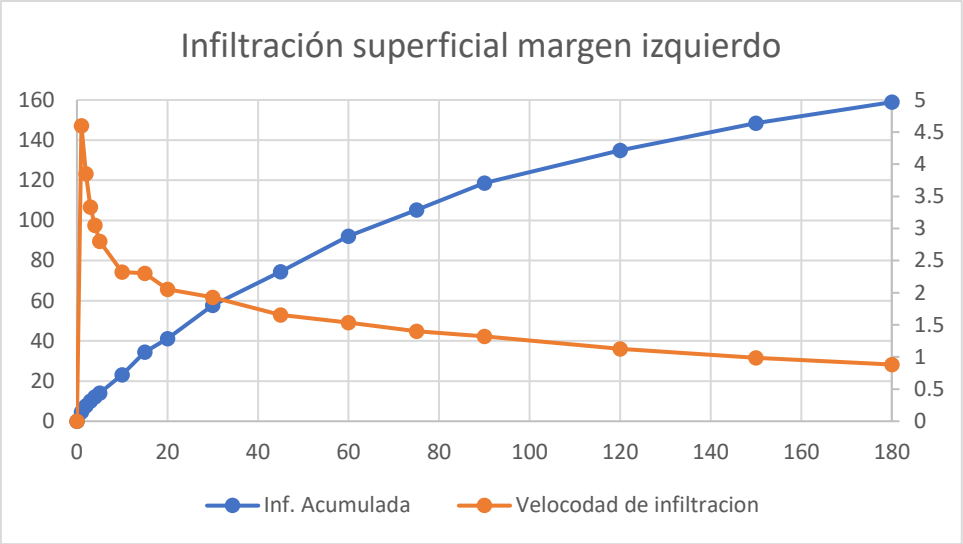
ANEXOS



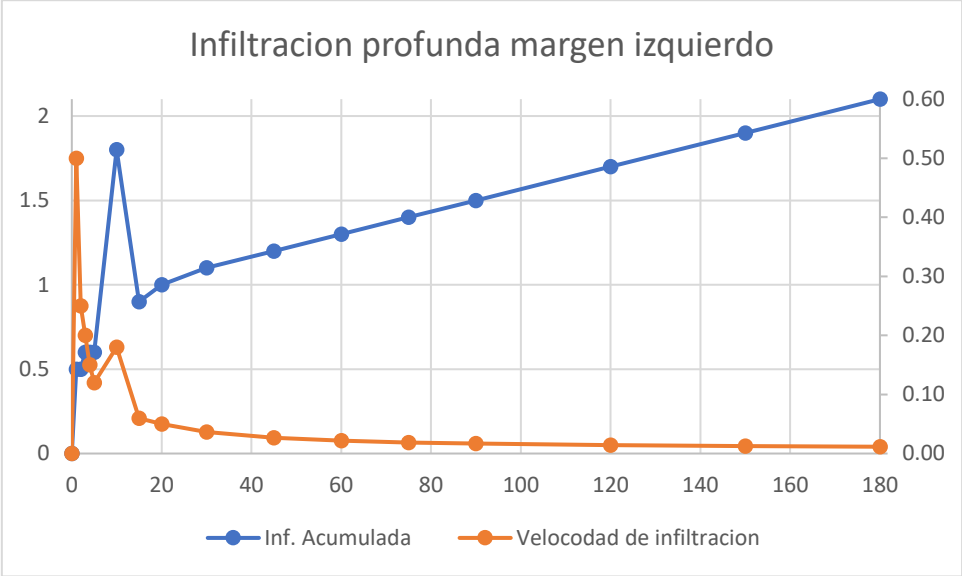
Anexo 1: Infiltración Superficial margen derecho.



Anexo 2: Infiltración profunda margen derecho.



Anexo 3: Infiltración superficial margen izquierdo.



Anexo 4: Infiltración profunda margen izquierdo.

TAMAÑO DE LA CUENCA, EN km²	CLASIFICACIÓN
< 25	MUY PEQUEÑA
25 a 250	PEQUEÑA
250 a 500	INTERMEDIA-PEQUEÑA
500 a 2500	INTERMEDIA-GRANDE
2500 a 5000	GRANDE
> 5000	MUY GRANDE

Anexo 5: Área de la cuenca según su tamaño.

Fuente: Pequeña guía del uso del modelo MODIPÉ (2003).

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

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

Anexo 6: Tipo de suelo según la tasa mínima de infiltración.

Fuente: Pequeña guía del uso del modelo MODIPÉ (2003).

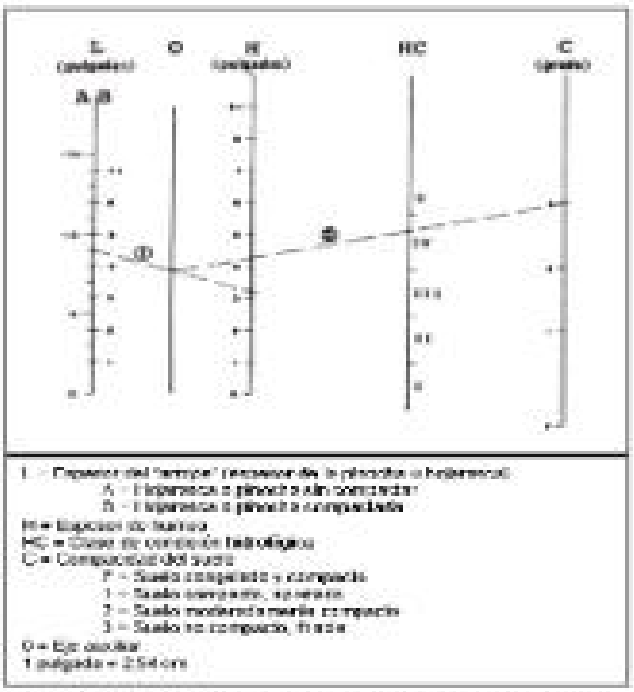


Figura 4. Nomograma para la determinación de la condición hidrológica de un bosque. De Morey (1956), citado por Udall & Dominy (1956)

Anexo 7: Nanograma utilizado para ver la condición hidrológica del suelo.

Fuente: Pequeña guía del uso del modelo MODIPÉ (2003).

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

Anexo 8: Tabla para sacar el número de curva.

Fuente: Pequeña guía del uso del modelo MODIPÉ (2003).



Anexo 9: Zona de inundación río Machángara (Polígono 1 y 2).



Anexo 10: Zona de inundación río Machángara (Polígono 3 y 4).



Anexo 10: Zona de inundación río Machángara (Polígono 5,6 y 7).



Anexo 11: Zona de inundación río Machángara (Polígono 8 y 9).