UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CERRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA E HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ALPAYACU, CANTÓN MERA, PROVINCIA DE PASTAZA, ECUADOR

AUTORES

CÁRDENAS CEVALLOS NATHALY LISBETH

CISNEROS MEDINA JORGE GEOVANNY

DIRECTOR DE PROYECTO

ING. ABRIL SALTOS RICARDO VINICIO PHD

PUYO – ECUADOR

JULIO 2021

DEDICATORIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo **CÁRDENAS CEVALLOS NATHALY LISBETH** con C.I. **235041991-3** y **CISNEROS MEDINA JORGE GEOVANNY** con C.I. **110411987-8** declaramos que el Trabajo de Integración Curricular denominado **"Caracterización geomorfológica e hidrológica de la subcuenca del río Alpayacu, cantón Mera, Provincia de Pastaza, Ecuador",** se ha realizado de manera íntegra y personal utilizando únicamente información bibliográfica y directrices dadas por el Tutor del presente trabajo, **ING. ABRIL SALTOS RICARDO VINICIO PhD.**

En virtud de esta declaración manifestamos la autenticidad y originalidad del alcance de este trabajo.

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



Cárdenas Cevallos Nathaly Lisbeth

C.I.: 235041991-3



Cisneros Medina Jorge Geovanny

C.I.: 110411987-8

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENCIÓN

El tribunal de sustentación d**e**l proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Caracterización geomorfológica e hidrológica de la subcuenca del río Alpayacu, cantón Mera, Provincia de Pastaza, Ecuador".**

Msc. Edison Suntasig Negrete

PRESIDENTE DE TRIBUNAL

Msc. Jessica Machado Cuzco

Miembro del Tribunal

Msc. Regla Bernal Gutierrez

Miembro del Tribunal

Certificado No. 100-SAU-UEA-2021

Puyo, 06 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a los estudiantes: Cárdenas Cevallos Nathaly Lisbeth con C.I. 2350419913 y Cisneros Medina Jorge Geovanny con C.I. 1104119878, con el Tema: **"Caracterización geomorfológica e hidrológica de la subcuenca del río Alpayacu, cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación Dr.C. Abril Saltos Ricardo Vinicio, Phd., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 9%, Informe generado con fecha 07 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 - .

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría e iluminar cada uno de mis pasos en el transcurso de mi carrera, por haberme dado la fuerza y aliento necesario en los momentos en que más lo necesité y por haber brindado salud a mi familia.

Les doy las gracias con todo mi corazón a mis padres Patricio y María, por siempre haber hecho hasta lo imposible para poner un pan sobre mi mesa, por todo el esfuerzo y el amor, por inculcarme valores y por brindarme la oportunidad de superarme profesionalmente, les agradezco por todo el cuidado y el apoyo. Gracias por que por ustedes soy la mujer en la que me eh convertido.

Le agradezco a mi hermano, Alexander Cárdenas mi primer y más grande amor, le agradezco por traerme felicidad a la vida, por ser siempre mi pequeña inspiración y mi mayor motor de superación.

A mi prima, Lourdes Sepa por estar siempre para mí, por sus palabras de aliento y por acompañarme hasta altas horas de la noche hasta acabar de hacer mis deberes y le agradezco todo su amor y por ser mi mayor ejemplo de vida.

No quiero dejar pasar el momento para agradecer a la Familia Cisneros Medina, quienes me acompañaron en una ciudad que no conocía, me brindaron todo su amor, su techo y nunca me dejaron sola. Gracias por ser mi segunda familia, fueron un pilar muy fundamental en este camino, ¡por ello esto es para ustedes también!

Le agradezco a mis amigos: Mishell, Ingrid, Kelly y Jenny, por haberme regalado su amistad y compañía en estos añitos tan cortitos, siempre los llevaré en mi corazoncito, gracias por todo nenes.

Por último, quiero agradecer a nuestro tutor, Ricardo Abril, y a los profes Paúl Manobanda, Billy, Karem, Karel, Leobel, Mary Castelo, Regla, Jessi Machado, a los profes Tuniesky y a todos los que fueron parte de esta linda etapa, gracias por brindarme todos sus conocimientos y ayudarme siempre que así lo necesité. ¡SON LOS MEJORES!

Nathaly Lisbeth Cárdenas Cevallos

DEDICATORIA

Dedico este proyecto:

A mis estrellitas más grandes y luminosas de mi noche, Juana y Emilio quienes me han protegido desde el cielo y que hasta sus últimos minutos fueron orgullosos de la mujer que soy.

A mis padres y hermano, quienes lo hicieron todo para que este día llegara, quienes me brindaron paciencia e infinito amor, esto es para ustedes y por ustedes, gracias por siempre confiar en mí y en mi hermano, gracias porque nunca me dejaron sola ni desamparada. LOS AMO.

A Jorge Cisneros por ser mi más dulce y gran compañero de vida, por todo su amor, por su cariño y paciencia, por su ayuda y palabras alentadoras, por nunca dejarme sola y siempre estar pendiente de mí, por ser mi médico personal, por haber creído siempre en mí solo te quiero decir ¡Lo logramos!

Finalmente quiero dedicar esto a toda mi familia, abuelitos, tías, tíos, primos y primas, porque cada una de sus acciones de una u otra manera me ayudaron a crecer y a coger mayor impulso para avanzar y salir adelante.

Nathaly Lisbeth Cárdenas Cevallos

AGRADECIMIENTO

Los resultados de este trabajo, merece expresar un profundo agradecimiento a mis queridos padres Laura y Jorge, quienes me han apoyado arduamente día tras día para poder conseguir mis metas.

A mi querida compañera de tesis y al mismo momento mi enamorada Nathaly Cárdenas, quien ha estado presente en todo momento dándome fuerza y palabras de aliento para poder llegar hasta al final y culminar una maravillosa etapa de nuestras vidas.

A mis compañeros de aula con quienes he compartido cada uno de los semestres, a Ingrid y a Mishell quienes ha estado desde el comienzo.

A mi gran amigo y cuñado Brian Castro quien ha sido un apoyo desde el día cero de esta gran etapa.

Al docente Ricardo Abril Saltos quien nos supo guiar de buena manera para poder culminar nuestro proyecto y a todos los profesores que durante mi carrera me han impartido sus conocimientos y experiencias para poder formarme como un gran profesional.

Con cariño, agradecimiento y respeto

Jorge Geovanny Cisneros Medina

DEDICATORIA

La concepción de este trabajo de titulación está dedicada a:

A Dios porque ha estado conmigo en todo momento guiándome, cuidándome y dándome fortaleza para continuar día a día.

A mis queridos padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo el motor y pilar fundamental en todo momento para llegar a culminar esta maravillosa etapa de mi vida.

A mis queridos hermanos Dalton y Cindy quienes han estado en todo momento dándome fuerzas para seguir con mis metas, a los más pequeños del hogar mis amados sobrinos Ithan Javier, Pablito Nicolas y Jorgito Luis.

A mi querido abuelito Manuel quien aún lo tengo presente y tengo la dicha de poder dedicarle este trabajo, a mis dos abuelitas Julia y Zoila quienes desde el cielo me están guiando cada paso que doy.

Jorge Geovanny Cisneros Medina

RESUMEN

En esta investigación se explora el comportamiento geomorfológico e hidrológico de una cuenca de la provincia de Pastaza. El propósito fue determinar las características de los componentes de la subcuenca del río Alpayacu, que se encuentra ubicada en el Cantón Mera, provincia Pastaza, Ecuador, con el fin de aportar información que se pueda utilizar para proyectos de construcción futuros dentro de la zona.

Para ello se utilizaron metodologías de recopilación de datos además de información bibliográfica, el monitoreo y las mediciones de los parámetros de campo fueron tomados durante el periodo octubre 2020 – febrero 2021. Además, se implementó programas que fueron en gran parte de fácil manejo gracias a la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, como ArcGis, y programas de modelamiento hidrológico como Hec-Ras, Hec-Hms.

Se aplicó también formulas y ecuaciones a partir de los datos tomados e incluyendo datos como la precipitación diaria que fueron proporcionados por la estación meteorológica Pindo Mirador del GAD Provincial de Pastaza (GADPPz), con los cuales se hizo uso de las metodologías de Guachamín et al., 2015 con el fin de determinar el nivel de infiltración, velocidad valor de caudales máximos y mínimos, gasto base, lluvia de diseño y la zona de inundación para los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.

Palabras Clave: Geomorfología, Cuenca, Estación meteorológica, Zona de inundación, Periodos de retorno.

ABSTRACT

In this investigation it´s explored the geomorphological and hydrological behavior of a basin in Pastaza's province. The propose was to determinate the features of the components of the sub-basin of the Alpayacus river, that is spotted on Mera, Pastaza´s province, Ecuador, with the objective of bring information that could be used for future construction projects on the zone.

We got the information by recompiling methodologies of data, in addition we´ve done monitoring and measuring of the parameters on the place, which were taken in the October 2020 – February 2021 period. In another hand, it was implemented some data which were easy to get, mentioning ArcGis, as a hydrographic basin management cathedra, and Hec-Ras and Hec-Hms, as hydrographic modeling programs. Whom help in a big part in this investigation.

We also used formulas and math using the data we´ve got and including some others facts, as the daily precipitation which were proportioned by the meteorological station "Pindo Mirador del GAD" Pastaza's province (GADPPz), where were used the Guachamin´s methodologic et al., 2015 with the propose of getting the level of infiltration, velocity value of maximum and minimum flows, base expenditure, design rain, and the flood zone for the return's periods of 2, 5, 10, 25 years.

Key words: Geomorphological, Basin, Meteorological station, Flood zone, Return´s period.

CONTENIDO

RESUMEN IX
ABSTRACT X
1 CAPÍTULO I 15
INTRODUCIÓN 15
1.1 Planteamiento del Problema 16
1.2 Objetivos 16
1.2.1 Objetivo General 16
1.2.2 Objetivos Específicos 16
1.3 Justificación 17
2 CAPÍTULO II 18
2.1. Fundamentación teórica 18
2.1.1. Cuenca Hidrográfica 18
2.1.2. Caracterización de cuencas 18
2.1.3. Características Morfológicas 19
2.1.4. Número de Curva (NC) 22
2.1.5. Hidrograma Unitario Sintético 23
2.1.6. Hidrograma Unitario Sintético (SCS) 23
2.1.7. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencias *(IDF)* 23
2.1.8. Periodos de Retorno 23
2.1.9. Lluvia de Diseño 23
2.1.10. Modelamiento hidrológico (HEC-HMS y HEC-RAS) 24
2.1.11. Hydrological Engineering Center - River (HEC-RAS) 24
3 CAPÍTULO III 25
3.1. Metodología de la investigación 25
3.1.1. Localización 25
3.1.2. Clima 25
3.1.3. Tipo de investigación 26
3.1.4. Método de Investigación 26
3.1.5. Diseño de la Investigación 26

3.1.6. Recursos 34
4 CAPÍTULO IV 35
4.1. Resultados 35
4.1.2. Características de la cuenca 35
4.1.3. Infiltración 36
4.1.5. Gasto Base 39
4.1.6. Cálculos de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia 39
4.1.8. Modelamiento del hydrologic engineering center-hydrologic modeling system (hec-hms) 41
4.1.9 Modelamiento Hydrological Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) 45
5 CAPÍTULO V 48
Conclusiones y recomendaciones 48
Conclusiones 48
Recomendaciones 49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50
ANEXOS 54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3–1: Recursos para la toma de datos. 34
Tabla 4–1: Características de la Cuenca 36
Tabla 4–2: Prueba de Infiltración del margen derecho e izquierdo 37
Tabla 4–3: Perfil de entrada del río Alpayacu 38
Tabla 4–4: Perfil de salida del río Alpayacu 38
Tabla 4–5: Calculo de los Caudales 38
Tabla 4–6: Resultados de la precipitación y caudal del río Alpayacu para los distintos periodos de retorno 42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Mapa satelital de Ubicación del río Puyo 25
Figura 4-1: Subcuenca del río Alpayacu 35
Figura 4-2: Gasto base mensual en el río Alpayacu 39
Figura 4-3: Curvas IDF 40
Figura 4-4: Lluvia de diseño para el río Alpayacu 40
Figura 4-5: Hietograma de la sub-cuenca para a 2 años 43
Figura 4-6: Hietograma de la sub-cuenca para 5 años 43
Figura 4-7: Hietograma para la sub-cuenca para 10 años 44
Figura 4-8: Hietograma de la sub-cuenca para 25 años 44
Figura 4-9: Mapa de modelamiento hidrológico para el río Alpayacu (HEC - HMS) 45
Figura 4-10: Identificación de la zona de inundación de la Sub-cuenca del río Alpayacu 46
Figura 4-11: Vista satelital de la zona de inundación del río Alpayacu 47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Clasificación de la Cuenca según su área 54
Anexo 2: Nonograma para la determinación de la condición hidrológica del bosque 54
Anexo 3: Valores para la determinación de número de curva en condición II 55
Anexo 4: Infiltración superficial del margen derecho 55
Anexo 5: Infiltración profunda del margen derecho 56
Anexo 6: Infiltración Superficial del margen izquierdo 56
Anexo 7: Infiltración profunda del margen izquierdo 56
Anexo 8: Perfil de entrada del río Alpayacu 57
Anexo 9: Perfil de salida del río Alpayacu 58
Anexo 10: Zona de inundación del río Alpayacu (polígono 1y2) 59
Anexo 11: Zona de inundación del río Alpayacu (polígono 3 y 4) 59

1 CAPÍTULO I

INTRODUCIÓN

El deterioro constante del medio ambiente y sus recursos contribuyen a las graves consecuencias de los desastres naturales. La interacción por parte del hombre con el ambiente día a día determina las distintas nociones que se presenta sobre el mismo**.** (Vergara y Aguilar, 2011)

Según datos de la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, de los desastres que se presentan en el orbe relacionados con el agua, 50% corresponde a inundaciones por encima de hambrunas, sequías y epidemias. El número de eventos ha crecido a una velocidad vertiginosa, particularmente en áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores sociales, económicos y financieros, entre otros, dejando en mayor vulnerabilidad a la población con menos recursos. (Hernández y otros., 2017)

El Atlas de Mortalidad y Pérdidas Económicas del Clima, Clima y Extremos Hídricos indica que el 79% de los desastres naturales son debidos a fenómenos meteorológicos o hidrológicos extremos. Esto causó aproximadamente 8835 desastres, 1,94 millones de víctimas mortales y pérdidas económicas por valor de 2400 billones de dólares de Estados Unidos a escala mundial. (OMM, 2019). Entre 1970 y 2012 en América del Sur se notificaron 696 desastres, que causaron la muerte de 54995 personas y daños económicos por valor de 71800 millones de dólares. En cuanto a las consecuencias, fueron las inundaciones las que causaron el mayor número de pérdidas de vidas humanas (80%) y las mayores pérdidas económicas (64%). El fenómeno más destacado durante ese período fue una crecida, acompañada de deslizamientos de tierra y lodo, que ocurrió en Venezuela a finales de 1999 y causó 30000 muertes. (OMM, 2019)

Durante los últimos 35 años en territorio ecuatoriano el 50 % de los muertos y desaparecidos en el periodo en mención fue por las inundaciones**,** según un informe del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) de julio del 2019. De las 588 331 personas afectadas por eventos naturales y causados por el hombre, en el periodo 2014-2019 casi la mitad (263 476) fueron víctimas de las inundaciones, según el SNGRE. (Ramos, 2020).

1.1 Planteamiento del Problema

En la Región Amazónica provincia de Pastaza cantón Mera se encuentra ubicado el río Alpayacu, a las riveras se encuentran varios balnearios y además el barrio Nuevo Mera perteneciente a la cabecera cantonal, la presencia de abundantes precipitaciones de gran intensidad en los meses de noviembre y abril generan incrementos en el caudal. (GAD Cantonal de Mera, 2015)

Actualmente no se han considerado dentro del cantón las zonas que pudiesen presentar riesgos de inundación, por lo cual se hace necesario el establecimiento de modelos para determinar qué sectores presentan riesgos ante la presencia de crecidas en el área y preservar las infraestructuras y el bienestar de la población que se encuentra aledaña al margen del río.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar una caracterización hidrológica y geomorfológica del Río Alpayacu para determinar las zonas de riesgo de desbordamientos e inundaciones que afectan a las comunidades aledañas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización geomorfológica de la cuenca del río Alpayacu
- Realizar una caracterización hidroedafológica de la cuenca del río Alpayacu
- Realizar una caracterización de caudales del río Alpayacu hasta la zona del puente en el sector Nuevo Mera.
- Realizar modelamientos hidrológicos integrando los componentes pluviométricos y de suelo a través de sistemas de información geográfica y software de modelización hidráulica.

1.3 Justificación

Las inundaciones son consideradas como una de las catástrofes más costosas debido al alcance de los daños y perdidas. A nivel mundial entre los años 2000 y 2008 se presenta un promedio de 99 millones de damnificados. En América Latina y el Caribe, en los últimos 20 años se han registrado cerca de 548 de estos fenómenos con un total de 53 millones de personas afectadas. En Ecuador durante el periodo 2014 – 2019 han ocurrido alrededor de 2268 inundaciones de las cuales 263.476 personas fueron víctimas de ellas y tan solo en Pastaza se mencionan 10 inundaciones durante el 2018 de las cuales corresponde al Cantón Mera en el mismo año y posteriormente para el año 2019 y 2020 se registra el mismo dato. (Naciones Unidas, 2020)

Desde este enfoque surge la necesidad del estudio y caracterización geomorfológica/hidrológica de la cuenca del río Alpayacu, con el fin de conocer las condiciones hidrológicas y edafologías de la zona que pueden influir en la generación de crecidas de venidas por la presencia de altas precipitaciones en el cantón Mera lo cual puede ocasionar daños y pérdidas materiales y económicas, de acuerdo al PDyOt en el barrio Nuevo Mera existen 218 habitantes aledaños a la cuenca que podrían ser afectados durante una posible inundación así como también aguas abajo se puede ver afectada la infraestructura del balneario Río Tigre, el cual es un ingreso económico del cantón. (GAD Cantonal de Mera, 2015)

2 CAPÍTULO II

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Cuenca Hidrográfica

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), una cuenca hidrográfica se define como "una unidad geográfica e hidrológica, formada por un río principal y todos sus territorios asociados entre el origen del río y su desembocadura" (UICN, 2020).

Las cuencas se dividen según su zona en tres:

Cuenca Alta: que son las laderas y montañas en donde nace el río principal. (UICN, 2008)

Cuenca Media: que se ubica en los valles y por lo general donde el río empieza a zigzaguar. (UICN, 2008)

Cuenca Baja: que es donde el caudal del río pierde fuerza y se sedimentan los sólidos formando llanuras. (UICN, 2008)

2.1.2. Caracterización de cuencas

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, por lo general una cuenca también incluye área y ecosistemas, como territorios, ríos menores, aguas subterráneas o acuíferos, zonas costeras y su influencia en el mar. Para la formación de una cuenca se cuenta con características individuales que son importantes al hablar de la velocidad del escurrimiento superficial y características del hidrograma, así tenemos; área, perímetro, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje, densidad de corrientes y tiempo de concentración. (UICN, 2008)

Para que exista un proceso hidrológico dentro de una cuenca existe interacción de varios factores climáticos, topográficos, ecológicos y de la actividad humana. Para poder realizar un estudio de su comportamiento se necesita conocer las características físicas y morfométricas de la cuenca, además de los parámetros básicos que se los puede obtener mediante Modelos Digitales de Terreno y aplicación de ecuaciones. (UICN, 2008)

2.1.3. Características Morfológicas

*2.1.3.1. Área: q*ue es definida como la proyección horizontal de toda superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido a un mismo cauce natural, expresada en km^2 o hectáreas. (Rojo, 2012)

*2.1.3.2. Perímetro: e*s la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas, se mide en unidades de longitud y se expresa en kilómetros. (Rojo, 2012)

2.1.3.3. Coeficiente de compacidad: este parámetro 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. (Córdova , 2016)

2.1.3.4. Densidad de drenaje: indica la relación de la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca. (Dd=L/A), este parámetro tiene la finalidad de catalogar a una cuenca como bien o mal drenada. (Rojo, 2012)

2.1.3.5. Densidad de corrientes: define la longitud total de los cauces dentro de la cuenca por unidad de área expresada en km/km^2. (Rojo, 2012)

2.1.3.6. Tiempo de concentración: representa el tiempo de viaje de una gota de lluvia que cae en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca y escurre superficialmente hasta su salida, es decir, el tiempo a partir del cual toda la cuenca contribuye al caudal en el punto de salida de la cuenca. (Bentacoe, Silveira , & García , 2014)

2.1.3.7. Características hidroedafológicas: Para la determinación del caudal es importante contar con datos de pluviometría y temperatura los mismos que pueden ser obtenidos a través de las distintas estaciones meteorológicas ubicadas cerca de la cuenca. Para la determinación de un caudal se cuenta con distintas metodologías planteadas, tales, así como:

2.1.3.8. Método de Manning: establece el volumen que se transporta por el cauce de los afluentes de una cuenca evaluados en un lapso de tiempo. Para cuantificar este método se necesita del área, perímetro mojado, pendiente y el radio hidráulico (Fernández et al., 2018).

2.1.3.9. *Huella hídrica:* es un indicador multidimensional que hace referencia al consumo de los recursos hídricos superficiales o subterráneos que se pueden perder mediante su evaporación o salida de la cuenca. (Zárate et al., 2017)

2.1.3.10. *Coeficientes de Rugosidad:* depende de factores como la geomorfología, vegetación y características geométricas del cauce del afluente, a base de estos datos se puede obtener la velocidad del fluido (Mora & Ávila, 2019).

Estos factores en cuanto hablamos a una cuenca hidrográfica, pero al hablar de su territorio se debe tener en cuenta que el país presenta una gran variedad con cambios considerables a distancias cortas, y esta variación responde a una diversidad de factores, tales como: el gradiente altitudinal, la dirección de las cadenas montañosas, la distancia al Océano Pacífico, las corrientes marinas y los vientos. La interacción de dichos factores presenta una amplia diversidad ecológica de este país, pero sin duda el factor más influyente es que se encuentra ubicado en la cordillera de los Andes. Los suelos de este país tienen en consecuencia características muy variables, como efecto del cambio climático, a pesar de que el material de origen, predominantemente volcánico, es relativamente homogéneo. (García & Schalatter , 2012)

Dentro de las características hidrológicas del suelo, se debe conocer acerca de la textura, velocidad de infiltración, carbono y materia orgánica número de curva, de esta manera se podrá conocer las tasas de infiltración que tenga un determinado suelo que este siendo estudiado.

2.1.3.11. Texturas del suelo: el suelo se compone por tres tipos de partículas minerales de distintos tamaños siendo estos, arena, limo y arcilla. Conocer el tipo de suelo con el que se trabaja es imprescindible. De su textura dependen sus propiedades físicas, las cuales determinan en gran medida, su productividad. Según FAO, (2017) la textura indica el contenido relativo de particulas de diferentes tamaños, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo.

2.1.3.12. Velocidad de Infiltración

De acuerdo con García Hernández et al., (2008), la mayor parte del agua que las plantas utilizan para sus procesos fisiológicos proviene del suelo y con frecuencia el exceso o déficit de ella suele actuar como un factor limitante de su crecimiento. Conceptualmente la velocidad de infiltración es aquel proceso que define la entrada y el movimiento, en general vertical, del agua a través de la superficie del suelo en una unidad de tiempo definida. Según la FAO (2018) la velocidad de infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra al interior del suelo; o, en otras palabras, representa la capacidad que tiene el suelo para absorber el agua en un tiempo determinado. La velocidad de infiltración de un suelo depende de varios factores, entre los cuales se pueden destacar los siguientes:

- Factores relacionados con las características físicas del suelo como textura y estructura.
- Contenido de humedad del suelo lo que determina suelo húmedo o seco.
- Otros factores labores culturales, agrietamiento, compactación, etc.

2.1.3.13. Carbono del suelo

De acuerdo con Lefevre et al., (2017) el carbono del suelo es una pequeña parte del ciclo del carbono global, el mismo que implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, océano y la atmósfera. La reserva de carbono orgánico del suelo (COS) almacena un estimado de 1500 PgC en el primer metro de suelo, siendo mayor que el contenido de la atmósfera y la vegetación terrestre combinadas.

De acuerdo con Lefevre et al., (2017) la reciente investigación de la dinámica del C del suelo y su influencia en el ciclo global del carbono ha sido impulsada por el aumento de la concienciación por:

- La importancia de la accesibilidad a pequeña escala al COS para la renovación del carbono microbiano que se extiende a una profundidad mayor de 20 cm.
- El vínculo entre las comunidades microbianas y las propiedades dinámicas e inherentes del suelo en relación al ciclo del carbono y su interacción con otros ciclos biogeoquímicos.
- La influencia de la diversidad de planta en el aumento de la actividad microbiana del suelo y el almacenamiento de carbono en el suelo.

En función del cambio climático siguen existiendo numerosas incertidumbres sobre las consecuencias de las acciones humanas sobre el clima global son muy inciertas aún. Este efecto agrega incertidumbre a la predicción de las futuras respuesta del C del suelo a un clima cambiante debido a que sus mecanismos todavía no se entiendo completamente.

2.1.3.14. Materia orgánica

Según Meneses et al. (2006), en general la gran mayoría de autores describen o definen la materia orgánica o humos como la fracción orgánica superficial del suelo que cumple en este un papel importante. El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, lo cual forma agregados y da estabilidad estructural, favorece la penetración del agua y su retención, lo que disminuye la erosión y favorece el intercambio gaseoso. La materia orgánica en el suelo facilita además los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas. Por ejemplo, hay quienes afirman que la capacidad del suelo para adsorber compuestos químicos como clorofenoles o cloroanilinas aumenta con el contenido en materia orgánica.

2.1.4. Número de Curva (NC)

Parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas

del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo. (Días & Mercado, 2017)

2.1.5. Hidrograma Unitario Sintético

Se puede destacar entre ellos los métodos de Servicio de Conservación de Suelos (Snyder), de "U.S. Bureau of Reclamation" y el de Témez quienes realizan caracterizaciones morfológicas y vegetacional a través de ecuaciones, además se pueden generar datos de precipitación para generar hidrogramas de escorrentía directa HED. (Pizarro, et al., 2013)

2.1.6. Hidrograma Unitario Sintético (SCS)

Permite obtener hidrógrafas o hidrogramas de caudal sin necesidad de tener un registro de precipitaciones y escorrentía. Este tipo de hidrograma es usado cuando existe escaso conocimiento de la cuenca. (Martinez, 2001)

2.1.7. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencias *(IDF)*

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 (Témez , 1987)

2.1.8. Periodos de Retorno

Se refiere a representación comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado. (Montalar , 2012)

2.1.9. Lluvia de Diseño

Se la determina como un evento hipotético pluvial, estadísticamente previsible para una duración dada y una recurrencia asignada que permite elaborar un modelo lluvia-escorrentía. Este modelo generalmente se lo utiliza para la construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que contiene intervalos de diferente duración y son correspondientes a una misma frecuencia y periodo de retorno. (Pizarro , Flores , Sangüesa, & Martinez , 1982)

2.1.10. Modelamiento hidrológico (HEC-HMS y HEC-RAS)

Es un programa de simulación hidrológica, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas. A partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hidrogramas de diseño como son: pérdida por infiltración, flujo de base y conversión de escorrentía directa. Este programa permite visualizar series hidrológicas y climáticas empleadas en el modelo, permite controlar las características de la simulación hidrológica, como son los tiempos de inicio y fin e intervalos de tiempo para realizar el cálculo. (Angulo & Saavedra , 2018)

2.1.11. Hydrological Engineering Center - River (HEC-RAS)

Es un software que permite realizar modelización y para simular flujos en cauces artificiales y naturales *Hydrological Engineering Center – River* para definir el nivel de agua. Por tanto, se trata de una herramienta fundamental para realizar los estudios de inundabilidad y modelización de cauces. El Hec-Ras permite modelizar cuatro tipos de río: modelización de flujo en lo que es régimen permanente, modelización de flujo en régimen no permanente, modelización del transporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas. (Martinez J. , 2017)

3 CAPÍTULO III

3.1.Metodología de la investigación

3.1.1. Localización

El cantón Mera perteneciente a la provincia de Pastaza, cuenta con 520 Km^2, siendo el tercer cantón más grande de la misma. Se encuentra a una altitud de 948 msnm (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Mera, 2015).

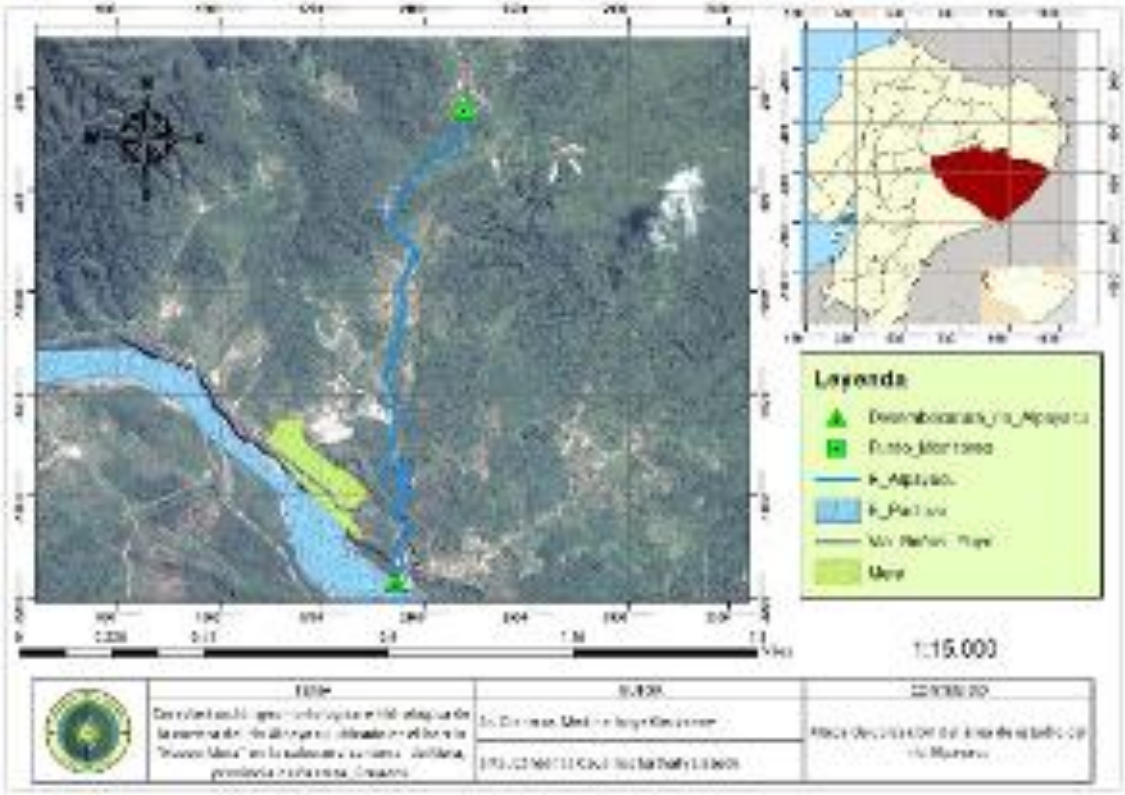


Figura 3-1: Mapa satelital de Ubicación del río Puyo
Fuente: Autores

3.1.2. Clima

Por su ubicación geográfica el Cantón Mera, cuenta con características climatológicas favorables, en esta zona se presentan temperaturas que fluctúan entre los 12 °C a 22 °C, al ser un bosque siempreverde montano bajo existen precipitaciones fuertes llegando a cantidades mayores a los 4 000 mm anuales, también presenta registros de humedad relativa mayores al 88 %. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón, 2015).

Las precipitaciones son permanentes durante todo el año debido al aporte de masas de aire húmedo provenientes del sistema Hidrológico del Amazonas. Uno de

los aspectos importantes del comportamiento de las precipitaciones, en el paisaje es que según sube la altitud, aumenta la precipitación media anual. Los meses lluviosos son abril, octubre y noviembre; mientras los meses menos lluviosos corresponden a julio, agosto y septiembre. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Mera, 2015).

3.1.3. Tipo de investigación

El presente trabajo es de tipo de investigación *descriptiva analítica*, esto se debe a que durante su proceso se recopilarán 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.

3.1.4. Método de Investigación

El presente trabajo se lo realizó mediante la recolección de datos secundarios a través de información bibliográfica, además se efectuó la medición de parámetros mediante trabajo de campo, ecuaciones, software y programas informáticos de modelamientos.

3.1.5. Diseño de la Investigación

Para llevar a cabo el trabajo de investigación, en primera instancia, se identificó la zona de estudio y un lugar de estimación de caudal en un punto firme en el río (roca de 2m de altura), se identificó las coordenadas con la aplicación GPS Essencial, y luego fueron corregidos ubicando el punto en el Google Earth Pro.

Se descargo imágenes TIFF de la zona a través de la página Sig Tierras, las cuales fueron procesadas en el programa ARC MAP 10,5 donde se identificó el sitio de registro del caudal y se determinó los límites de la cuenca, el área, el perímetro, la red de drenaje y el cauce del río Alpayacu a través de la herramienta Hidrology del Arc MAP.

3.1.5.1.Caudal

Se marcó con pintura roja una línea cada 0,10 m, 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

3.1.5.2.Parámetros Relativos a la forma

Se determinaron los siguientes parámetros relativos a la forma

Según Martinez (2001), para determinar el Coeficiente de compacidad se utilizará la siguiente formula (ecuación 1)

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

1

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravellius

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (Km)

3.1.5.3. Parámetros relativos al relieve

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

$$Pm = \frac{\Delta h}{L} * 100$$

2

Donde:

Pm: Pendiente de la media del cauce

Δh: Diferencia de nivel de una sección

L: Longitud de la sección

3.1.5.4.Parámetros relativos al drenaje

Según Campo et al. (2011), para realizar el cálculo de relación de bifurcación se emplea la siguiente fórmula:

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

3

Donde:

Rb: Relación de bifurcación

No: Número segmentos de un orden

Nos: Número de segmentos de un orden inmediatamente superior.

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

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

4

Donde:

Ds: Densidad de corriente

Ns: Numero de corrientes perennes o intermitentes

Ls: Longitud total de las corrientes

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

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

5

Donde:

Dd: Densidad de drenaje

Ls: Longitud total de las corrientes

Ls: Longitud total de las corrientes

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

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

6

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hrs)

L: Longitud del canal (Km)

S: Pendiente

3.1.5.5.Radio hidraulico

Según Martinez (2001), la formula para determinar el radio hidráulico es la siguiente:

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

7

Donde:

Rh: Radio hidráulico

A: Área de la cuenca

P: Perímetro de la cuenca

3.1.5.6.Velocidad

Según Ortega (2012) el método de área-velocidad se realiza a través de la determinación del área de una sección transversal del flujo de agua y la velocidad que presenta el agua a través de ésta. El gasto o caudal se representa como un producto del área transversal de la corriente y su velocidad promedio, como se aprecia por medio de la siguiente ecuación: Según Hudson (1997), para la estimacion de caudal empleando el método de Manning se utilizará la fórmula siguiente:

$$Rh = \frac{A}{P}$$

8

Donde:

v: Velocidad (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Rh: Radio hidraulico (m)

S: Pendiente media del canal

Para establecer el coeficiente de rugosidad, se utilizará el diámetro de las piedras o partículas que cubren por lo menos el 50% del lecho del río y en las cuales se aplicará la ecuación de Bray. (Hudson, 1997)

3.1.5.7.Caudal

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

9

Donde:

Q: Gasto o caudal de la corriente $m^3/_s$

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

Para establecer el coeficiente de rugosidad, se utilizará el diámetro de las piedras o partículas que cubren por lo menos el 50 % del lecho del río y en las cuales se aplicará la ecuación de Bray. (Ortega, 2012)

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

10

Donde:

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

3.1.5.8.Determinación de la lluvia del proyecto

Se recolectó los datos de precipitación de la estación meteorológica de la Shell, con los registros de intensidades diarias y horarias.

3.1.5.8.1. Construcción de curvas IDF

Para realizar el análisis de la lluvia de proyecto, se determinarán las curvas IDF con datos de la estación meteorológica Pindo Mirador para periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años

3.1.5.8.2. Determinación del hietograma

Teniendo en cuenta la curva del período de retorno con el que se calcula el hietograma, se divide la duración del hietograma en partes iguales (n). (Martinez, 2001).

$$H_1 = I_1$$

$$H_2 = 2I_2 - H_1$$

$$H_3 = 3I_3 - H_1 - H_2$$

$$\boldsymbol{H_n = nI_n - H_{n-1} - H_{n-2} - H_2 - H_1}$$

11

3.1.5.9.Hidrograma del SCS

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

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

12

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

13

Donde:

T_p: tiempo de punta en horas

D: duración de la lluvia en horas

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

t_c: tiempo de concentración

3.1.5.9.1. Caudal punta

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

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

14

Donde:

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

t_p: tiempo de punta en horas

A: área en Km^2

3.1.5.10. Medición de la velocidad de infiltración mediante el método de infiltrómetro de doble anillo

Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizará el método de doble anillo (Weber, 2015), y se considerará los datos de textura del suelo establecidos por Boyoucos (1936).

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

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

15

Donde:

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

f_0 = Tasa inicial de infiltración

k = Coeficiente de decrecimiento de la capidad de infiltración

t = Tiempo en horas

3.1.5.11. Modelamiento en HEC-HMS HEC-RAS

1. Se deben seguir los siguientes pasos para una correcta aplicación del modelamiento, sin embargo, antes de realizar la simulación se debe instalar el programa previamente en el computador desde la página web US Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACE):
2. Abrir el programa, crear un proyecto y modelo nuevo: *Components → Basin model manager → New → Create.*
3. Incluir el mapa de la cuenca obtenido del programa ArcGi 10.5: *View → Background maps →Adds*
4. Agregar elementos del sistema. Puede ser una *cuenca (Basin), subcuenca (Subbasin), reservorio (Reservoir),* entre otros.
5. Una vez definidos los elementos a usar en la cuenca se procede a conectar acorde al orden cada uno de ellos*: Click derecho sobre el elemento agregado → Connect downstream → Elegir el elemento que se conecta*
6. Introducir los datos de cada componente para que el programa sea capaz de realizar los cálculos necesarios.
7. Generar un modelo meteorológico para agregar los datos de precipitación de las lluvias de diseño*: Components → Time series data manager → New → Create*
8. Generar el control de especificaciones. *Components → Control specification Manager → New*
9. Crear la simulación *Compute →Create simulation run*, con el fin de elegir la combinación de los elementos para la simulación. Luego *Compute → Select run 1 → Run 1,* el programa correrá la simulación sin problemas.

En tan caso de no correr la simulación en la parte baja enuncia los errores cometidos, siendo corregibles. Una vez establecidos se procede a realizar otra simulación esperando que no se presenten errores (Soria , 2014)

3.1.6. Recursos

Con el fin de realizar la presente investigación y de llevar acabo un correcto manejo de los datos a levantar se realizó un listado de los materiales, herramienta o recursos necesarios.

Tabla 3–1: Recursos para la toma de datos.

RECURSOS	
Computador	GPS essencials
Libreta de campo	Lápiz
Flexómetro	Botas
Cinta métrica/metro	Cámara

Realizado por: Los autores

4 CAPÍTULO IV

4.1.Resultados

4.1.2. Características de la cuenca

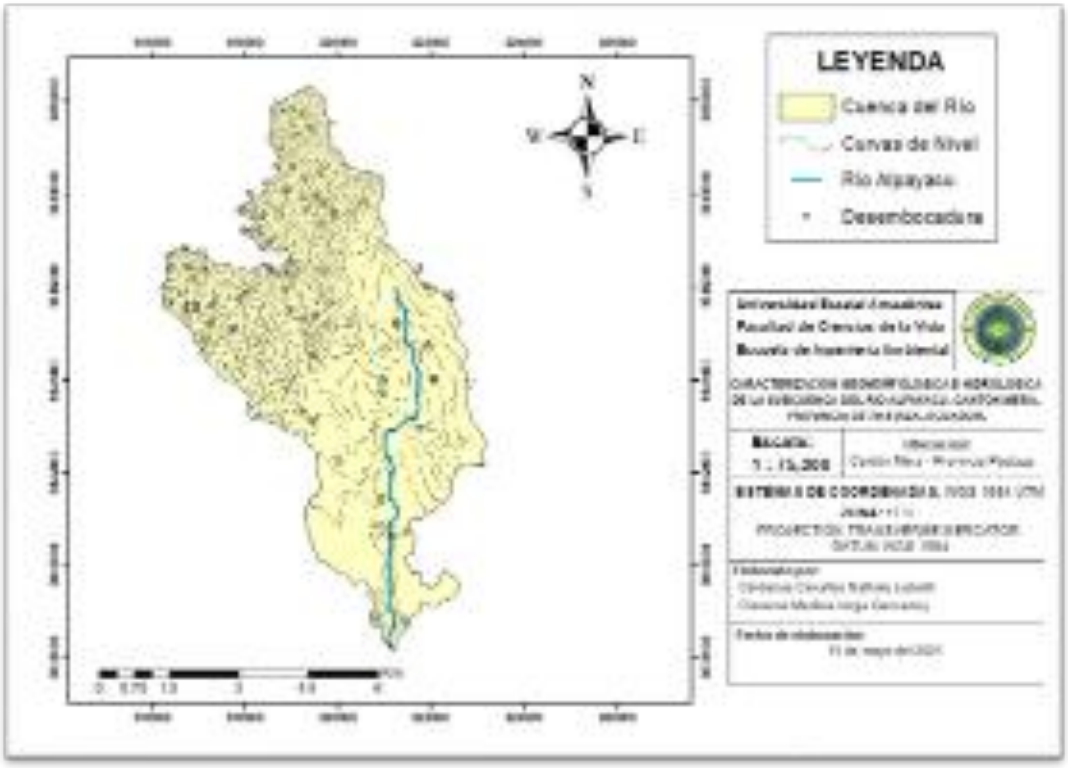


Figura 4-1: Subcuenca del río Alpayacu
Fuente: ArcMap 10.5
Elaborado por: Los autores

Se determinó el área y el perímetro de la microcuenca siendo estos 37.08 km^2 y 39.78 km respectivamente **(Tabla 1).** Referente a estos valores y de acuerdo con la clasificación de Chow, Maidment, & Mays (1994), la microcuenca de Alpayacu se encuentra dentro del rango de 25 a 250 km^2 lo que define a esta como una cuenca pequeña **(Anexo 1).**

Para la microcuenca la longitud de cauce es de 8.96 km. Su cota máxima se encuentra a 1350 msnm y la mínima a 1050 msnm **(Tabla 1)**. También se determinó que posee una pendiente suave de acuerdo con la clasificación de Ibal (2009).

Además, se pudo determinar a través de la fórmula de Kirpich el tiempo de concentración que determina que en el momento de que la precipitación se presente en la naciente, el agua tardará en llegar hasta el punto de la desembocadura 1hora

14 minutos. Por último, se calculó el coeficiente de compacidad que de acuerdo con su valor de 1.83 y la clasificación se muestra que la microcuenca tiene una forma rectangular, según Gaspari et al., (2012) **(Tabla 1)**

Tabla 4–1: Características de la Cuenca

MAGNITUD/MEDIDA	CANT.	UNI.
Área	37,08	km^2
Perímetro	39,78	km
Longitud de Cauce	8,96	km
Distancia Lineal	7725,93	m
Altitud de la naciente	1350	$m$snm
Altitud de la desembocadura	1050	$m$snm
Pendiente	5%	
Tiempo de Concentración	1,14	$horas$
Coeficiente de compacidad	1,83	

Elaborado por: *Los autores*

4.1.3. Infiltración

Con los resultados de la prueba del Cilindro Infiltrómetro se pudo finalmente determinar que el suelo es de categoría III de los dos lados del río, además con los datos de espesor de humus y hojarasca se establece un número de curva (NC) 26 **(Anexo 2)** y un Umbral de escorrentía (Po) de 61.87 para los dos márgenes. **(Tabla 2)**

Tabla 4–2: Prueba de Infiltración del margen derecho e izquierdo

MARGEN	*IZQUIERDO*		*DERECHO*	
PRUEBA	*Superficial*	*Profunda*	*Superficial*	*Profunda*
Fo (cm/min)	*0*	*0.3960*	*0.4665*	*0.1983*
Velocidad de Infiltración H1	*0*	*0.40*	*0.47*	*0.20*
Fc	*0.051*	*0.168*	*0.078*	*0.093*
F	*3.67*	*100.67*	*46.67*	*55.67*
Categoría del Suelo	III	III	III	III
Espesor de Hojarasca (cm)	2	2	5	5
Espesor de Humus (cm)	6	6	9	9
Número de Curva (II)	26	26	26	26
Lluvia acumulada 5 días previos	50.4	50.4	50.4	50.4
Numero de Curva (III)	44.69	44.69	44.7	44.7
Umbral de Escorrentía	61.87	61.87	61.87	61.87

Elaborado por: Los autores.

4.1.4. Medición de caudales

Para determinar los perfiles de entrada y salida se realizó la batimetría en dos puntos de monitoreo **(Tabla 3 y Tabla 4),** a través de los datos de profundidad tomados cada metro de extremo a extremo **(Anexo 4, 5, 6 y 7)**, la pendiente de estos puntos fue de ***5%***, y con la medición de 15 piedras se obtuvo un promedio total de ***0.32*** y en función a la fórmula de Manning el coeficiente de rugosidad es de 0,041**.** Para el cálculo de la velocidad se utilizó los parámetros ya mencionados y posteriormente se calculó el caudal según el método de área-velocidad. **(Tabla 5)**

Perfil de Entrada

Tabla 4–3: Perfil de entrada del río Alpayacu

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12.5
-0.37	-0.71	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	-0.67	-0.69	-0.58	-0.45	-0.32	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Elaborado por: Los autores

Perfil de Salida

Tabla 4–4: Perfil de salida del río Alpayacu

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13,3	19,1
0.27	0.31	0.77	0.60	0.69	0.52	0.47	0.58	0.92	0.44	0.42	0.62	0.30	0.28	-0.24	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Elaborado por: Los autores

Tabla 4–5: Calculo de los Caudales

COTA	ENTRADA		SALIDA		Área Promedio	Perímetro Promedio	Radio Hidráulico	Pendiente	C. de Rugosidad	Velocidad	Caudal
	área	perímetro	área	perímetro							
0.1	13.99	18.96	8.67	26.33	11.33	22.65	0.50035944	**0.05**	0.0412505	0.82231062	9.31779134
0.2	15.08	19.26	10.23	25.86	12.65	22.56	0.56084034	**0.05**	0.0412505	0.92170734	9.43044861
0.3	16.16	19.40	11.83	25.61	14.00	22.51	0.62185161	**0.05**	0.0412505	1.02197569	12.0889504
0.4	17.28	19.62	13.42	25.68	15.35	22.65	0.67755682	**0.05**	0.0412505	1.11352385	14.9395927
0.05	13.46	18.93	7.90	26.83	10.68	22.88	0.46682193	**0.05**	0.0412505	0.76719374	6.06102232
0.01	13.04	19.12	7.30	27.03	10.17	23.07	0.44090585	**0.05**	0.0412505	0.72460222	5.29267576
0.015	13.09	19.02	7.38	27.33	10.24	23.17	0.44167738	**0.05**	0.0412505	0.72587019	5.35392775
0.02	13.15	19.12	7.45	27.43	10.30	23.27	0.44242344	**0.05**	0.0412505	0.72709628	5.41541312
0.025	13.20	19.27	7.52	27.73	10.36	23.50	0.44071868	**0.05**	0.0412505	0.72429463	5.44461326

Elaborado por: Los autores

4.1.5. Gasto Base

Para el punto de monitoreo se puede observar que el gasto base mínimo y máximo se presentan en noviembre con 5,29 $m^3/_s$ y 14,94 $m^3/_s$ respectivamente.

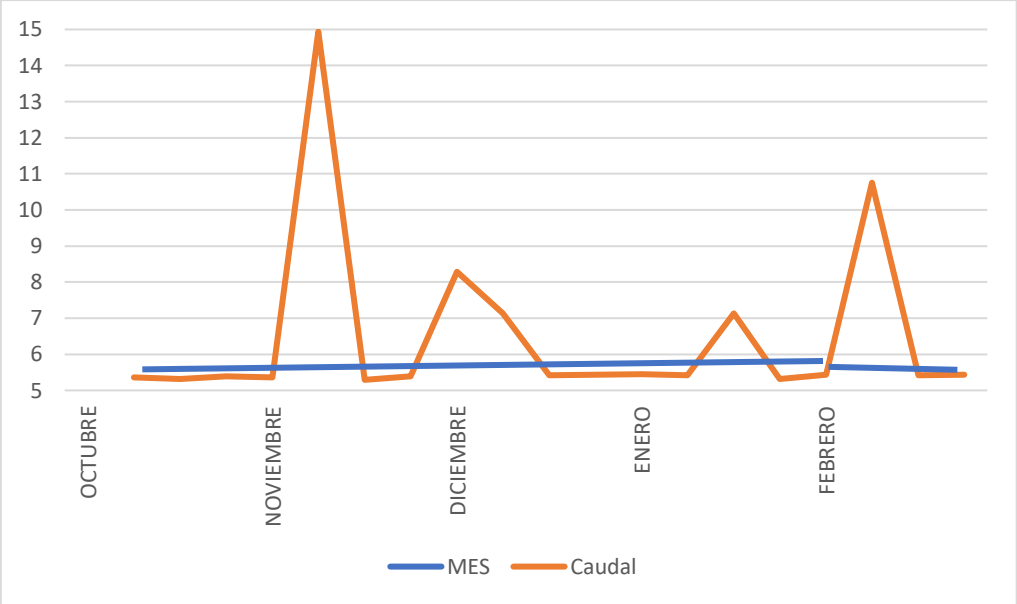


Figura 4-2: Gasto base mensual en el río Alpayacu
Elaborado por: Los autores

4.1.6. Cálculos de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia

Para la obtención de las curvas IDF se tomaron los datos de precipitación de la estación meteorológica Pindo Mirador en el periodo 2014-2018, en donde se ocupó el método de GUMBEL para determinar las precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno Y en función de ellos se realizó el grafico de curvas IDF para el cantón de Mera **(Figura 4**)

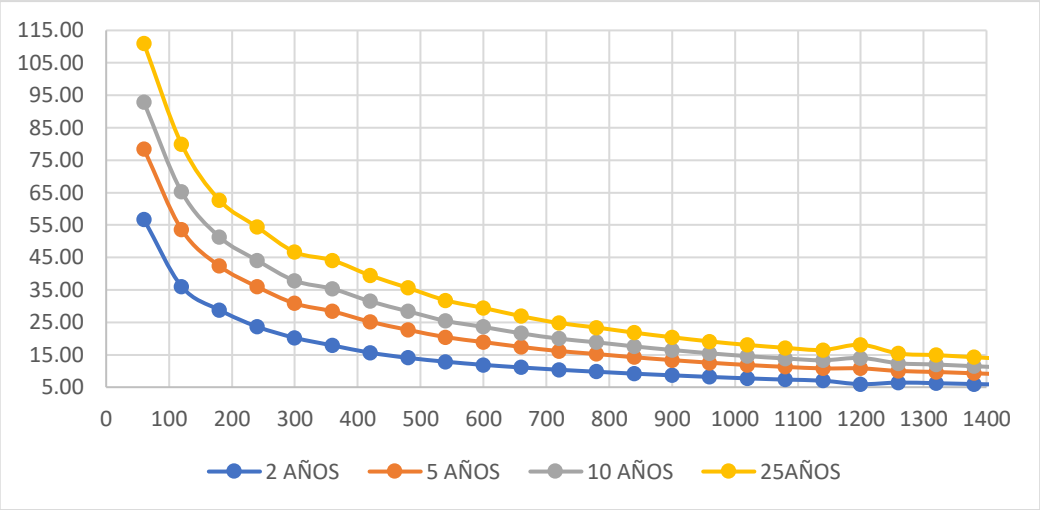


Figura 4-3: Curvas IDF

Fuente: Estación meteorológica Pindo Mirador (GASPPz)

Elaborado por: Los autores

4.1.7. Distribución de precipitación

Para la distribución de la precipitación en la lluvia de diseño se calculó la altura de la lámina de lluvia en función del tiempo y de la intensidad de precipitación, en la misma se puede observar que a medida que tenemos un mayor periodo de retorno se prevee tener mayores intensidades de lluvia, donde la mayor intensidad se reportará en todos los años en la hora 13. **(Figura 5).**

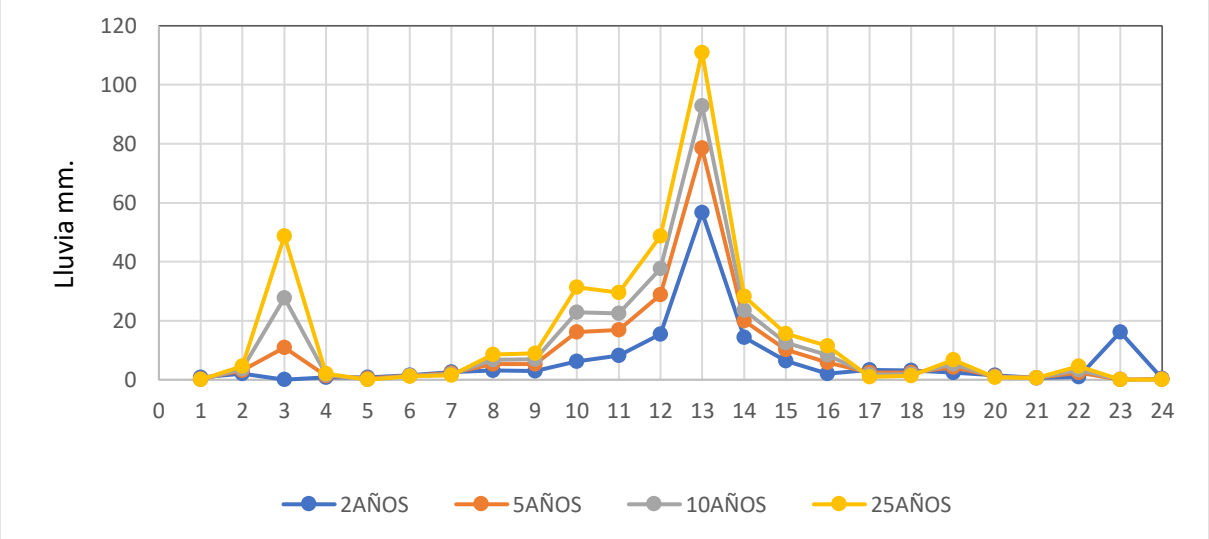


Figura 4-4: Lluvia de diseño para el río Alpayacu

Fuente: Estación meteorológica Pindo Mirador (GASPPz)

Elaborado por: Los autores

4.1.8. Modelamiento del hydrologic engineering center-hydrologic modeling system (hec-hms)

Para realizar el modelamiento hidrológico de la microcuenca del río Alpayacu se utilizó el programa Hidrologic Engineering Center-Hidrologic Modeling System (HEC-HMS), para ello se ingresaron los datos de parámetros como el área de 77,08 km^2, numero de curva de 26, la pendiente 5%, gasto base de 5 y un tiempo de concentración de 1.14 horas. Además, se ingresó los valores de la lluvia de proyecto y se generó la simulación para cada periodo de retorno (2, 5, 10 y 25 años).

En la hora 13 se presentan los mayores caudales para los distintos periodos retorno, siendo estos; 56.76 mm para los 2 años, 78.47 para los 5 años, 92.84 en 10 años y 110.99 para el año 25. En función a estos caudales se puede establecer con la ayuda del Hec – Ras las zonas con riesgo de inundación donde se puede sugerir no realizar construcciones en esta zona.

Del programa de modelamiento se sacó como resultado el tiempo, la precipitación y el caudal total de los cuatro periodos de retorno y sus gráficas correspondientes **(Tabla 6)**

Tabla 4–6: Resultados de la precipitación y caudal del río Alpayacu para los distintos periodos de retorno

	2 años		5 años		10 años		25 años	
	Precipitación (mm)	Caudal (m^3/s)	Precipitación (mm)	Caudal (m^3/s)	Precipitación (mm)	Caudal (m^3/s)	Precipitación (mm)	Caudal (m^3/s)
1:00		5		5		5		5
2:00	2.1	5.2	3.07	5.2	3.72	5.3	4.53	5.3
3:00	0	5	10.95	5.9	27.66	7.2	48.77	8.8
4:00	0.78	5.1	1.3	5.3	1.65	5.7	2.09	6.2
5:00	0.81	5.1	0.39	5.1	0.12	5.2	0	5.3
6:00	1.44	5.1	1.32	5.1	1.25	5.1	1.15	5.1
7:00	2.58	5.2	2.18	5.2	1.91	5.2	1.58	5.1
8:00	3.13	5.3	5.29	5.5	6.73	5.6	8.54	5.7
9:00	2.97	5.3	5.32	5.5	6.88	5.7	8.84	5.9
10:00	6.12	5.5	16.23	6.4	22.91	6.9	31.36	7.6
11:00	8.25	5.8	16.8	6.7	22.45	7.2	29.6	8
12:00	15.34	6.4	28.73	7.6	37.59	8.5	48.79	25.9
13:00	56.76	9.7	78.47	18.3	92.84	75	110.99	202.1
14:00	14.34	7.4	19.9	23.9	23.58	64.7	28.23	134.2
15:00	6.44	6.1	10.14	20.5	12.59	44.7	15.69	81.7
16:00	2.12	5.4	5.87	15.8	8.35	32.4	11.48	58.5
17:00	3.35	5.3	2.38	10.6	1.74	15.5	0.92	20.8
18:00	3.1	5.3	2.4	9.4	1.94	11.5	1.36	12.4
19:00	2.4	5.3	4.12	11.6	5.26	18.3	6.69	27.6
20:00	1.49	5.2	1.17	8.3	0.96	10.7	0.7	13.3
21:00	0.6	5.1	0.62	6.6	0.64	7.8	0.66	8.9
22:00	0.89	5.1	2.33	8.7	3.29	13.3	4.49	20.3
23:00	16.18	6.7	0	6	0	7.2	0	9.2

Elaborado por: Los autores

.

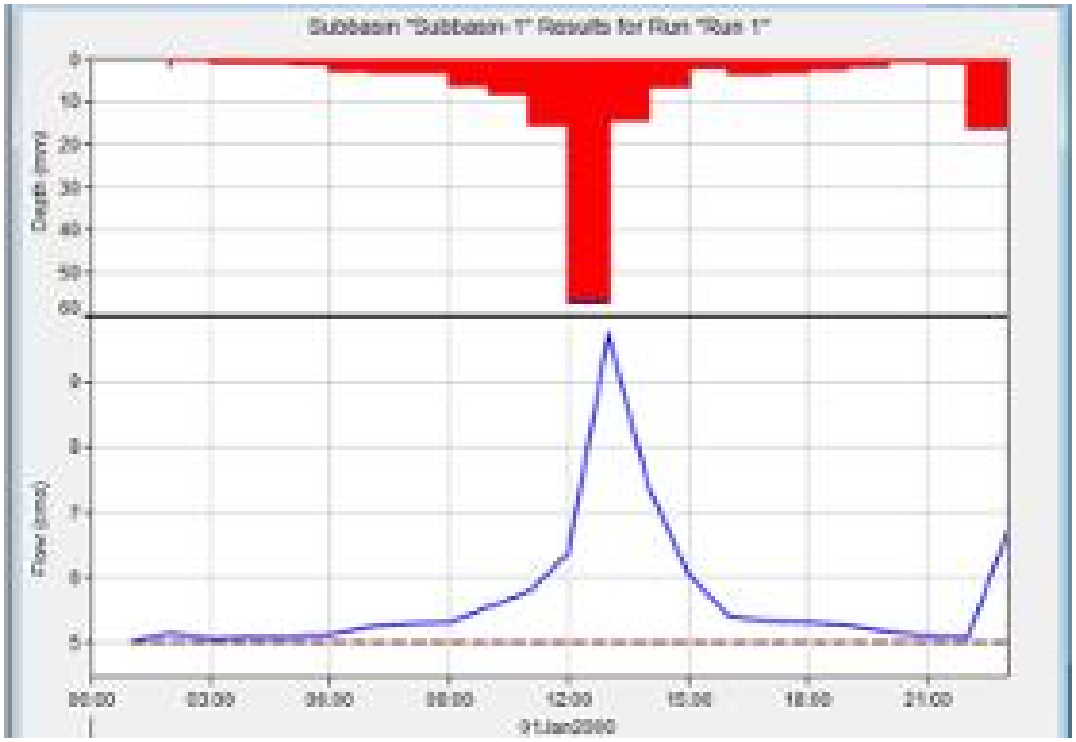


Figura 4-5: Hietograma de la sub-cuenca para a 2 años
Elaborado por: Los autores

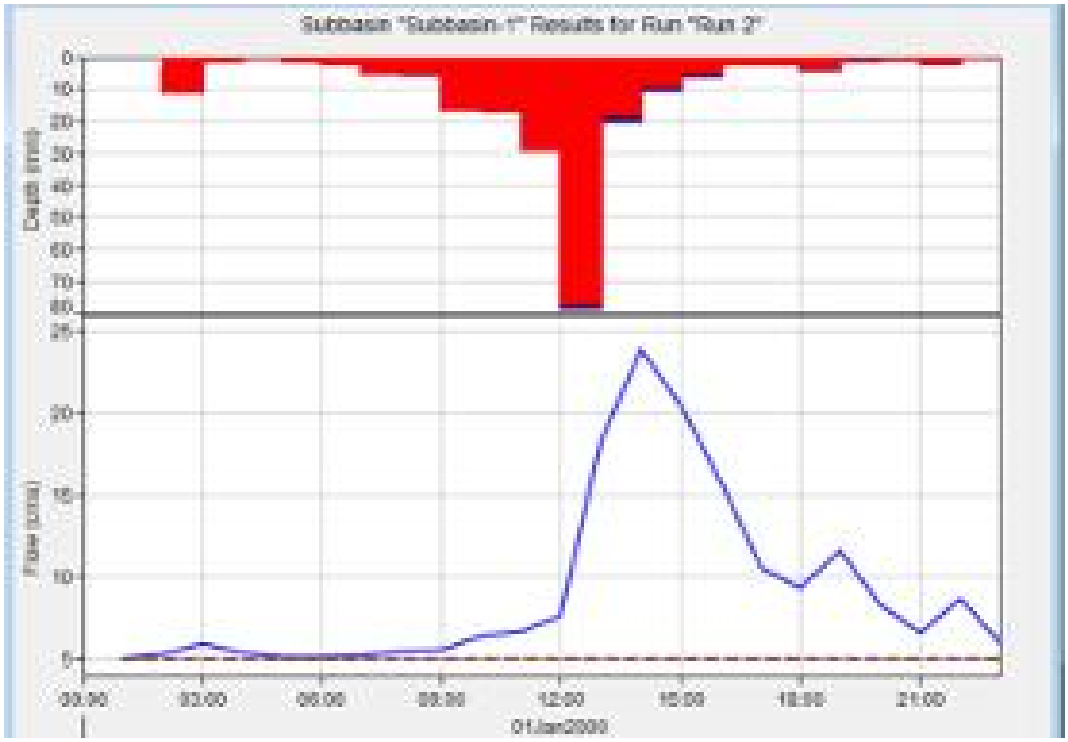


Figura 4-6: Hietograma de la sub-cuenca para 5 años
Elaborado por: Los autores

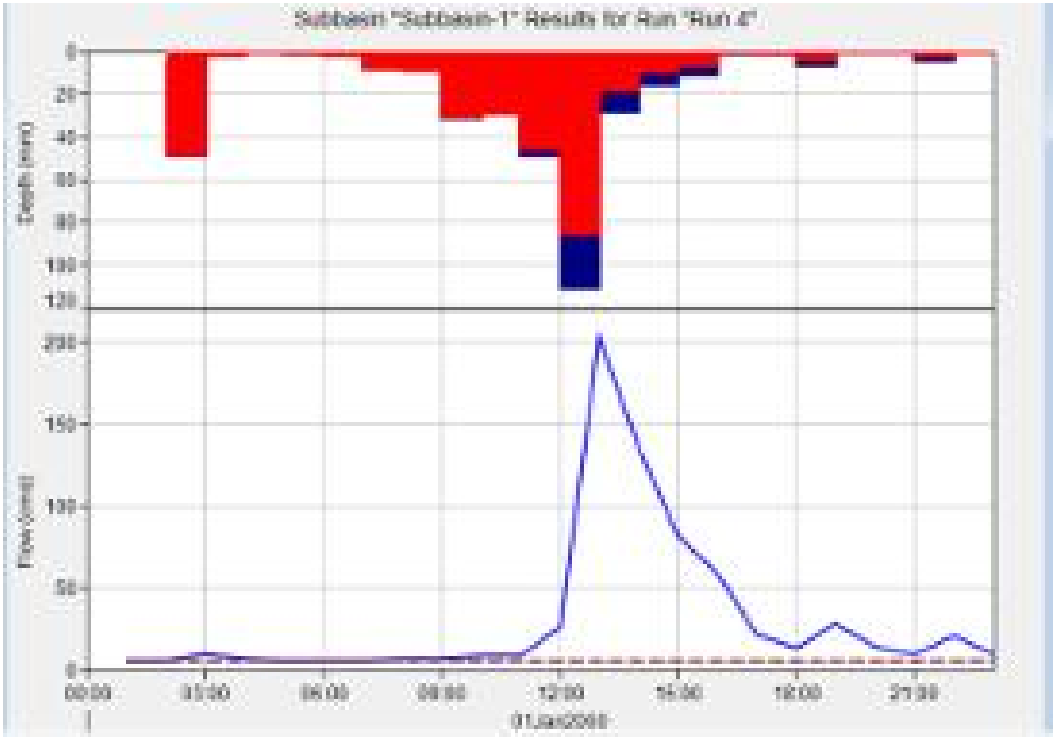


Figura 4-8: Hietograma para la sub-cuenca para 10 años
Elaborado por: Los autores

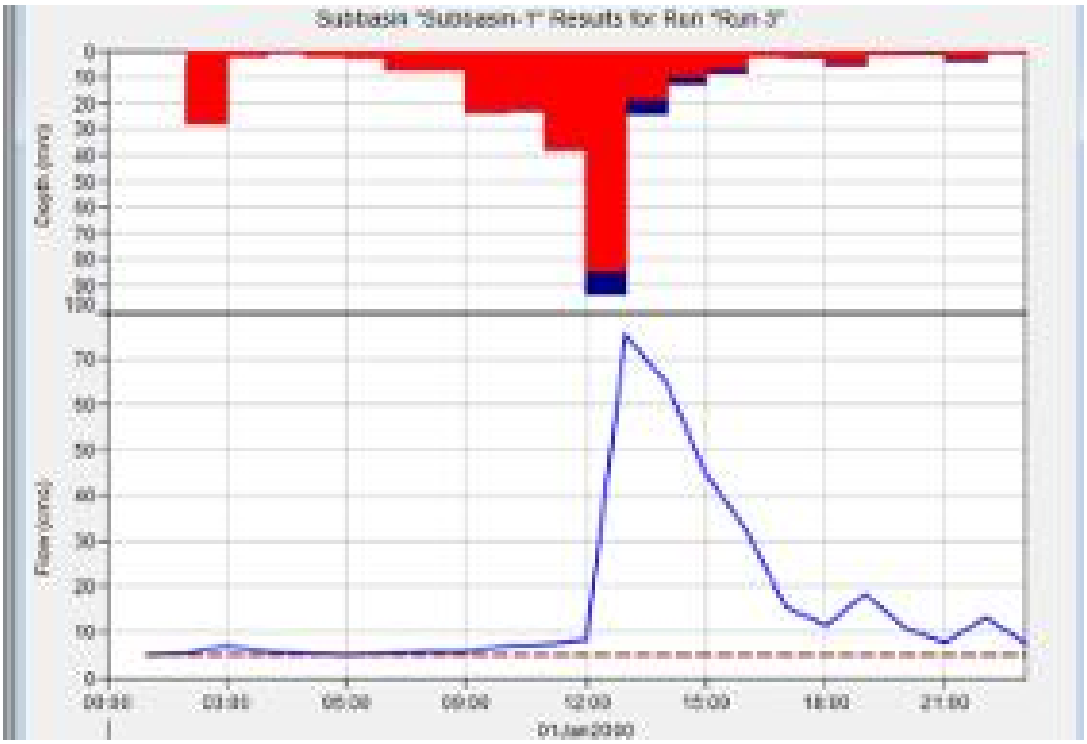


Figura 4-7: Hietograma de la sub-cuenca para 25 años
Elaborado por: Los autores

4.1.9 Modelamiento Hydrological Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS)

A través del modelamiento se estableció las zonas de inundación con los datos proporcionados por las herramientas y Hec-Ras **(Figura 10)**, por último, se realizó los polígonos en el software Google Earth **(Figura 11)** con el fin de presentar una imagen satelital más real sobre las posibles zonas de inundación. Para el periodo de retorno de 10 años se establece un área de inundación de 16.4 ha y para el periodo de retorno de 25 año su área de inundación es de 17.9 ha

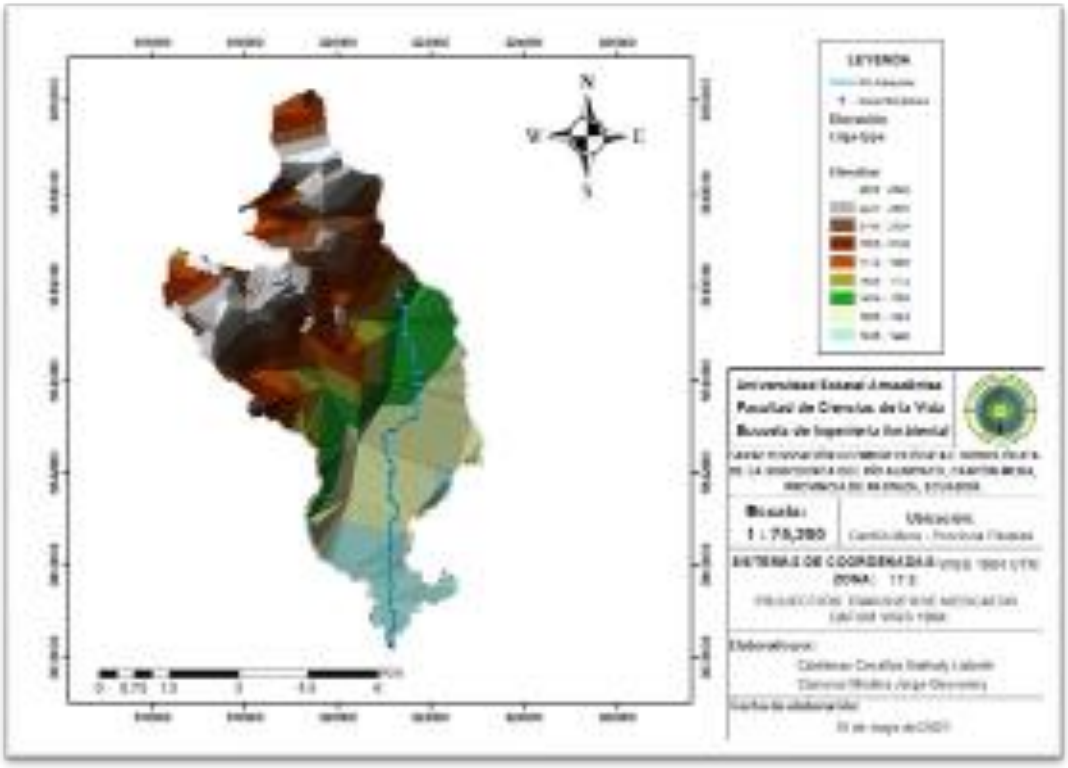


Figura 4-9: Mapa de modelamiento hidrológico para el río Alpayacu (HEC - HMS)
Fuente: ArcMap 10.5
Elaborado por: Los Autores

El programa HEC-RAS arrojo un modelamiento sobre el mapa ya antes planteado, mostrando que el área propensa a posibles inundaciones es la zona más baja de la cuenca, la misma que tiene una altura de entre 1062 a 1233.9 msnm.

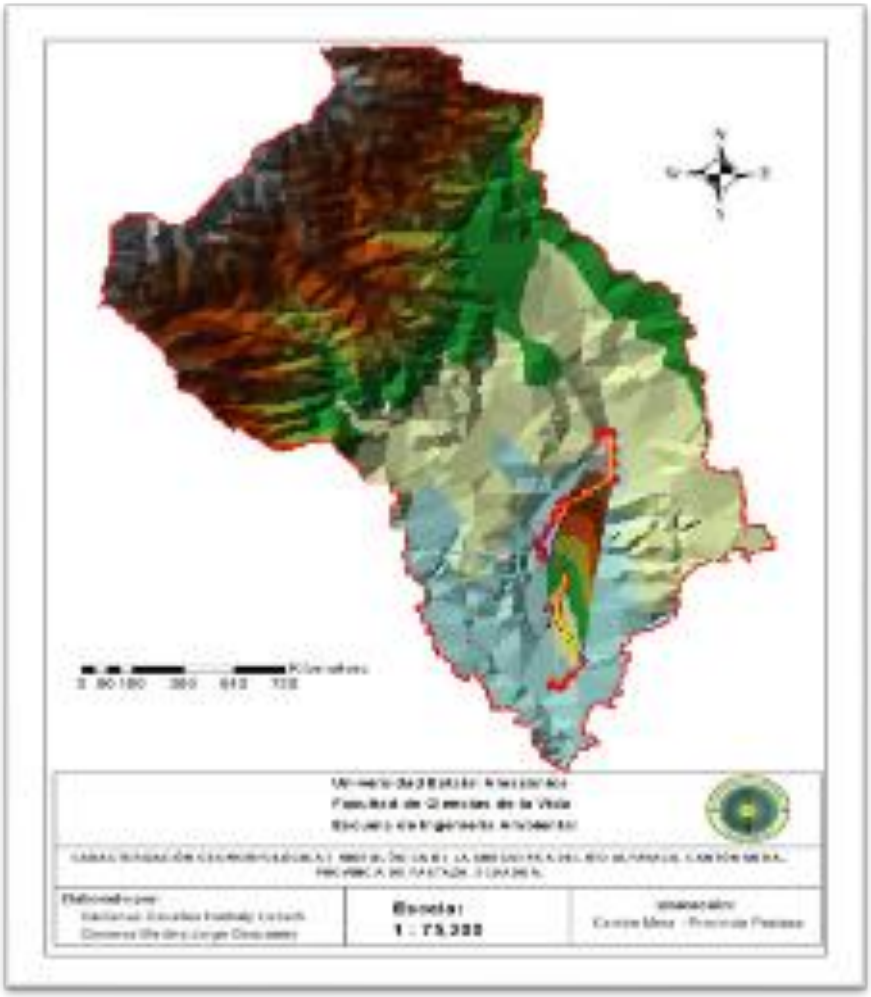


Figura 4-10: *Identificación de la zona de inundación de la Sub-cuenca del río Alpayacu*
Fuente: ArcMap 10.5
Elaborado por: Los autores

A través del modelamiento hidrológico se establece que no existen comunidades ni barrios que se encuentren en peligro de inundación, sin embargo, existen dos viviendas que se encuentran a una distancia de 35 metros de la zona **(Ver Anexos 10 y 11).**



Figura 4-11: *Vista satelital de la zona de inundación del río Alpayacu*
Elaborado por: *Los autores*

5 CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La microcuenca del río Apayacu se denomina pequeña, con un área de 37.08 km y un perímetro de 39.78. Tomando en cuenta el tiempo de concentración se puede determinar que al presentarse precipitaciones muy altas en la naciente del río tardará 1.14 minutos en reflejarse en la desembocadura.
- Para la cuenca estudiada se estableció a un tipo de cobertura vegetal boscosa con número de curva de 26, tomando en cuenta que las precipitaciones en la zona son muy contrastantes y regularmente fuertes, existen meses en los que sus precipitaciones aumentan, siendo este (noviembre con 14.94 cm). Y reflejando que el mes de mayor gasto base es noviembre con (noviembre con 5.29). Se puede apreciar que en el mismo mes se encuentra la mayor y menor precipitación, esto varía depende el periodo de toma de datos debido a que las precipitaciones son variantes.
- En el modelamiento del caudal de avenida a través del programa del HEC HMS, se puede observar los aportes y perdidas de la cuenca, a través del gasto base, tiempo de concentración y lluvia de diseño se generó la simulación para cuatro periodos de retorno (2, 5, 10 y 25años), lo que arrojó el caudal máximo para cada uno de estos periodos, siendo; 9.7, 23.9, 64.7 y 202.1 respectivamente.
- En función a la zona de inundación se sugiere a las autoridades del GAD cantonal determinarla como una zona de protección, en donde no se puede realizar construcciones.

Recomendaciones

- Se recomienda considerar el estudio planteado, para un futuro proyecto de construcción, debido a que cerca de la zona estudiada se encuentran fincas y balnearios turísticos, que ante fuertes precipitaciones se pueden ver afectadas.
- Realizar estudios periódicos con el fin de mantener actualizados los datos de crecimiento del cauce y asentamientos cercanos, nuevos centros turísticos que nacieron a partir de la Pandemia como fuentes económicas.
- Dentro del proceso de elaboración se recomienda realizar la toma de datos de infiltración tomando en cuenta que sus días anteriores no haya presencia de precipitaciones, para así evitar la saturación del suelo y tomar datos más reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angulo, M., & Saavedra , O. (2018). MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA MAYLANCO UTILIZANDO HEC-HMS. Investigación y Desarrollo, 56.

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

Bentacoe, L., Silveira , L., & García , M. (2014). Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *Revista de Agrociencia de Uruguay*, 107.

Bouyoucos, G. S. (1936). Directions for making mechanical analysis. En G. S. Bouyoucos, *Directions for making mechanical analysis* (págs. 225-228). Soil Sci 4.

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

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

Córdova , M. (30 de 04 de 2016). *PRONTUBCAM*. Obtenido de Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas: https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26

Días , Á., & Mercado, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y Desarrollo*, 254.

Diaz Carvajal , Á., & Mercado Fernández , T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG). *Ingeniería y Desarrollo*, 453.

Fernández et al. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. *Scielo, 38*(1). Recuperado el 25 de 10 de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100002#:~:text=En%20hidr%C3%A1ulica%20uno%20de%20los,el%20coeficiente%20que%20refleja%20la

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 147-148.

García , L., & Schalatter , J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias (Agraria)*, 456-457.

García Cruzatty, L., & Schlatter Vollmann, J. E. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 7*(3), 457. doi:DOI:10.5039/agraria.v7i3a173

Guachamín , W., García , F., Arteaga , M., & Cadena , J. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación.* Quito: INAMHI.

Gutiérrez Lozano , J., Vargas Tristán , V., Romero Rodríguez , M., Placido de la Cruz , J. M., Aguirre Bortoni, M. d., & Silva Espinoza , H. T. (2011). Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 26.

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

Lefévre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese , L. (2017). *Carbono ogánico del suelo el potencial oculto.* Roma: Alianza Mundial por el Suelo.

Martinez , J. (26 de mayo de 2017). *HEC - RAS*. Obtenido de Preguntas y respuestas frecuentes de HEC RAS: https://www.tecpa.es/hecras-preguntas-respuestas/#:~:text=HEC%2DRAS%20es%20una%20herramienta,de%20inundabilidad%2C%20y%20modelizacion%20cauces.

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

Montalar , E. (29 de octubre de 2012). *Blog de geotecnia, ingeniería y opinión* . Obtenido de Enrique Montalar en Ingeniería: https://enriquemontalar.com/que-es-el-periodo-de-retorno-probabilidad/

Mora & Ávila. (2019). *Afectación del Coeficiente de Rugosidad para la ecuación de Manning con el envejecimiento de tuberías de diferentes materiales.* Universidad Católica de Colombia, Ingeniería Civil, Bogotá. Recuperado el 26 de 10 de 2020, de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24231/1/TG.%20AFECTACI%C3%93N%20DEL%20COEFICIENTE%20DE%20RUGOSIDAD.pdf

Naciones Unidas. (03 de enero de 2020). *Noticias ONU*. Obtenido de Mirada global Historias humanas: https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501

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

Pizarro , R., Balocchi , F., Andrade , F., Sangüesa , C., Vargas , J., Valdés , R., . . . Fuentes , R. (2013). ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES HIDROGRAMAS UNITARIOS SINTÉTICOS EN DOS CUENCAS MEDITERRÁNEAS DE CHILE, REGIÓN DEL MAULE. *Revista RCHSCFA*, 10.

Pizarro , R., Flores , J., Sangüesa, C., & Martinez , E. (1982). Curvas Intensidad Duración Frecuencia. En Wenzel, *SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA.* (pág. 4). http://ctha.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf.

Rojo, J. (2012). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.* Guatemala: Universidad USAC. Obtenido de Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.

Soria , F. (2014). *Guía para el uso y manejo del HEC HMS.* Bolivia: ResearchGate.

Témez , J. (1987). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales.* Madrid: Dirección General de Carreteras.

UICN. (2008). *Cuenca Hidrográfica.* México: UINC/ORMACC.

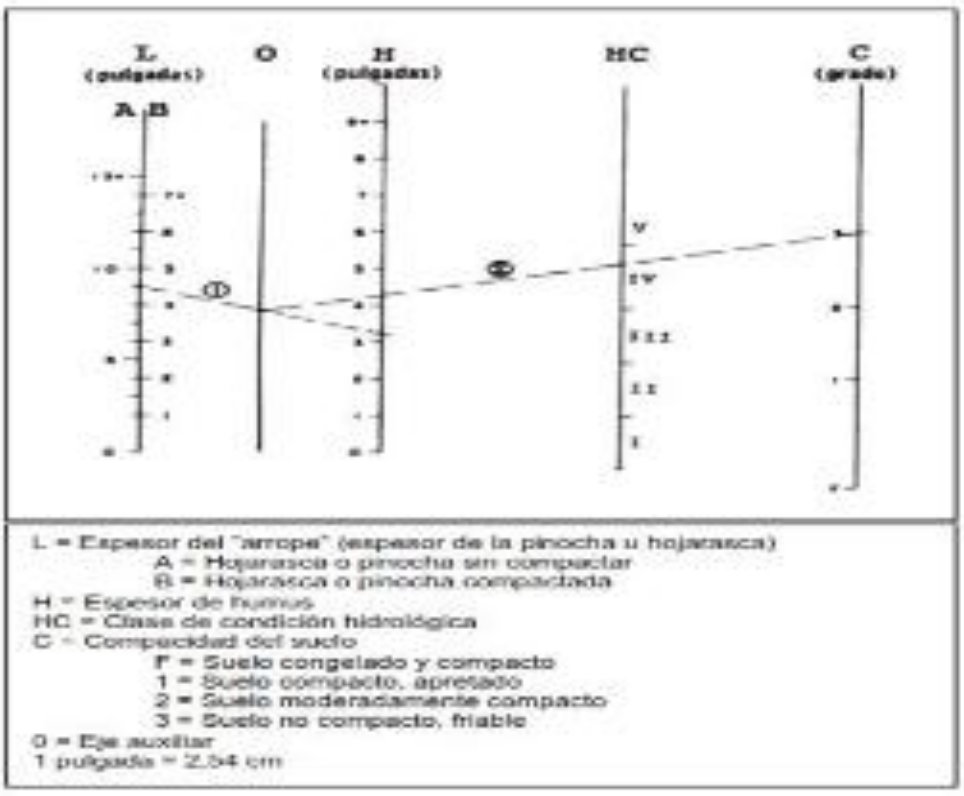
Weber, J. (2015). *Una comparacion entre los metodod de doble anillo y del simulador de lluvia en la medicion de la capacidad de la capacidad de infiltracion*.

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

ANEXOS

Rangos de áreas (km^2)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Anexo 1: Clasificación de la Cuenca según su área

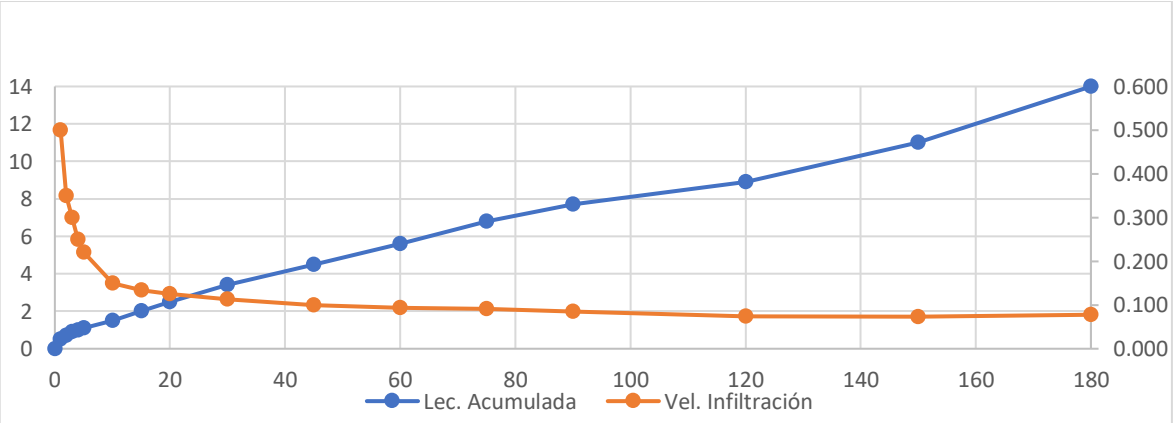


Anexo 2:Nonograma para la determinación de la condición hidrológica del bosque

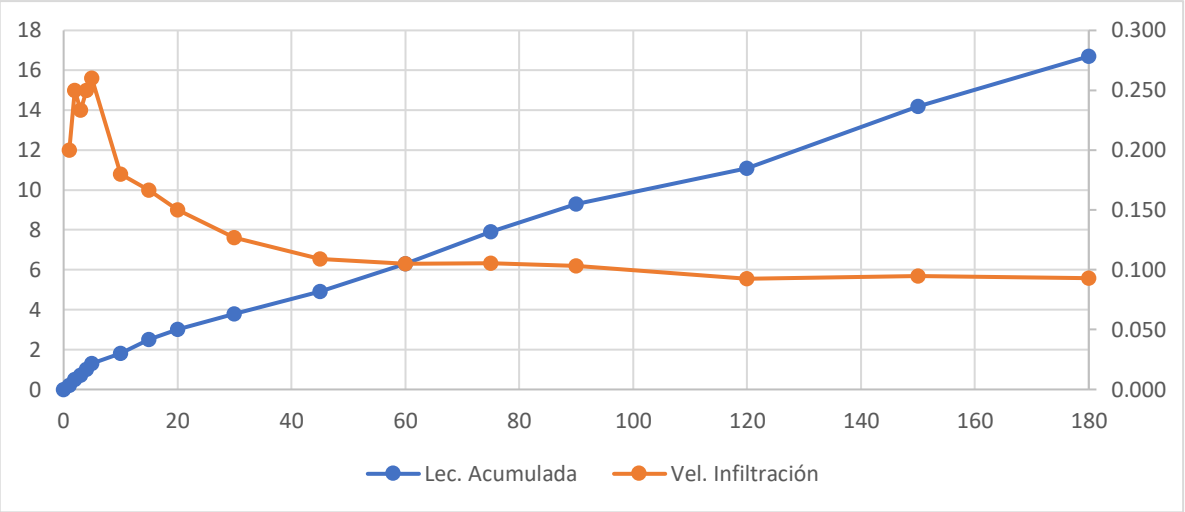
TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	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 en 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	83
	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 praderas en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenos	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenos	6	35	70	79
Pastos permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral/arbustal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenos	<30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenos	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenos	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	62	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Desiertos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

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

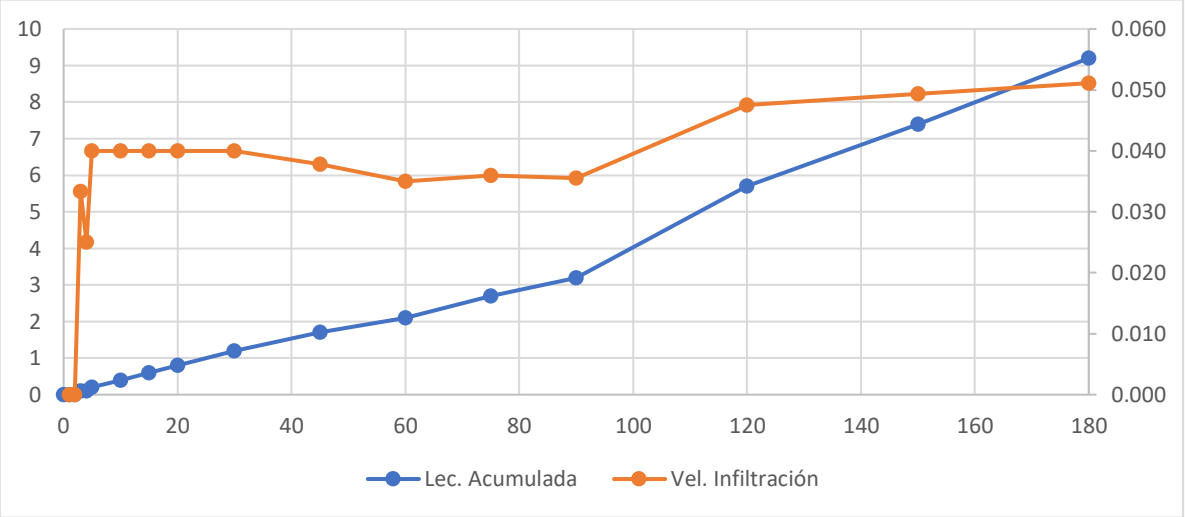
Anexo 3: Valores para la determinación de número de curva en condición II



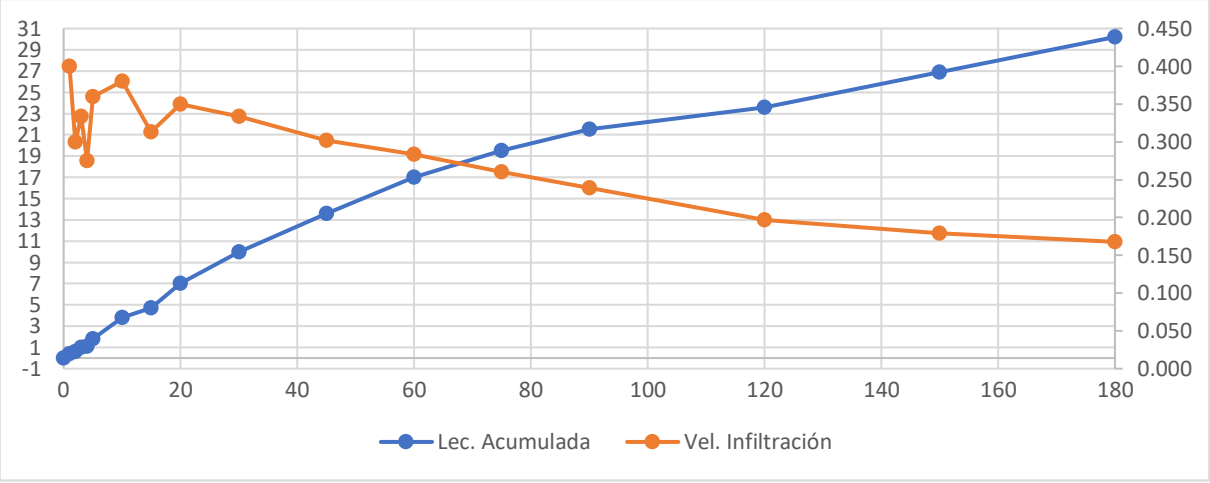
Anexo 4: Infiltración superficial del margen derecho



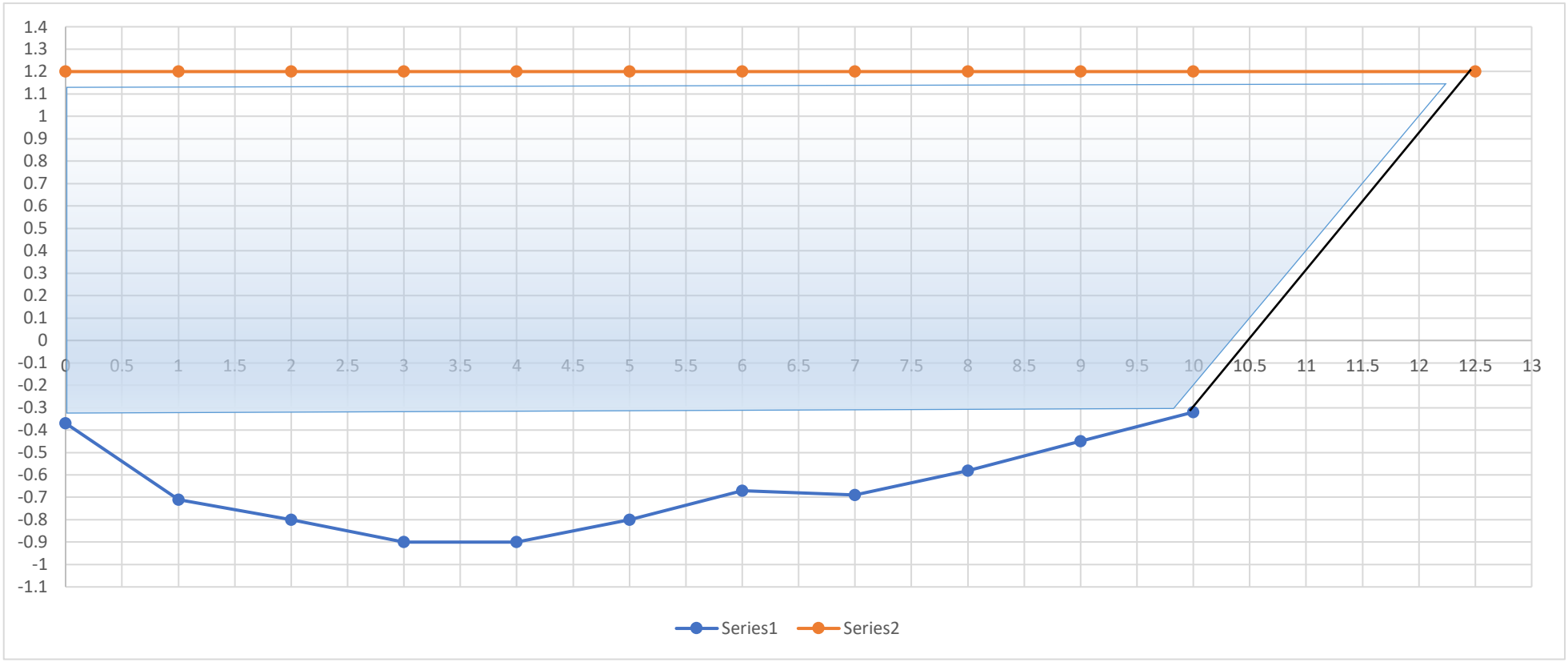
Anexo 5: Infiltración profunda del margen derecho



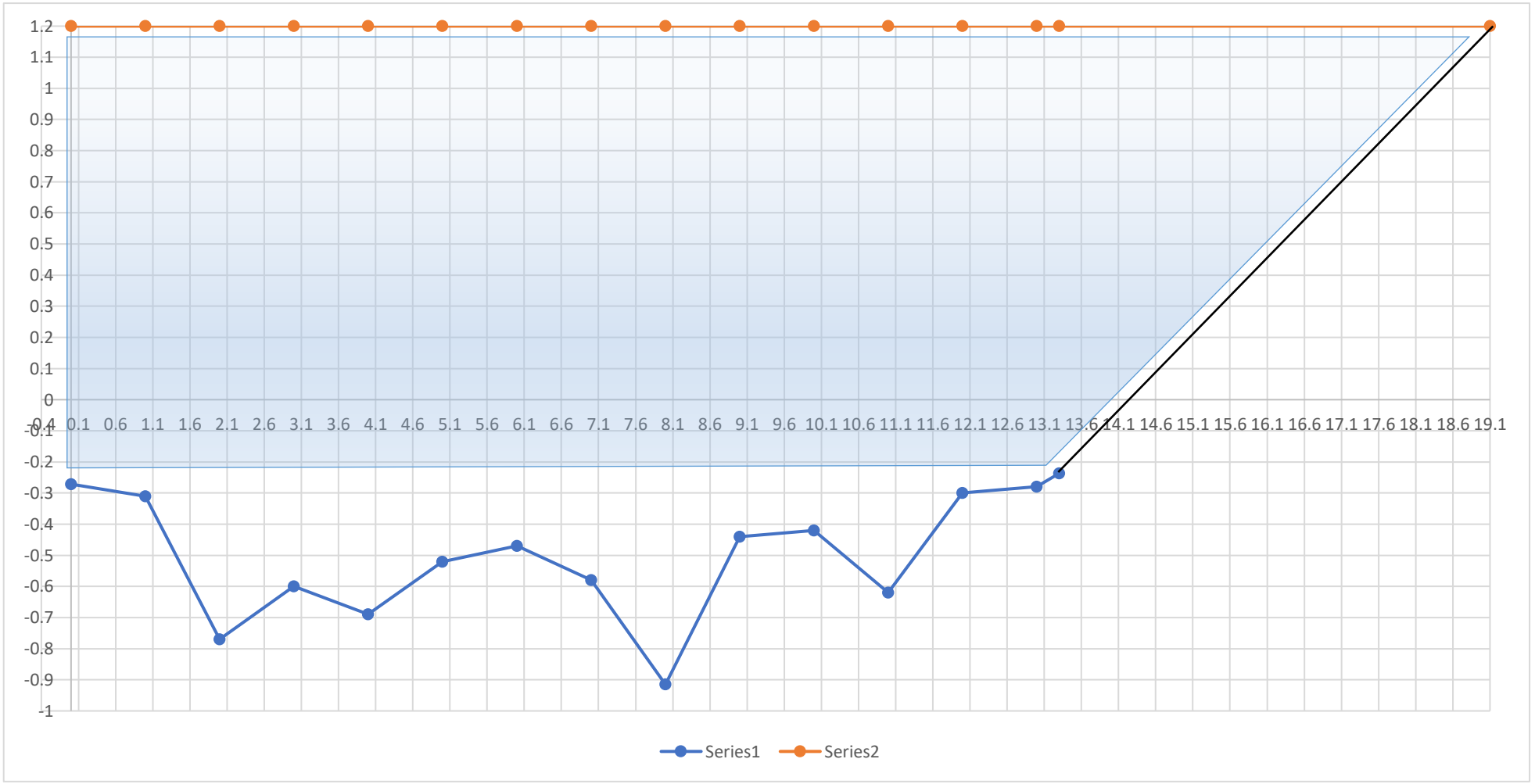
Anexo 6: Infiltración Superficial del margen izquierdo



Anexo 7: Infiltración profunda del margen izquierdo



Anexo 8: Perfil de entrada del río Alpayacu



Anexo 9: Perfil de salida del río Alpayacu



Anexo 10: Zona de inundación del río Alpayacu (polígono 1y2)



Anexo 11: Zona de inundación del río Alpayacu (polígono 3 y 4)