

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO A OBTENER: INGENIERO AMBIENTAL

**TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS
GEOMORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PAMBAY PARA
DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES
MEDIANTE EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO**

AUTORES:

JENNIFER LEANDRA HUATATOCA CHIMBO,

WILMER OCTAVIO CHANALUISA CHILQUINGA

DIRECTOR DEL PROYECTO: RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

PUYO - ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, CHANALUISA CHILQUINGA WILMER OCTAVIO, con cédula de identidad 0503780199, HUATATOCA CHIMBO JENNIFER LEANDRA, con cedula de identidad 1600606378 declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de Innovación titulado: **ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PAMBAY PARA DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO**, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

.....

HUATATOCA CHIMBO JENNIFER LENDRA

C.I. 1600606378

.....

CHANALUISA CHILQUINGA WILMER OCTAVIO

C.I. 0503780199

AUTORES

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, yo, RICARDO VICNICIO ABLIR SALTOS, DOCENTE de la Universidad Estatal Amazónica y tutor del proyecto de investigación “ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PAMBAY PARA DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO” certifico que el mismo fue desarrollado en su totalidad tanto en la fase de campo como la redacción final del documento por los alumnos/as: Jennifer Leandra Huatatocha Chimbo con C.I. 1600606378 y Wilmer Octavio Chanaluisa Chilibingua con C.I. 0503780199, el cual ya ha culminado en todas sus etapas, cumpliendo un total de 400 horas

Atentamente

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 036-SAU-UEA-2019

Puyo, 26 de junio de 2019

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados. HUATATOCA CHIMBO JENNIFER LEANDRA, con C.I. 1600606378, y CHANALUISA CHILQUINGA WILMER OCTAVIO con C.I. 0503780199 con el Tema: “ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DEL RÍO PAMBAY PARA DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO”, de ingeniería Ambiental, Director de proyecto MSc. Ricardo Abril, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 9 %, Informe generado con fecha 25 de junio de 2019 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

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

**EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN
CERTIFICA QUE:**

El presente proyecto de innovación titulado: **ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PAMBAY PARA DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO**, bajo la responsabilidad los estudiantes JENNIFER LEANDRA HUATATOCA CHIMBO, WILMER OCTAVIO CHANALUISA CHILQUINGA, ha sido meticulosamente revisada, autorizando su presentación:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

MS. Sc. María De Decker

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Edison Suntasig

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Simon Leib

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

REQUISITO PREVIO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

PROYECTO FINAL

TITULO: ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PAMBAY
PARA DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE
EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

NOMBRES

- ❖ Jennifer Leandra Huatatocha Chimbo
- ❖ Wilmer Octavio Chanaluisa Chiquinga

Tutor: MS. Sc. Ricardo Vinicio Abril Saltos

AGRADECIMIENTO 1

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la Universidad Estatal Amazónica en especial a la carrera de Ingeniería Ambiental por permitir convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, a cada maestro que hizo parte de este proceso de aprendizaje, sus conocimientos y enseñanzas ayudaron en mi formación académica

A mi tutor Dr. C. Ricardo Vinicio Abril Saltos quien gracias a sus conocimientos y experiencia profesional contribuyo al desarrollo y culminación del presente trabajo investigativo

Por último, agradezco a todos los que fueron mis compañeros y amigos de clase durante todos los niveles, ya que gracias a la amistad brindada y apoyo moral han aportado a mis ganas de seguir con mi carrera profesional

Huatatoca Chimbo Jennifer Leandra

DEDICATORIA 1

El presente trabajo de investigación va dedicado de manera especial a mis padres; Victoria Chimbo y Santiago Huatatoca quienes han sido mi motor para seguir adelante depositando toda su confianza y nunca dejaron de creer en mí, brindándome todo el apoyo necesario para cumplir mis metas trazadas a lo largo de la vida.

A mis hermanos: Santiago, Jervis y Leidy quienes han sido mi inspiración por su motivación constante y han estado presente haciendo posible la consecución de un objetivo.

A mis amigos y todas aquellas personas que de forma indirecta supieron darme su apoyo moral

Huatatoca Chimbo Jennifer Leandra

Agradecimiento 2

Primeramente, agradezco a Dios por cuidarme en el transcurso de la vida, brindándome paciencia y sabiduría

A mis padres Segundo y Charito por ser mi pilar fundamental en mi formación académica y haberme apoyado incondicionalmente cuando más lo necesitaba, gracias a sus palabras de aliento y motivación.

A mis hermanos en especial a Alex y Jovanny que siempre me brindaron su apoyo moral y económico y siempre estuvieron ahí conmigo para afrontar todos los problemas que se presentaron en la etapa como estudiante

A los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica los cuales contribuyeron con su sabiduría, conocimiento en mi formación profesional

Asimismo, agradezco a mi Director de Tesis, que gracias a la paciencia y conocimientos hoy puedo culminar este proyecto de investigación

Chanaluisa Chiliquina Wilmer Octavio

Dedicatoria 2

A Dios por cuidarme y guiar mi camino

Este proyecto de investigación va dedicado de una manera especial a mis padres que siempre buscaron lo mejor para mí, a la vez me siento muy feliz de tenerlos con vida el cual es el regalo más bonito y valioso que tengo

En general este proyecto va dedicado a toda mi familia los cuales me apoyaron de alguna u otra forma con palabras de aliento, motivación para que seguir adelante en mis estudios buscando siempre mi bienestar

Chanaluisa Chiliquina Wilmer Octavio

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

El presente proyecto de investigación se realizó en la subcuenca del río Pambay ubicado en el km 364 vía Puyo- Ambato E 45, la cual tiene un área de 8,34 km², un perímetro de 13,09 km y una longitud de cauce principal de 5,26 km la misma que tiene como objetivo de identificar y calcular las principales características geomorfológicas de la cuenca para ello se realizó un recorrido de toda la zona en la cual se tomaron puntos con el GPS en el área de estudio, y con la ayuda de las curvas de nivel en Google Earth se delimitó la zona de recarga hídrica mediante las cotas de elevación más alta, además se utilizó un modelo de elevación digital para identificar los ríos principales y secundarios que componen la cuenca hidrográfica. También se calculó las características físicas, biológicas e hidráulicas del suelo en tres tipos de cobertura vegetal, donde se realizó las pruebas de infiltración en la que se presentan los siguientes resultados: en el bosque se registró una velocidad de infiltración promedio de 0,082 cm/h, pastizal 0,11 cm/h, y mosaico 0,13cm/h. Asimismo, se determinó los caudales máximos de crecida en el mes de junio mediante el modelamiento hidrológico, donde se obtuvo como resultado que el caudal máximo registrado en ese periodo de precipitación fue de 20,9m³/s.

Palabras Clave: infiltración, pastizal, bosque, mosaico, geomorfológicas, zona de recarga hídrica

ABSTRACT, AND KEYWORDS

This research project was carried out in the Pambay River sub-basin located at km 364 via Puyo-Ambato E 45, which has an area of 8,34 km², a perimeter of 13,09 km and a main channel length of 5,26 km. It aims to identify and calculate the main geomorphological characteristics of the basin so that a tour can be made throughout the area and in which points were taken with the GPS in the study area, and with the help of the curves In the Google Earth level, the water recharge zone is delimited through the highest ascent levels, as well as the digital elevation model to identify the main and secondary rivers that make up the river basin. The physical, biological and hydraulic characteristics of the soil in the types of vegetation cover were also calculated, where the infiltration tests were carried out in which the following results are presented: an average infiltration rate of 0,082 cm / h is answered in the forest, pasture 0,11 cm / h, and mosaic 0,13cm / h. Likewise, the maximum flows of growth in the month of June were determined by means of the hydrological mode, where the maximum flow rate registered in that period of 20,9 m³ / s was obtained.

Keywords: infiltration, pasture, forest, mosaic, geomorphological, water recharge zone

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
CAPITULO II	3
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
2.1 Descripción de las unidades geomorfológicas.....	3
2.2 Geomorfología de las cuencas hidrográficas	3
2.3 Análisis morfométrico descriptivo de una cuenca	3
2.4 Caracterización de la cuenca hidrográfica	4
2.5 Geomorfología	4
2.6 Cuencas Hidrográficas	4
2.7 División de una cuenca hidrográfica.....	5
2.8 Clasificación de la cuenca hidrográfica	5
2.8.1 Por el destino final de sus escurrimientos	5
2.9 Partes de una cuenca hidrográfica.....	5
3. Zonas de recarga hídrica	6
3.1 Delimitación de una cuenca	6
3.1.1 Delimitación de una cuenca por método digital en ArcGIS	7
3.2 Características geomorfológicas de la cuenca	7
3.3 Parámetros de forma	7
3.3.1 Área de la Cuenca (A)	7
3.3.2 Perímetro de la cuenca (P).....	7

3.3.3 Longitud del cauce principal -----	7
3.3.4 Forma de la cuenca hidrográfica -----	7
3.3.5 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) -----	7
3.3.6 Factor de forma de la cuenca (Kf)-----	8
3.3.7 Relación de Elongación (Re)-----	8
3.3.9 Orden de ríos o corrientes de agua y sistema de drenaje-----	9
3.4 Relieve -----	9
3.5 Parámetros de relieve -----	9
3.5.1 Pendiente media del cauce principal -----	10
3.5.2 Curva hipsométrica -----	10
3.5.3 Pendiente de la cuenca -----	10
3.5.4 Pendiente media del cauce principal -----	11
3.6 Parámetros de red de drenaje-----	11
3.6.1 Tiempo de concentración -----	11
3.7 Suelo-----	11
3.7.1 Perfil del suelo -----	12
3.7.2 Horizontes del suelo-----	12
3.8.3 Clasificación de los horizontes del suelo. -----	12
3.9 Propiedades Físicas de los suelos -----	13
3.9.1 Textura del suelo-----	13
3.9.2 Densidad del suelo-----	13
3.9.3 Densidad aparente -----	14
4.1 Características biológicas de los suelos -----	14
4.1.1 Densidad de raíces finas -----	14
4.1.2 Altura de hojarasca -----	14
4.1.3 Altura de humus -----	14
4.2 Características variables de las cuencas -----	14

4.3 Conductividad Hidráulica -----	15
4.4 Escorrentía -----	15
4.4.1 Proceso de escorrentía -----	15
4.4.2 Tipos de escorrentía -----	16
4.5 Infiltración -----	18
4.5.1 Velocidad de infiltración -----	18
4.5.2 Infiltración acumulada -----	18
4.6 Uso de suelo -----	18
4.6.1 Sistema de clasificación de usos de suelos -----	19
4.6.2 Deforestación por cambios en el uso del suelo -----	19
4.7 Hidrometría -----	20
4.7.1 Estaciones hidrológicas -----	20
4.7.2 Medición de la precipitación -----	20
4.8 Caudales -----	20
4.8.1 Determinación de caudales máximos -----	20
4.9 Batimetría -----	20
5.1 Métodos de aforo -----	21
5.2 Tránsito de avenidas -----	21
5.3 Modelación hidrológica -----	21
5.3.1 Modelamiento con el HEC -HMS -----	21
5.3.2 Modelo de la cuenca -----	22
5.3.3 Hidrograma unitario SCS -----	22
5.3.4 Determinación del número de la curva -----	22
5.3.5 Modelo Meteorológico -----	22
5.3.6 Modelo de control -----	22
5.4 Análisis de varianza -----	22
CAPITULO III -----	23

3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1 Ubicación del área de estudio	23
3.2 Aspectos climáticos	23
2.2.1 Precipitación	23
3.3 Tipo de investigación	24
3.4 Métodos de investigación	24
3.5 Delimitación de la zona de recarga del área de estudio	24
3.6 Parámetros generales de la Subcuenca	24
3.7 Características edafológicas de los suelos	24
3.8 Análisis de la textura del suelo	25
3.8.1 Método de Bouyoucus	25
3.8.2 El Hidrómetro de Bouyoucus	25
3.8.3 Velocidad de Sedimentación	25
3.8.4 Metodología aplicada para determinar la textura del suelo	26
3.9 Densidad aparente del suelo	26
4.1 Velocidad de infiltración	27
4.1.1 Método del infiltrometro de cilindro	27
4.1.2 Pruebas de infiltración en el Bosque – Pastizal – Mosaico	27
4.2 Medición de la densidad de raíces finas	27
4.3 Medición de aforo por la ecuación de Manning	28
4.4 Datos de Precipitación	30
4.5 Recursos Humanos y materiales	30
4.5.1 Equipos	30
4.5.2 Materiales	30
4.5.3 Software	30
CAPITULO IV	31
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31

4.1 Forma de la cima del área de estudio -----	31
4.2 Unidades geomorfológicas -----	32
4.3 Características geomorfológicas de la cuenca -----	32
4.3.1 Delimitación del área de estudio -----	33
4.3.2 Delimitación de una cuenca por método digital en ArcGIS -----	33
4.4 Parámetros de forma -----	34
4.4.1 Área de la Cuenca (A) -----	34
4.5 Forma de la cuenca hidrográfica -----	35
4.5.1 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) -----	35
4.5.2 Factor de forma de la cuenca (Kf)-----	36
4.6 Orden de ríos o corrientes de agua y sistema de drenaje-----	37
4.7 Parámetros de relieve -----	38
4.7.1 Pendiente media del cauce principal -----	38
4.7.2 Curva hipsométrica de la subcuenca del río Pambay-----	38
4.8 Parámetros relativos a la red hidrográfica-----	39
4.8.1 Densidad de drenaje-----	39
4.8.2 Densidad de corrientes-----	39
4.9 Determinación de la textura del suelo -----	40
5.1 Medición de la densidad de raíces finas -----	41
5.1.1 Densidad de raíces en el área de estudio -----	42
5.2 Altura de hojarasca y altura de humus en el área de estudio -----	42
5.3 Identificación de los horizontes del suelo -----	43
5.3.1 Descripción de los horizontes del suelo-----	43
5.4 Pruebas de infiltración -----	44
5.4.1 Prueba de infiltración a 1 m de profundidad en el bosque-----	44
5.4.3 Prueba de infiltración en la superficie en el pastizal-----	45
5.4.4 Prueba de infiltración a 1m de profundidad en el pastizal-----	45

5.4.5 Prueba de infiltración en la superficie en el mosaico-----	46
5.4.6 Prueba de infiltración a 1 metro de profundidad en el mosaico-----	47
5.5 Análisis de caudales -----	47
5.5.1 Sección transversal en la parte alta del rio Pambay-----	47
5.5.2 Sección transversal en la parte baja del rio Pambay-----	48
5.6 Análisis de caudal de la subcuenca del rio Pambay -----	50
5.7 Análisis de varianza -----	51
5.8 Hidrograma de crecida HEC – HMS-----	51
5.9 Zonas vulnerables a inundaciones-----	52
6.1 Viviendas vulnerables a inundaciones-----	52
CAPITULO V -----	54
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	54
5.1 Conclusiones -----	54
5.2 Recomendaciones-----	55
CAPITULO VI -----	56
6. BIBLIOGRAFÍA -----	56
ANEXOS -----	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la topografía según el grado de pendientes -----	10
Tabla 2: Sistema de clasificación del uso de suelos del Ecuador -----	19
Tabla 3: Valores de coeficiente de rugosidad de Manning-----	29
Tabla 4: Sistema de clasificación de cuencas según el área-----	34
Tabla 5: Índice de compacidad de Gravelius-----	35
Tabla 6: Índice del factor forma-----	36
Tabla 7: Rangos de la pendiente media del cauce principal-----	38
Tabla 8: Densidad de drenaje de cuencas -----	39
Tabla 9: Determinación de la textura del suelo en el área de estudio-----	40
Tabla 10: Densidad de raíces en tres tipos de cobertura vegetal: bosque, pastizal y mosaico -----	42
Tabla 11: Determinación de altura de hojarasca y humus en el bosque y mosaico-----	43

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo del índice de compacidad-----	8
Ecuación 2 Cálculo del factor de forma -----	8
Ecuación 3 Cálculo de la relación de elongación-----	8
Ecuación 4 Cálculo del tiempo de concentración -----	11
Ecuación 5 Formula para determinar la velocidad de infiltración -----	18
Ecuación 6 Fórmula para determinar el caudal -----	21
Ecuación 7 Fórmula para determinar el % de arena -----	26
Ecuación 8 Fórmula para determinar el % de arcilla -----	26
Ecuación 9 Fórmula para determinar el % de limo -----	26
Ecuación 10 Fórmula para determinar el volumen del cilindro -----	27
Ecuación 11 Fórmula para determinar la densidad aparente-----	27
Ecuación 12 Fórmula para determinar la longitud de raíces-----	28
Ecuación 13 Fórmula para determinar la velocidad de corrientes -----	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de una cuenca Hidrográfica.....	6
Figura 2: Delimitación de la zona de recarga Hídrica.....	6
Figura 3: Clasificación de corrientes de agua	9
Figura 4: Tipos de curva Hipsométrica	10
Figura 5: Identificación de los suelos y tipos de horizontes en el suelo	12
Figura 6: Ciclo de escorrentías 1ra fase	16
Figura 7: Ciclos de escorrentía 2da fase.....	17
Figura 8: Ciclo de Escorrentía 3ra fase	17
Figura 9: Ciclo de Escorrentía 4ta fase	17
Figura 10: Ubicación geográfica de la subcuenca del Río Pambay	23
Figura 11: Determinación de la textura del suelo	26
Figura 12: Esquema de la medición de la profundidad y ancho del río.....	28
Figura 13: Forma de la cima y perfil de elevación del área de estudio.....	31
Figura 14: Descripción de las unidades geomorfológicas del río Pambay	32
Figura 15: Delimitación de la subcuenca del río Pambay.....	33
Figura 16: Delimitación de la subcuenca del río Pambay mediante la herramienta Hydrology.....	33
Figura 17: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Pambay.....	34
Figura 18: Orden de los ríos y los sistemas de drenaje de la subcuenca del río Pambay...	37
Figura 19: Curva Hipsométrica del área de estudio	38
Figura 20: Identificación de los tipos de horizonte en la subcuenca del río Pambay	43
Figura 21: Prueba de infiltración superficial en el bosque.....	44
Figura 22: Prueba de infiltración a 1 m de profundidad en el Bosque.....	44
Figura 23: Prueba de infiltración superficial en el pastizal.....	45
Figura 24: Prueba de infiltración a 1 metro de profundidad en el pastizal	46
Figura 25: Prueba de infiltración superficial en el mosaico	46
Figura 26: Prueba de infiltración a 1 metro de profundidad en el mosaico	47
Figura 27: Profundidad inicial del rio medida en dirección al cauce principal en la parte alta de la subcuenca del río Pambay	47
Figura 28: Profundidad final del rio medida en dirección al cauce principal en la parte alta de la subcuenca del río Pambay.....	48

Figura 29: Profundidad inicial del rio medida en dirección al cauce principal en la parte baja de la subcuenca del río cerca al dique Pambay	48
Figura 30: Profundidad final medida a 10 m de distancia en dirección al cauce principal en la parte baja de la subcuenca del río cerca al dique Pambay	50
Figura 31: Comportamiento de caudales de la subcuenca del Río Pambay.....	50
Figura 32: Análisis de varianza y prueba de comparación de Duncan en relación a la velocidad de infiltración	51
Figura 33: Hidrógrama de crecidas de la subcuenca del río Pambay.....	51
Figura 34: Identificación de las zonas vulnerables a inundaciones en el área de estudio..	52
Figura 35: Identificación de viviendas vulnerables a inundaciones en el área de estudio .	53

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país mega-vulnerable por la situación geodinámica y su posición geográfica, el cual es amenazado por desastres naturales muy representativos, como son: volcanes activos con alcances muy destructivos, terremotos, deslizamientos, sequías e inundaciones por la presencia de los fenómenos como “La Niña” y “El Niño” (**Toulkeridis, 2015**).

En la Provincia de Pastaza se encuentran algunas zonas susceptibles a amenazas de origen natural de diversa índole como inundaciones, fallas geológicas y deslaves, debido a las condiciones climáticas y a los tipos de suelo que existen en la provincia. Además, existen amenazas generadas por las actividades humanas (**PDOT, 2017**).

El desbordamiento del río Pambay ha afectado a las zonas, poblados e infraestructuras que se encuentran cercanas al río, esto se debe al aumento de caudal y las fuertes precipitaciones que se presentan en esta región, por esta razón es de mucha importancia el estudio de las características geomorfológicas de la subcuenca para la obtención de datos que ayuden a solucionar problemas debidos a la falta de información, los cuales influyen en su comportamiento hidrológico.

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de diferentes parámetros es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia. Asimismo, esta modelación permite explicar el movimiento del agua superficial (**Gaspari et al., 2012**).

La importancia de la presente investigación es investigar las características geomorfológicas de la subcuenca del río Pambay como parámetros de relieve, factor de forma y parámetros de la red de drenaje. El área de estudio tiene una longitud de 5,26 km y un área de 8,34 km², además se identificó el uso de suelo que tiene cada sector, donde se determinó las características físicas y biológicas, así como también las características hidráulicas que tiene el suelo.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La subcuenca del río Pambay se caracteriza por presentar zonas como cultivos, pastizales y bosques naturales en donde la precipitación ha incrementado la escorrentía superficial especialmente en las partes bajas de la cuenca, provocando la erosión en ciertos sectores que posteriormente han sufrido inundaciones debido a la baja capacidad de infiltración de agua superficial de estos suelos para los cuales no existe datos del comportamiento de dichos eventos, uno de los principales problemas es la falta de información que muestre la descripción detallada de la cuenca en base a sus diferentes características geomorfológicas y sus dimensiones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Identificar las principales características geomorfológicas como el relieve, factor de forma y condiciones de la red hidrográfica de la subcuenca del río Pambay ubicado en la Ciudad de Puyo Provincia Pastaza

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular las características morfológicas de la subcuenca como: área, perímetro, longitud del cauce principal, densidad de corrientes y la curva hipsométrica en el software ArcGIS.
- Identificar la zona de recarga hídrica y los principales afluentes que alimentan el cauce principal, ubicado en la vía Ambato kilómetro 360, Norte E 45 cerca al balneario del dique Pambay
- Describir las unidades geomorfológicas que presenta el área de estudio de la subcuenca del río Pambay ubicado Ciudad de Puyo Provincia Pastaza
- Determinar y evaluar las características físicas, biológicas y características hidráulicas del suelo en tres tipos de cobertura vegetal, en el tramo del río Pambay ubicado en la Ciudad de Puyo Provincia Pastaza
- Determinar los caudales máximos de crecida mediante el modelamiento hidrológico en el software HEC – HMS
- Identificar las principales zonas y poblados que son vulnerables a inundaciones en la parte baja de la subcuenca del río Pambay

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Descripción de las unidades geomorfológicas

De acuerdo al **Instituto Espacial Ecuatoriano (2018)**, la ciudad del Puyo se encuentra dentro del paisaje morfo-edafológico los piedemontes cercanos, con cobertura de cenizas volcánicas. Los orígenes de las unidades geomorfológicas corresponden a ocho procesos genéticos:

- a) Estructurales (superficies y vertientes de mesas).
- b) Gravedad y movimientos en masa (escarpe de deslizamientos y coluviones).
- c) Fluvio-lacustre (depresión pantanosa).
- d) Deposicional (ej. cono de esparcimiento).
- e) Fluvial (terrazas, isla, cauce actual y valle fluvial),
- f) Erosión fluvial (gargantas y barrancos),
- g) Poligénicas (coluvio aluviales)
- h) Tecnogénesis (superficie intervenida -encauzamientos de ríos, apertura de vías, nivelación de terrenos)

2.2 Geomorfología de las cuencas hidrográficas

La identificación geomorfológica de una región es de fundamental importancia, puesto que constituye uno de los factores principales que dominan la dinámica hídrica. La morfología regional, condicionada por procesos de sedimentación, erosión, depositación y transporte da lugar a la existencia de cuencas hidrográficas. El agua, a través de su capacidad de erosión y transporte de sedimentos, se comporta como un factor relevante en el modelado de la superficie terrestre y de sus paisajes. La caracterización geomorfológica ambiental de una cuenca fluvial se determina en primera instancia por su conocimiento morfométrico (**Geraldi, Piccolo, & Perillo 2010**).

2.3 Análisis morfométrico descriptivo de una cuenca

El comportamiento del caudal y el de las crecidas, puede verse modificado por una serie de propiedades morfométricas de las cuencas, como son el tamaño, la forma y la pendiente, que resultan muy importantes en la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para atenuar como para intensificar las crecidas. La mayor parte de estas propiedades actúan incrementando el volumen del flujo y la velocidad de su movimiento (**Matauco, 2004**).

2.4 Caracterización de la cuenca hidrográfica

La caracterización de la cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que la tipifican, con el fin de conocer las posibilidades, limitaciones de sus recursos naturales y condiciones económicas de la comunidad, para identificar los problemas presentes y potenciales. Los elementos de caracterización de la cuenca pueden agruparse, analizarse e interpretarse bajo los siguientes aspectos: climatología, geología, geomorfología, agrología, hidrología e hidráulica, entre otros (**Zambrana, 2008**).

2.5 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia encargada de estudiar las formas que toma la superficie de la tierra, abarcando propiedades como: tamaño, forma y volumen, enfatizando en el origen geológico de cada material componente y el comportamiento de las geoformas. El análisis de la forma del relieve permite entender las variaciones en sus propiedades producto de la interacción con las condiciones climáticas, topográficas, cursos de agua, escorrentía y la vegetación (**Suarez & Sandoval, 2017**).

2.6 Cuencas Hidrográficas

La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología (**Breña & Jacobo, 2005**).

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica, que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (**Vásquez et al, 2016**).

Según el Texto básico de Hidrología de **Morales (2010)**, las cuencas hidrográficas pueden clasificarse en 3 grupos: Cuenca principal, subcuenca, microcuenca.

Cuenca Principal. -Es aquella en que el cuerpo principal de agua desemboca directamente al océano.

Subcuenca. -Es aquella que tributa hacia otra cuenca. La de primer orden tributa hacia una cuenca principal, la de segundo hacia una subcuenca y así sucesivamente.

Microcuenca. - Es una cuenca o subcuenca de tamaño reducido.

2.7 División de una cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al curso principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores (**Sánchez, 1987**).

2.8 Clasificación de la cuenca hidrográfica

Las cuencas se clasifican por su destino final de sus escurrimientos o por su única salida, para realizar esta clasificación se tomaron en cuenta los siguientes criterios de (**Sánchez, 1987**):

2.8.1 Por el destino final de sus escurrimientos

Cuencas arréicas. -Se define que estas cuencas no cuentan con red de drenaje ni salida, estos escurrimientos se pierden en los cauces por evaporación y/o infiltración sin que en este caso se conviertan en corrientes subterráneas.

Cuencas criptorréicas. -Son drenajes subterráneos sin una red de drenaje superficial bien definidos.

Cuencas endorréicas. -Tienen la característica de no tener un desagüe o largo interior sin llegar al mar, por lo general drenan hacia un cuerpo de agua como un lago.

Cuencas exorreicas. -Esta se caracteriza por tener un desagüe que permite que las aguas circulen y sean expulsadas de la cuenca hacia otras cuencas o hacia el mar, sea vía superficial o subterránea.

2.9 Partes de una cuenca hidrográfica

De acuerdo a (**World Vision, 2004**), una cuenca hidrográfica está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice.

Criterio I: Altitud: Si el criterio utilizado es la altura, se podrían distinguir 3 partes: la parte alta, media y baja, sucesivamente, en función de los rangos de altura que tenga la cuenca. Si la diferencia de altura es significativa y varía de 0 a 2,500 msnm, es factible diferenciar las tres partes, si esta diferencia es menor, por ejemplo, de 0 a 1000 msnm, posiblemente sólo se distingan dos partes, y si la cuenca es casi plana será menos probable establecer partes.

Criterio 2: Topografía: Otro criterio muy similar al anterior es la relación con el relieve y la forma del terreno, las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las partes onduladas, casi planas y planas, forman los valles; y finalmente otra parte es la zona por donde discurre el río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce.



Figura 1: Partes de una cuenca Hidrográfica

Fuente: World visión (2004)

3. Zonas de recarga hídrica

Se le llama recarga al proceso que ocurre de forma natural, por el cual, se incorpora agua procedente de la infiltración de la lluvia, por aguas superficiales y por la transparencia entre acuíferos. El área donde ocurre la recarga se le llama zona de recarga y por consiguiente son sitios con mayor capacidad de infiltración o con rocas superficialmente permeables (**Donis, 2015**).

3.1 Delimitación de una cuenca

La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel (a escala 1:50.000), siguiendo las líneas divisorias, la cual es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que, en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación de aforo (**Pérez, 2015**).

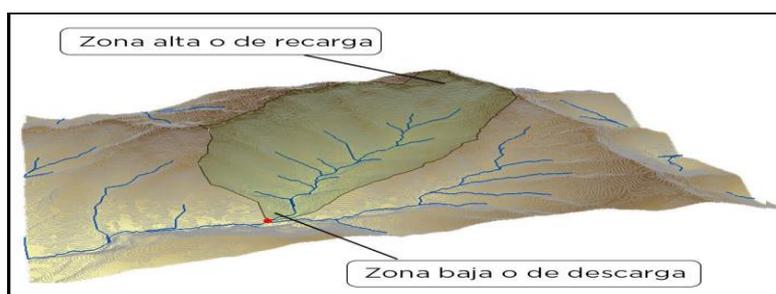


Figura 2: Delimitación de la zona de recarga Hídrica

Fuente: World visión, 2004

3.1.1 Delimitación de una cuenca por método digital en ArcGIS

Para conocer los límites de una cuenca no sólo se necesita conocer las zonas de mayor elevación, sino conocer cómo fluye el agua, teniendo en cuenta las elevaciones del terreno, considerando el análisis para flujo superficial. La delimitación de cuencas hidrográficas se hace partir de un DEM (Modelo Digital de Elevaciones), con la herramienta Hydrology del Spatial Analyst de ArcGIS (Buguña, 2019).

3.2 Características geomorfológicas de la cuenca

De acuerdo a Ordoñez (2011), la caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje, etc. Algunos de estos parámetros geomorfológicos sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres.

3.3 Parámetros de forma

3.3.1 Área de la Cuenca (A)

Según Aparicio (1992), define el área de la cuenca como la superficie de proyección horizontal delimitada por la línea divisoria.

3.3.2 Perímetro de la cuenca (P)

Caiza (2014), menciona en su texto de Hidrología básica y aplicada al perímetro como la longitud total de la divisoria de aguas, desde el inicio del punto de estudio hasta finalizar en el mismo, se mide en Kilómetros u otra unidad de longitud.

3.3.3 Longitud del cauce principal

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (2004), la longitud del cauce principal es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, medido desde la parte más alta hasta la salida.

3.3.4 Forma de la cuenca hidrográfica

Sellers, et al (2017), manifiestan que la forma de la cuenca es determinante para entender su comportamiento hidrológico. Cuencas con la misma área, pero de diferentes formas presentan respuestas hidrológicas e hidrogramas diferentes. Los parámetros de forma tomados en cuenta son:

3.3.5 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

Sellers, et al (2017), en su publicación menciona que el índice de compacidad de gravelius define la forma y la superficie que abarca la cuenca, teniendo influencia sobre la esorrentía y la marcha del hidrograma resultante de una precipitación.

De acuerdo a **Caiza (2014)**, la fórmula del índice de compacidad es la siguiente:

$$Kc = 0.2821 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 1: Cálculo del índice de compacidad

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro

A: Área

3.3.6 Factor de forma de la cuenca (Kf)

Monsalve (1995), define al factor de forma como la relación entre el ancho medio y la longitud de la cuenca.

La fórmula que se utilizó para el cálculo del factor de forma del área de estudio es la siguiente:

$$Kf = \frac{B}{L}$$

Ecuación 2: Cálculo del factor de forma

$$B = \frac{A}{L}$$
$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

B: Ancho medio, en Km

L: Longitud de la cuenca, en Km

A: Área de drenaje, en Km²

3.3.7 Relación de Elongación (Re)

Monsalve (1995) define a la relación de elongación como la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área (A) que la cuenca y la longitud (L) de la misma. Este valor varía entre 0,60 y 1,00 para una amplia variedad de climas y materiales geológicos, además está fuertemente correlacionada con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde varía de 0,60 a 0,80 se trata de fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno

$$Re = 1,1284 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Ecuación 3: Cálculo de la relación de elongación

Donde:

A: Área de la cuenca

L: longitud axial de la cuenca

3.3.9 Orden de ríos o corrientes de agua y sistema de drenaje

El sistema de drenaje está constituido por el río principal y sus tributarios. Como se observa en la Figura 3, dentro del sistema de drenaje, al rededor del río principal se forman ramificaciones y el grado de ramificaciones es lo que se conoce como orden de corrientes de agua (Monsalve, 1995).

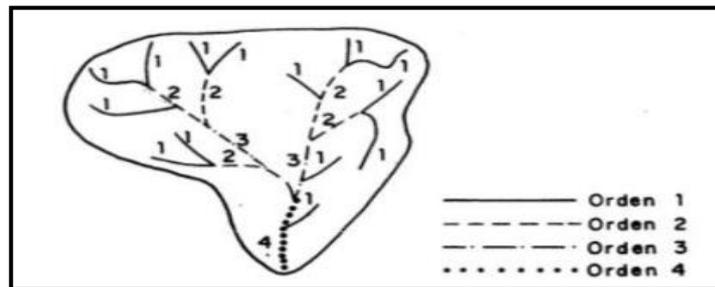


Figura 3: Clasificación de corrientes de agua

Fuente: Monsalve, 1995

De acuerdo a Monsalve (1995) los órdenes de corrientes de agua se clasifican en:

Corrientes de primer orden: Pequeños canales que no tienen tributarios.

Corrientes de segundo orden: Cuando dos corrientes de primer orden se unen.

Corrientes de tercer orden: Cuando dos corrientes de segundo orden se unen.

Corrientes de orden $n + 1$: Cuando dos corrientes de orden n se unen

3.4 Relieve

El relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca. Este representa la diferencia de la altura mayor y la altura menor de la cuenca, la influencia del relieve sobre el escurrimiento superficial es aún más evidente. A mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentías en la red de drenaje y afluentes del curso principal (Campos, 1987).

3.5 Parámetros de relieve

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son: pendiente de la cuenca, índice de pendiente, curvas Hipsométricas, histograma de frecuencias altimétricas y relación de relieve (Cahuana & Morales, 2009).

3.5.1 Pendiente media del cauce principal

Es un valioso indicador del grado de respuesta de un cauce ante la torrencialidad de la precipitación. En muchas ocasiones es subjetivo estimar el comienzo del cauce principal, en este caso se considera el cauce de máxima longitud (Camino *et al*, 2018).

3.5.2 Curva hipsométrica

La curva representa el área drenada variando con la altura y la superficie de la cuenca. Estos datos de elevación son significativos en el comportamiento de la temperatura y la precipitación, y representa gráficamente las elevaciones del terreno en función a la superficie correspondiente (Rodríguez, 2006).

La curva hipsométrica puede modificarse en función de la altura relativa y con ello permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca (Figura 4).

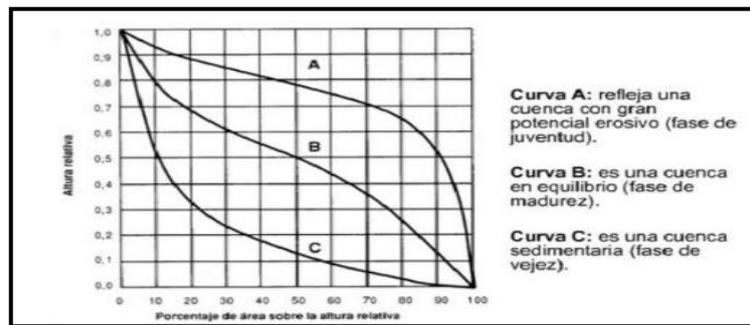


Figura 4: Tipos de curva Hipsométrica

Fuente: Aparicio, 1992

3.5.3 Pendiente de la cuenca

La pendiente de una cuenca tiene una relación importante con los fenómenos de infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución de agua subterránea al flujo de los cauces (Caiza, 2014).

Tabla 1: Clasificación de la topografía según el grado de pendientes

Pendiente	Tipo de terreno
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Caiza, 2014

3.5.4 Pendiente media del cauce principal

Se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos. En general, la pendiente de un tramo de río se considera como el desnivel entre los extremos del tramo (Villegas, 2013).

3.6 Parámetros de red de drenaje

Estos parámetros representan el sistema de jerarquizaciones de los cauces, que va desde los pequeños surcos hasta los ríos, que concluyen unos con otros para formar un colector principal de toda una cuenca. Esta función está relacionada con el transporte de materia y energía al interior de la cuenca, la morfología de la red de drenaje, la densidad de drenaje y los órdenes de cauces son parámetros fundamentales y dependen de las características geomorfológicas y bióticas del sistema (González, 2004).

3.6.1 Tiempo de concentración

Como señala Caiza (2014), el tiempo de concentración también se denomina tiempo de respuesta o equilibrio, el cual se define como el tiempo requerido, para que, durante un aguacero uniforme, alcance un estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe.

De acuerdo a Caiza (2014) la fórmula para determinar el tiempo de concentración es la siguiente:

$$TC = 0.066 \left(\frac{L}{J^{1/2}} \right)^{0.77}$$

Ecuación 4: Cálculo del tiempo de concentración

Dónde: Tc= tiempo de concentración (horas)

L= longitud del cauce principal (Km)

J=Pendiente del cauce principal (m/m)

3.7 Suelo

El suelo es un recurso que puede ser considerado no renovable; es muy valioso, en virtud de que proporciona sustento para los ecosistemas y la vida humana. Las diferentes clases de suelos presentan comportamientos diversos en función de sus características físicas, químicas y biológicas (Rodríguez, 2019).

3.7.1 Perfil del suelo

Según **Jaramillo (1999)**, el perfil suelo se refiere a un cuerpo tridimensional, que para poder comprender su evolución debe observarse de manera integral, lo cual implica que se debe exponer a la observación del interior del suelo. Para observar el interior del suelo se debe realizar un corte vertical en él, exponiendo hasta una profundidad máxima de 2 m, si antes no se encuentra el material parental fresco; el mínimo espesor del corte que es adecuado es aquel que permita observar el solum (Horizontes A y B).

3.7.2 Horizontes del suelo

Los horizontes del suelo son capas presentes dentro de cada tipo de suelo terrestre, las cuales tienen características diferentes. Estas características hacen que cada una tenga un color particular, por lo que se crea una clara división entre ambas capas, generando una división visual de una con otra (**Fadda et al, 2017**).

3.8.3 Clasificación de los horizontes del suelo.

Según **Fadda et al (2017)** en el suelo existen los siguientes horizontes:

Horizonte O.- Corresponden a capas dominadas por la materia orgánica. Algunas están saturadas por el agua durante largo tiempo, o lo estuvieron y ahora están drenadas, otras nunca estuvieron saturadas.

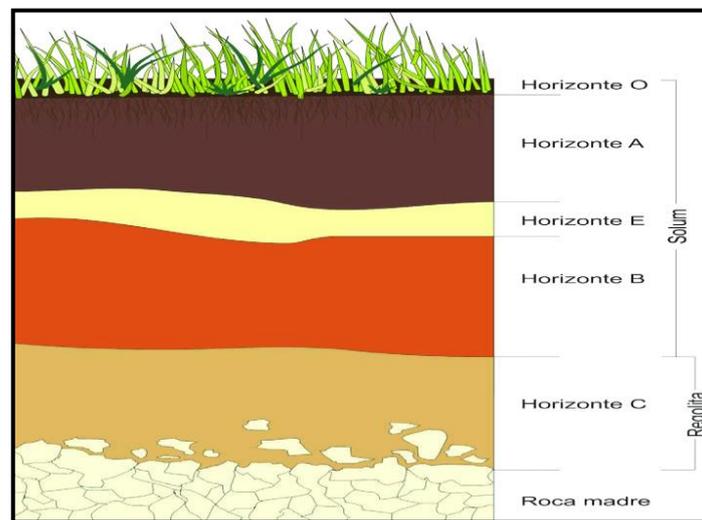


Figura 5: Identificación de los suelos y tipos de horizontes en el suelo

Fuente: Fadda, Ullivarri & Corbella, 2017

Horizonte A.- Consisten en horizontes minerales que se han formado en la superficie o abajo de un horizonte O. Donde existe una acumulación de materia orgánica humificada, íntimamente mezclada con la fracción mineral.

Horizonte E.- Horizontes minerales en los cuales el principal rasgo es la pérdida de arcillas silicatadas, hierro o aluminio, o alguna combinación de éstos, dejando una concentración de partículas de arena y limo. Estos horizontes presentan la desaparición total o de la mayor parte de la estructura del material original.

Horizonte B.- Están dominados por la desaparición de toda o la mayor parte de la estructura original de la roca. En este tipo de horizonte se acumulan minerales como: arcillas silicatadas, hierro, aluminio, humus, carbonatos, sílice.

Horizonte C.- Son los horizontes o capas, con exclusión de las rocas duras, que están poco afectadas por los procesos pedogénicos y carecen de las propiedades de los horizontes O, A, E o B. La mayoría son capas minerales.

3.9 Propiedades Físicas de los suelos

Michelena (2011) manifiesta que algunas propiedades físicas de los suelos, tales como estructura, textura, porosidad total y distribución del tamaño de poros, influyen sobre la retención y almacenamiento de humedad del suelo. La retención del agua en el suelo está determinada tanto por las características intrínsecas del suelo, como por las condiciones del drenaje interno. Existe relación entre la capacidad de retención y almacenamiento de agua, con ciertas características hidrológicas de los suelos como puede ser la relación infiltración-escurrimiento.

3.9.1 Textura del suelo

Una de las propiedades físicas de importancia es la textura, la cual expresa la distribución del tamaño de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo. Por medio de la textura de un suelo se pueden estimar ciertos atributos como su capacidad productiva, su comportamiento mecánico, capacidad de retención de agua, capacidad portante, velocidad de infiltración, densidad aparente, capacidad de usos contrastándola con la profundidad y pendiente, etc. (**Pereira et al, 2011**).

3.9.2 Densidad del suelo

De acuerdo a la publicación de **Gutiérrez (2010)**, la organización de las partículas individuales del suelo en unidades mayores hace que el suelo sea un medio poroso, lo que permite establecer dos tipos de densidades, la densidad de las partículas (minerales y orgánicas) o densidad real y la del suelo en su conjunto o densidad de volumen o aparente.

3.9.3 Densidad aparente

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso.

Para medir la densidad aparente se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105°C, hasta que alcanza un peso constante (**Gutiérrez, 2010**).

4.1 Características biológicas de los suelos

4.1.1 Densidad de raíces finas

Las raíces son componentes fundamentales en el balance del carbono de los bosques húmedos tropicales pues presentan entre 30 y 40 % de la productividad primaria neta y pueden llegar a contener hasta un 22% de la biomasa total del bosque. Se suelen dividir en raíces finas (RF) (<5 mm de diámetro) y gruesas (>5mm de diámetro); las primeras son responsables principalmente de la absorción de agua y nutrientes del suelo, mientras que las segundas proporcionan anclaje y sostén a las plantas (**Quinto et al, 2016**).

4.1.2 Altura de hojarasca

Este término hace referencia a las hojas que han caído de los árboles y cubren el suelo. Las hojas caídas alimentan el suelo del bosque, ya que generan humus y nutrientes que son recuperados por ellos mismos. Gracias a ellas se retornan al suelo los bioelementos necesarios para mantener su productividad (**Bonomelli et al, 2002**).

4.1.3 Altura de humus

El humus es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos benéficos (hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negro debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica (**Bonomelli et al, 2002**).

4.2 Características variables de las cuencas

Debido al constante crecimiento de la población y al desarrollo económico, el régimen natural del escurrimiento de los ríos se ve cada vez más influenciado por la actividad humana, además pueden ocurrir también algunos casos en los cuales las características de la cuenca que inciden en el régimen de escurrimiento son modificadas por procesos naturales

(variaciones estacionales y cíclicas de la vegetación, movimientos tectónicos, etc.) (Villodas, 2008).

De acuerdo a Villodas, (2008) las características variables de las cuencas son:

Cubierta. - Los bosques y otros tipos de vegetación pueden tener efectos muy diferentes sobre el régimen de escurrimiento, dependiendo principalmente del tipo, densidad y edad de las especies. La distribución en el interior de la cuenca (áreas superiores e inferiores) es también importante. Los índices que expresen la extensión relativa de la cubierta vegetal, referida al porcentaje del área total, deben interpretarse correctamente en función de lo antedicho.

Condiciones del suelo. -La relación entre infiltración y retención superficial depende fundamentalmente de la composición mecánica y de las propiedades físicas del suelo, como así también, cuando corresponda, de la profundidad y métodos de cultivo.

4.3 Conductividad Hidráulica

Indica la capacidad que tiene el suelo para permitir el paso del flujo de agua; es decir, si el suelo es más o menos permeable. La conductividad decrece de manera exponencial a medida que disminuye el valor de la humedad. Esta disminución es tanto más brusca cuanto más gruesa es la textura del medio sólido. Por tanto, la conductividad hidráulica es afectada por la textura y estructura del suelo, siendo más alta en suelos muy porosos, fracturados o agregados; y menor en suelos densos y compactados (Calvache, 2011).

4.4 Escorrentía

De acuerdo con Pérez & Rodríguez (2009), el escurrimiento es el agua producto de la precipitación que fluye por las corrientes provenientes de diversas fuentes y que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser finalmente drenada hasta el final de la cuenca.

4.4.1 Proceso de escorrentía

El agua de la precipitación llega primero a los objetos que están sobre la superficie del terreno, como son los árboles, casas, cultivos, pasto, rocas, etc. En estos lugares parte de la lluvia es interceptada, y parte llega al suelo, en donde se infiltra para llenar las depresiones topográficas y se va acumulando en el terreno hasta saturar el terreno y fluir superficialmente por las laderas hacia los cauces (Aguilar & Echeverría, 2018).

4.4.2 Tipos de escorrentía

Aguilar & Echeverría (2018) manifiestan que una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, comienza el proceso de filtración entre las partículas de suelo y el espacio que existe entre ellas hasta que se saturan, posteriormente se comienzan a llenar las depresiones del terreno y al mismo tiempo el agua comienza a escurrir sobre la superficie.

Según **Aguilar & Echeverría (2018)**, la escorrentía se clasifica en:

Escorrimento superficial. -Está constituido por el flujo en la superficie del terreno y esta se produce mientras el agua no llegue a cauces muy definidos, y el escurrimento en corrientes que se origina una vez que llegue a un cauce bien definido.

Escorrimento subsuperficial. -Es una parte del agua de precipitación que se infiltra y escurre cerca de la superficie del suelo.

Escorrimento subterráneo. - Es parte del agua infiltrada que llega hasta niveles inferiores al nivel freático.

Según **Juncosa (2010)** las fases que se presentan en el ciclo de escorrentía son las siguientes:

Primera fase. -Periodo sin precipitaciones. Después de este periodo la evapotranspiración agota la humedad existente en las capas superficiales, en este caso las aguas subterráneas alimentan a las corrientes superficiales y van descendiendo progresivamente su nivel piezométrico. **Figura 6**

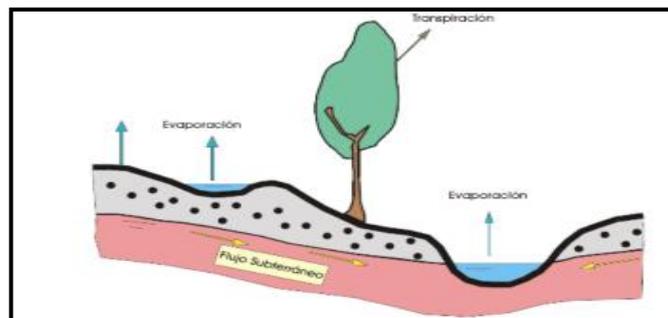


Figura 6: Ciclo de escorrentías 1ra fase

Fuente: Juncosa, 2010

Segunda fase. –Inicio de la Precipitación. Las aguas que se originan de la precipitación son interceptadas por la vegetación, cursos de agua y suelo. En éste se infiltra una cantidad importante de agua que abastece su capacidad de almacenamiento; el excedente forma parte de la escorrentía Superficial. Estas aportaciones o excedentes son liberados continuamente, por lo tanto, no existe descenso de los niveles piezométrico de la capa freática. **Figura 7**

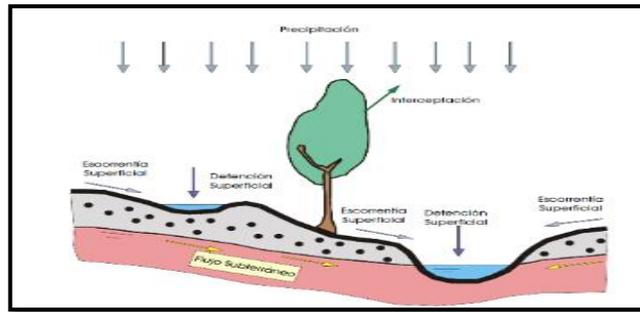


Figura 7: Ciclos de escorrentía 2da fase

Fuente: Juncosa, 2010

Tercera fase. –Precipitación máxima. Después de una cierta duración de la precipitación, tanto la capa vegetal como el suelo se encuentran saturados completamente y se eleva el nivel piezométrico. **Figura 8**

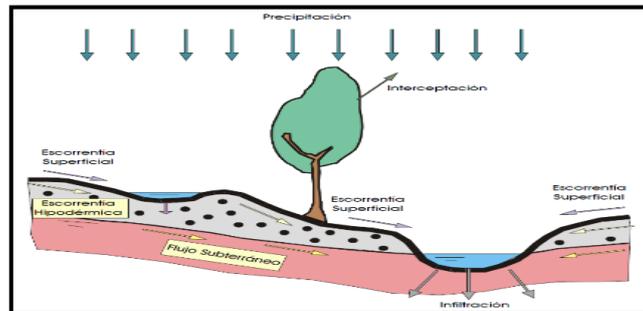


Figura 8:Ciclo de Escorrentía 3ra fase

Fuente: Juncosa, 2010

Cuarta fase: Posterior a la precipitación la lluvia cesa. Y la escorrentía superficial desaparece rápidamente. El suelo y subsuelo están saturados. Aparecen de nuevo los procesos de evapotranspiración y los cursos de agua son alimentados únicamente por las escorrentías sub-superficial y subterráneas, el nivel piezométrico comienza el régimen de decrecida. El ciclo se cierra con la aparición de nuevo de la primera fase. **Figura 9**

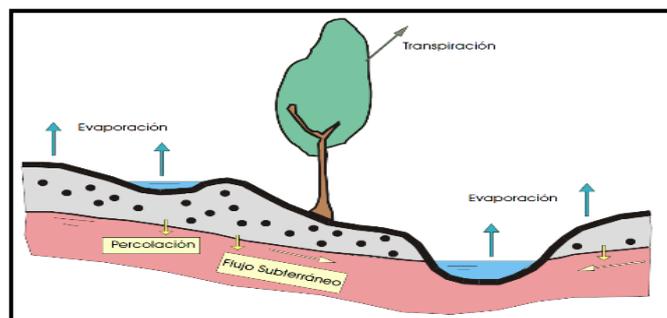


Figura 9: Ciclo de Escorrentía 4ta fase

Fuente: Juncosa, 2010

4.5 Infiltración

Monsalve (1995) define a la Infiltración como el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo; se distingue del proceso de percolación porque este último es el movimiento hacia abajo de agua desde a través de la zona no saturada hasta el nivel freático o zona saturada.

4.5.1 Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración puede definirse como la capacidad de admisión de agua de un terreno desde la superficie al interior del mismo. En otros términos, es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo que tarda en infiltrarse esa lámina. Comúnmente suele expresarse en cm/h o mm/min (**Delgadillo & Pérez, 2016**).

La velocidad de infiltración no es uniforme, tiende a disminuir mientras transcurre el tiempo desde que comienza la aplicación de agua en el suelo cuando ésta es continua.

$$I = at^b$$

Ecuación 5: Formula para determinar la velocidad de infiltración

Donde:

I = Velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

t = Tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en minutos u horas

a = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo

b = Exponente adimensional que varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 y -1

4.5.2 Infiltración acumulada

Infiltración acumulada o también llamada lámina infiltrada acumulada. Considera la sumatoria de los valores puntuales de infiltración obtenidos de la curva de velocidad de infiltración instantánea.

4.6 Uso de suelo

El suelo es un componente esencial de la "Tierra" y "Ecosistemas". Ambos son conceptos más amplios que abarcan la vegetación, el agua y el clima en el caso de la tierra, y además abarca también las consideraciones sociales y económicas en el caso de los ecosistemas.

En el Ecuador el uso de suelo varía dependiendo de la región. El mayor uso agropecuario del territorio, se localiza en las regiones de la Sierra andina y el Litoral, mientras que la aptitud boscosa predomina en la Amazonia, sin embargo, se evidencia un cambio progresivo de los bosques hacia usos agropecuarios principalmente en la franja de Pie de Monte (**Checa & Grijalva, 2012**).

4.6.1 Sistema de clasificación de usos de suelos

Tabla 2: Sistema de clasificación del uso de suelos del Ecuador

NIVEL I	NIVEL II
Bosque	Bosque Nativo
	Plantación Forestal
	Cultivo Anual
	Cultivo Semipermanente
Tierra Agropecuaria	Cultivo Permanente
	Pastizal
	Mosaico Agropecuario
	Vegetación Arbustiva
Vegetación	Vegetación Herbácea
Arbustiva	Páramo
Herbácea	
Cuerpo de Agua	Natural
	Artificial
Zonas Antrópicas	Área Poblada

Fuente: MAGAP, 2015

4.6.2 Deforestación por cambios en el uso del suelo

La intervención inapropiada de las poblaciones con el medio ambiente, debido a la expansión y demanda de alimentos promueve la deforestación de los bosques que son reemplazados por cultivos y pastos para la ganadería, situación que altera el ciclo hidrológico. La disminución de los recursos naturales y biodiversidad de las áreas forestales nativas de las riveras de los ríos genera un mayor flujo hídrico en la cuenca, sin embargo, procesos de reforestación con la utilización de especies de crecimiento rápido, reducen los niveles de agua que salen de los bosques (Blanco, 2017).

4.7 Hidrometría

Parte de la hidrología superficial que trata sobre métodos o prácticas para obtener los datos hidrológicos, mismo que se obtienen en las estaciones hidrológicas, estos datos son: caudales, niveles del agua, temperatura del agua, propiedades físico-químico, datos de sedimentología (**Gutiérrez, 2014**).

4.7.1 Estaciones hidrológicas

Son el conjunto de estaciones que permiten medir esencialmente el nivel de agua, el caudal instantáneo líquido o sólido mediante la operación de aforo, la temperatura, el pH, etc. El número suficiente de estaciones de flujo fluvial deberían estar ubicadas a lo largo de las ramificaciones principales de las grandes corrientes para permitir la interpolación de descarga entre las estaciones (**Gutiérrez, 2014**).

4.7.2 Medición de la precipitación

La medición de la precipitación se realiza para obtener información sobre sus características espaciales y temporales, como intensidad, frecuencia, fase, duración, cantidad etc. El problema de la representatividad, que, si bien es general para todas las mediciones, es particularmente importante en la precipitación, ya que presenta una gran variabilidad espacial y temporal. Las mediciones de precipitación son especialmente sensibles a la exposición, viento y la topografía, es por esto que, en este caso en particular, la información del metadato cobra vital importancia para la utilización a posteriori del dato (**Renom, 2011**).

4.8 Caudales

Según **Galecio (2007)**, para medir el caudal en un cauce es necesario definir una sección de control, en la cual podrán ser aplicados distintos procedimientos de medición.

4.8.1 Determinación de caudales máximos

La determinación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, es fundamental en muchas aplicaciones de la ingeniería hidráulica, ya que determina un caudal de diseño para una obra hidráulica o para la elaboración de mapas de inundaciones o crecidas (**Galecio, 2007**).

4.9 Batimetría

Es el levantamiento del relieve de superficies sub acuáticas, tanto los levantamientos del fondo del mar, como del fondo de los cursos de agua, embalses, etc. La parte más compleja y característica de los múltiples métodos de levantamiento batimétrico es la determinación de profundidad, la cual se obtendrá midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie de fondo (**Olmos, 2011**).

5.1 Métodos de aforo

Según **Hudson (1997)** los métodos de aforo basados en la medición del área y la velocidad del flujo consiste en:

Una forma de medir el caudal pasante en un cauce es a través de mediciones independientes de la velocidad media del flujo y del área de escurrimiento. Es importante notar que la velocidad considerada es aquella que es normal al área, por lo que al existir componentes tangenciales de magnitud importante se cometen errores que afectan los aforos. Considerando lo anterior se puede obtener el caudal a través de la siguiente relación:

$$Q = A * v$$

Ecuación 6: Fórmula para determinar el caudal

5.2 Tránsito de avenidas

Es una corriente de agua de magnitud importante que ocurre como consecuencia de una tormenta. El tránsito de avenidas es la técnica hidrológica utilizada para calcular el efecto del almacenamiento en un canal sobre la forma y movimiento de una onda de avenida. A medida que aumenta el caudal en un río, aumenta también el nivel del agua, y con él la cantidad almacenada en el canal temporalmente. Un hidrograma de crecida refleja el movimiento de una onda al pasar por una estación de control, conforme la onda se mueve aguas abajo su forma cambia, tal que una onda de creciente que viaja a lo largo de un canal aumenta su tiempo base y si el volumen permanece constante, rebaja su cresta, por lo que se dice que la onda es atenuada. (**Cahuana & Morales, 2007**)

5.3 Modelación hidrológica

Según **Sifontes & Moya, (2012)** la modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza 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.

5.3.1 Modelamiento con el HEC -HMS

El modelo HEC-HMS fue diseñado para simular los procesos lluvia–escurrimiento de sistemas de cuencas dendríticas. Permite resolver distintos problemas presentes en el estudio de grandes zonas geográficas.

Según Aguilar & Echeverría, (2018) para simular la respuesta hidrológica de una cuenca en HEC-HMS se utiliza varios componentes como: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada.

5.3.2 Modelo de la cuenca

El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca es decir los parámetros morfológicos necesarios para la simulación hidrológica. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos, el cual utilizan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca.

5.3.3 Hidrograma unitario SCS

Según manifiestan Cahuana & Morales (2007) los hidrogramas sintéticos, son obtenidos usando parámetros de la cuenca y características de la tormenta para simular un hidrograma natural.

Hidrogramas unitarios. -Son hidrogramas naturales o sintéticos de un centímetro de escurrimiento directo uniforme sobre toda la cuenca en un tiempo específico.

Número de curva SCS. - Se llama curva SCS, el hidrograma de escorrentía directa que es generado por una lluvia continua uniforme de duración infinita. La lluvia continúa puede considerarse formada de una serie infinita de lluvias de período tal que cada lluvia individual tenga una lámina (Cahuana & Morales 2007).

5.3.4 Determinación del número de la curva

Este método parte de la determinación del número de la curva (CN) como su nombre lo indica, parámetro que se obtiene de la relación del tipo y uso del suelo de la cuenca de estudio y mediante tablas elaboradas por hidrogramas unitarios SCS y con ayuda de Arc-GIS se calcula los parámetros necesarios

5.3.5 Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico calcula la entrada de precipitación requerida en una subcuenca.

5.3.6 Modelo de control

Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada corrida de una simulación. La información en las especificaciones de control incluye una fecha de inicio, una fecha de finalización y el intervalo de tiempo de la simulación.

5.4 Análisis de varianza

El análisis de la varianza es un método para comparar dos o más medias, que resuelve ambos problemas. Es un método que permite comparar varias medias en diversas situaciones; muy ligado, por tanto, al diseño de experimentos y, de alguna manera, es la base del análisis multivariante (Abraira & Vargas, 1996).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza, en la ciudad de Puyo, vía Ambato kilómetro 360, Norte E 45, la presente investigación se realizó en la parte alta y baja de la subcuenca del río Pambay la cual tiene una longitud de 5,26 km cauce principal y tiene una altitud que va desde los 900 msnm hasta los 1400 msnm.

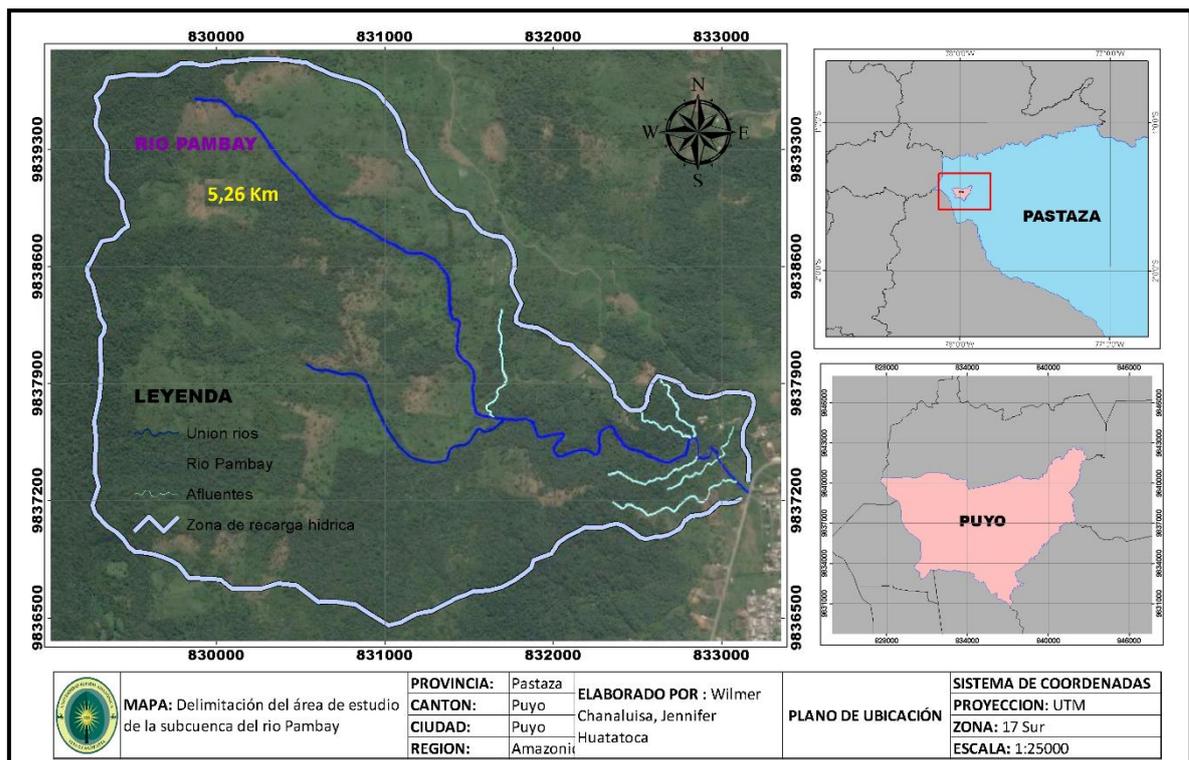


Figura 10: Figura 10: Ubicación geográfica de la subcuenca del Río Pambay

Fuente: Elaboración propia

3.2 Aspectos climáticos

2.2.1 Precipitación

De acuerdo al boletín climatológico mensual del **Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Ecuador (2019)**, la ciudad del Puyo registra una precipitación promedio mensual en el año 2019 de 426,27 mm en los meses de febrero, marzo, mayo y junio, en función a los datos analizados tenemos que los meses con mayor precipitación son mayo con 447 mm y junio con 460,7 mm.

3.3 Tipo de investigación

El siguiente proyecto corresponde a una investigación descriptiva y exploratoria, donde se utilizó métodos para la medición de caudales, análisis de las características físicas del suelo en los diferentes puntos de muestreo establecidos. Además, la investigación tiene un enfoque exploratorio en el que se realizó un recorrido de toda el área de estudio con la finalidad de conocer una descripción detallada de las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica estudiada.

3.4 Métodos de investigación

En el presente proyecto de investigación primero se hizo un reconocimiento general de toda la zona de estudio, donde se tomó las coordenadas geográficas del cauce principal, se identificó la cobertura vegetal que tiene cada sector, las características físicas de los suelos y las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica, además se utilizó varios métodos para la medición de caudales y pruebas de infiltración en los puntos previamente establecidos.

3.5 Delimitación de la zona de recarga del área de estudio

Para la delimitación de la subcuenca del río Pambay primero se realizó un recorrido de toda la zona de estudio donde se tomaron diferentes puntos con el GPS. Una vez obtenido las coordenadas geográficas, se ingresó los datos a google Earth Pro para identificar el cauce principal y los diferentes afluentes que alimentan la cuenca hidrográfica y mediante la ayuda del programa Global Mapper se generó las curvas de nivel para delimitar la zona de recarga hídrica.

3.6 Parámetros generales de la Subcuenca

Para la obtención de las características generales como el área, perímetro y la longitud del cauce principal de la subcuenca del río Pambay se utilizó el programa ARGICS 10.1 el cual permite calcular la longitud y superficie de los parámetros antes mencionados.

3.7 Características edafológicas de los suelos

Para determinar las características físicas de los suelos, se utilizó un cilindro de 7 cm de diámetro y 5 cm de altura en 2 puntos de muestreo a 20m y 100m de longitud. Las muestras se tomaron en el margen derecho e izquierdo del cauce principal uno en la parte alta y otro en la parte baja de la subcuenca en 3 tipos de cobertura vegetal: bosque, pastizal y mosaico para medir la densidad aparente y para determinar la textura del suelo.

3.8 Análisis de la textura del suelo

Para determinar la textura se tomó un total de 16 muestras en la superficie y en el subsuelo distribuidas de la siguiente manera: 8 muestras de suelo en la parte alta del bosque, 4 muestras en el pastizal y 4 muestras en el mosaico en la parte baja.

Para el análisis de la textura del suelo se utilizó el método de Bouyoucos el cual considera la siguiente metodología:

3.8.1 Método de Bouyoucus

Bouyoucus desarrolló un método para determinar el contenido de arcilla, limo y arena este método consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla, es una técnica rápida ya que no presenta pretratamientos en la muestra de suelo. Estos se obtienen mediante la separación de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro. Bouyoucus introdujo el uso del hidrómetro para determinar la distribución de tamaños de las partículas de los suelos (**Forsythe, 1985**).

3.8.2 El Hidrómetro de Bouyoucus

El uso del hidrómetro en forma general se basa en la velocidad diferencial de sedimentación de las partículas, con base a su tamaño, peso y medio en que se sedimentan. Se emplea un hidrómetro “especialmente calibrado”. La calibración especial se requiere porque conforme las partículas sedimentan, el hidrómetro cambia “su línea de flotación”, y no flota a una profundidad fija (**Núñez, 2006**).

3.8.3 Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación se basa en una suspensión que está relacionada con el tamaño de las partículas, así como la densidad y la viscosidad del medio de suspensión. El movimiento puede ejercer un efecto significativo, así como la ausencia o presencia de floculación en el sistema (**Crespo, 2004**)

3.8.4 Metodología aplicada para determinar la textura del suelo

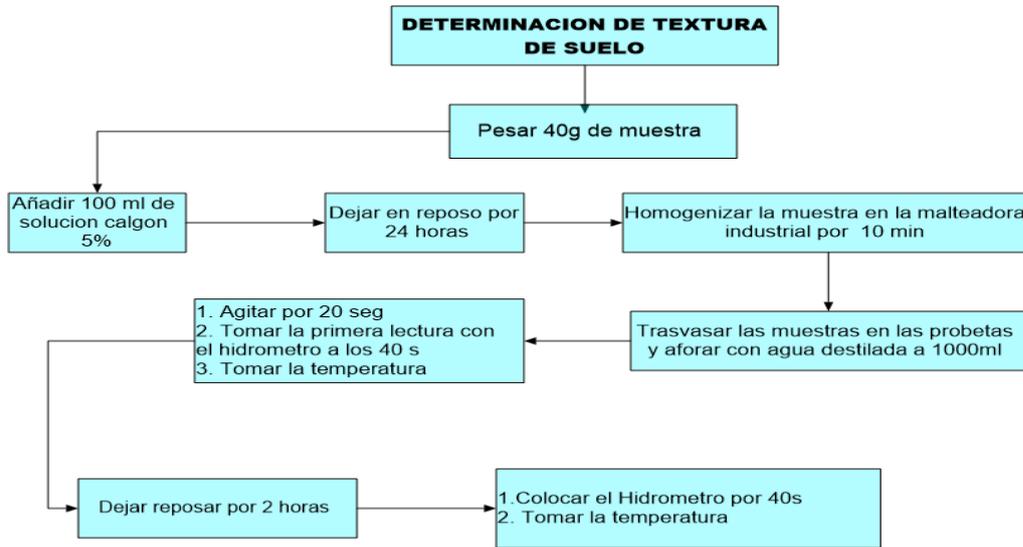


Figura 11: Determinación de la textura del suelo

Fuente: Gomez, 2013

La determinación de la textura en el laboratorio se basa en la medición de la velocidad de sedimentación de las partículas dispersas en el agua. Las partículas grandes se sedimentan con mayor rapidez que las partículas pequeñas (Gómez, 2013).

Para los cálculos de la textura del suelo, la lectura del hidrómetro fue corregida en base a la temperatura que se tomó en cada una de las muestras de acuerdo a la velocidad de sedimentación de Fisher- Oden (Gómez, 2013).

$$\% \text{ de Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 seg}}{\text{peso de la muestra (g) a } 105^{\circ}\text{C}} \times 100$$

Ecuación 7: Fórmula para determinar el % de arena

$$\% \text{ de Arcilla} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a las 2 horas} * 100}{\text{peso de la muestra (g) a } 105^{\circ}\text{C}}$$

Ecuación 8: Fórmula para determinar el % de arcilla

$$\% \text{ de Limo} = 100 - (\% \text{ Arcilla} + \% \text{ Arena})$$

Ecuación 9: Fórmula para determinar el % de limo

3.9 Densidad aparente del suelo

Para determinar la densidad aparente del suelo, se utilizó el método del cilindro simple que consiste en el siguiente procedimiento (Gutiérrez, 2010).

1. Tomar una muestra de suelo
2. Trasvasar el contenido a una capsula de humedad
3. Tomar el peso del suelo más la capsula
4. Ponga la muestra de suelo a 105 °C por 24 h
5. Tomar el peso seco del suelo del más la capsula
6. Tomar el peso de la capsula sola y realice las respectivas correcciones

Para los cálculos se utilizó las siguientes formulas:

$$Volumen\ del\ cilindro = \pi * r^2 * h$$

Ecuación 10: Fórmula para determinar el volumen del cilindro

$$Da = \frac{Peso\ suelo\ seco\ a\ 105\ ^\circ c}{Volumen\ del\ cilindro}$$

Ecuación 11: Fórmula para determinar la densidad aparente

4.1 Velocidad de infiltración

4.1.1 Método del infiltrometro de cilindro

De acuerdo a **Sepúlveda (1999)**, el principio de funcionamiento de un infiltrometro consiste en un cilindro abierto que se introduce suavemente en el suelo. Donde se somete a una carga de agua y se mide el volumen de este líquido que es drenado por unidad de tiempo, lo que constituye el termino como capacidad de infiltración.

4.1.2 Pruebas de infiltración en el Bosque – Pastizal – Mosaico

Para la medición de la velocidad de infiltración se seleccionaron 2 puntos: uno en la parte alta y otro en la parte baja de la subcuenca en 3 tipos de cobertura vegetal: bosque, pastizal y mosaico, para la cual se utilizó un balde de 18 litros, un cronómetro para tomar el tiempo y una regla en cm para determinar la diferencia de altura en el transcurso de 60 minutos. En la parte alta se tomaron datos de 8 pruebas de infiltración a 20 y a 100 m de longitud del cauce principal, 4 pruebas en el lado izquierdo y 4 en el lado derecho en la superficie y en el subsuelo a 1 m de profundidad. De la misma forma en la parte baja se tomó datos de 8 pruebas de infiltración.

4.2 Medición de la densidad de raíces finas

Para determinar la densidad de raíces finas se tomaron muestras de suelo en forma aleatoria en 4 puntos de medición en diferentes tipos de cobertura vegetal, en un cilindro de 5 cm de altura por 7 cm de diámetro se tomaron 4 muestras de suelo en el bosque, 2 muestras en el pastizal y 2 muestras en el mosaico. Para medir la longitud y el número de intersecciones de las raíces se utilizó papel milimetrado (**Rodríguez, 2004**).

La fórmula para determinar la densidad de raíces finas es la siguiente:

$$R = \frac{\pi * N * A}{2H}$$

Ecuación 12: Fórmula para determinar la longitud de raíces

Donde

R: longitud de las raíces

N: número de intersecciones de las raíces

A: área del diámetro interno

H: longitud total de las raíces por muestreo

4.3 Medición de aforo por la ecuación de Manning

Para medir el ancho y la profundidad del cauce principal, se seleccionaron 2 puntos de muestreo en una parte recta que no tenga curvas, posteriormente con la ayuda de una cinta métrica se midió 10 m en línea recta en dirección al cauce; la medición de la profundidad del río se midió en intervalos de 1 m.

Para determinar la pendiente se utilizó una cinta métrica donde se midió 5 m en dirección al cauce principal, luego con la ayuda de un nivel se realizó la nivelación entre la cinta métrica y el espejo de agua, luego se tomó la diferencia de altura que existe entre el punto más bajo con respecto al punto más alto.

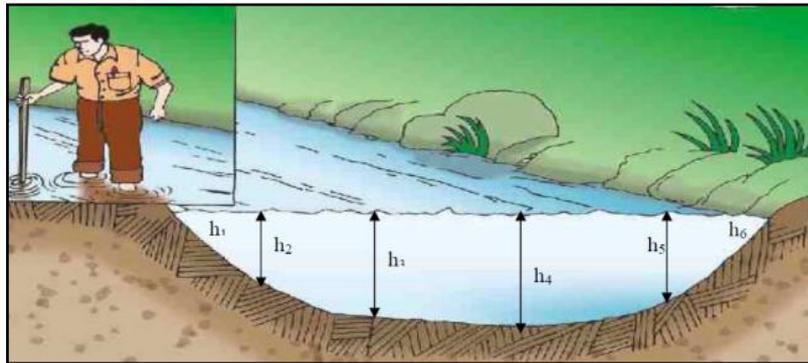


Figura 12: Esquema de la medición de la profundidad y ancho del río

Fuente: (Ministerio de agricultura y riego, 2015)

De acuerdo a **Hudson (1997)** para determinar la velocidad de la corriente se utiliza una ecuación empírica conocida como la fórmula de Manning

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Ecuación 13: Fórmula para determinar la velocidad de corrientes

Donde:

V: es la velocidad media de la corriente en metros por segundo

R: es el radio hidráulico en metros

S: es la pendiente media del canal en metros por metro

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

A continuación, se presenta el cuadro del coeficiente de rugosidad de Manning

Tabla 3: Valores de coeficiente de rugosidad de Manning

a) Canales sin vegetación	Valores
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
(b) Canales con vegetación	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

Fuente: Hudson,1997

4.4 Datos de Precipitación

La información de precipitación para el periodo de ensayo se recopiló de la estación biológica Pindo Mirador. Una vez recopilados los datos se realizaron los modelos de crecida SCS a través del software HEC- MHS.

4.5 Recursos Humanos y materiales

En el siguiente proyecto de investigación se utilizó los siguientes materiales, equipos, y software para el análisis de las características edafológicas y geomorfológicas de la cuenca hidrográfica.

4.5.1 Equipos

- GPS marca Garmin Modelo Etrex vista
- Cámaras fotográficas

4.5.2 Materiales

- Cuaderno de campo
- Cinta métrica
- Flexómetro
- Cilindro metálico
- Caneca

4.5.3 Software

- Software HEC-HMS
- Google Earth Pro
- ArcGIS 10.1
- Global mapper
- Infostat

CAPITULO IV

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Forma de la cima del área de estudio

De acuerdo con el manual de geomorfología, la forma de la cima de la subcuenca del río Pambay es redondeada. Las cimas redondeadas son habitualmente de forma convexa y en ellas no resulta inequívoca la delimitación precisa de la línea o divisoria hidrográfica (MAGAP, 2015)

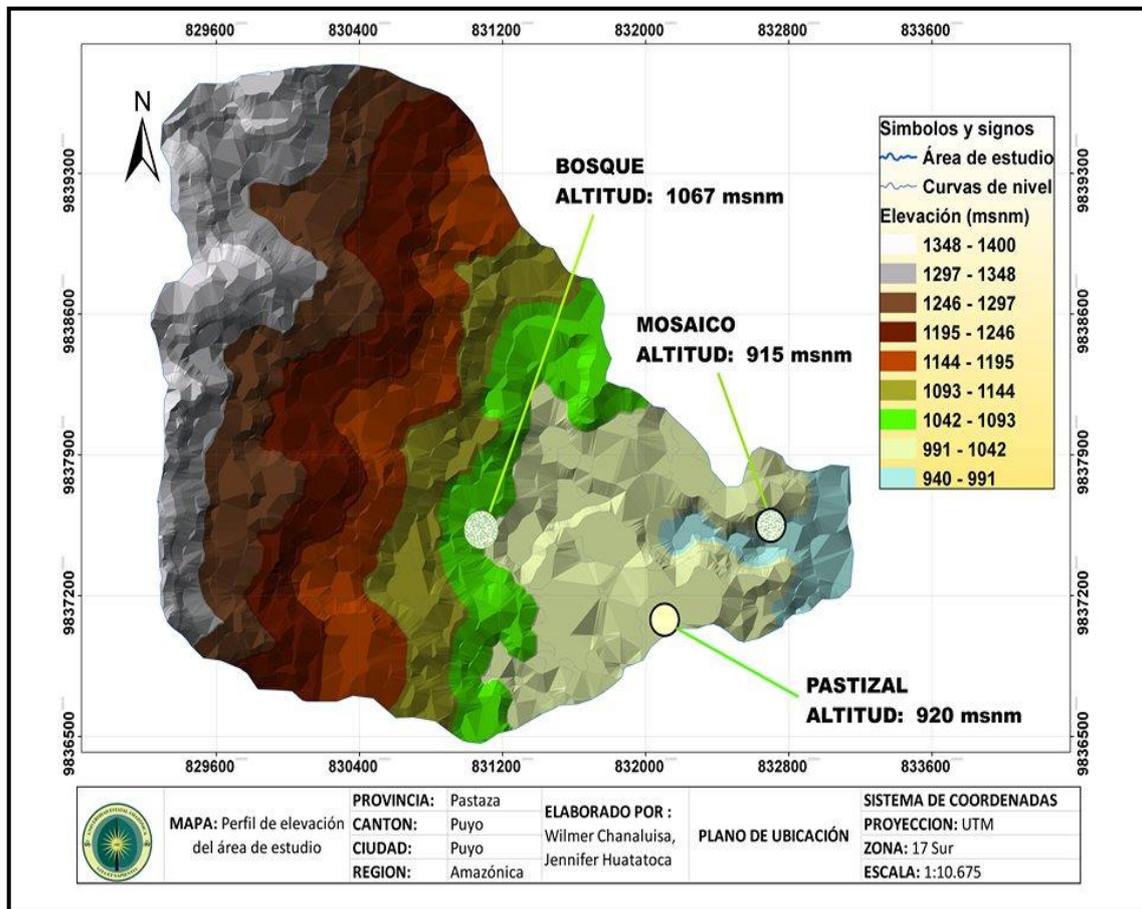


Figura 13: Forma de la cima y perfil de elevación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

4.2 Unidades geomorfológicas

La subcuenca del río Pambay presenta una geoforma de origen deposicional con una superficie de cono de esparcimiento con una pendiente de $> 5\%$.



Figura 14: Descripción de las unidades geomorfológicas del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estudios realizados por el **Instituto Espacial Ecuatoriano (2018)** en su proyecto de generación de información geoespacial de la ciudad del Puyo, se tienen como resultados que en los sectores de los tanques de agua cercanos a la subcuenca del río Pambay la descripción de las unidades geomorfológicas es la siguiente:

Conos. - Depósitos de material sobre amplias extensiones, por ríos probablemente divagantes. Se clasifican en: a) superficies de conos de esparcimientos (pendientes $< 5\%$); b) superficies de conos de esparcimientos disectados (pendientes entre el 2 al 70 %), situados al norte (Tanque de Agua) del área de estudio; c) superficies de conos de esparcimientos muy disectados (pendientes del 2 al 70 %), situados al este del área de estudio, cerca del sector Rancho Chelley; d) vertientes de conos de esparcimientos (pendientes de 12 a 150 %), distribuidos en toda el área de estudio.

4.3 Características geomorfológicas de la cuenca

De acuerdo a **Gálvez (2011)**, la caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje, etc. Algunos de estos parámetros geomorfológicos sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres.

4.3.1 Delimitación del área de estudio

La delimitación de la subcuenca se realizó mediante la metodología utilizada por Pérez (2015) la cual se hace sobre curvas de nivel, siguiendo las líneas divisorias, la cual es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación.

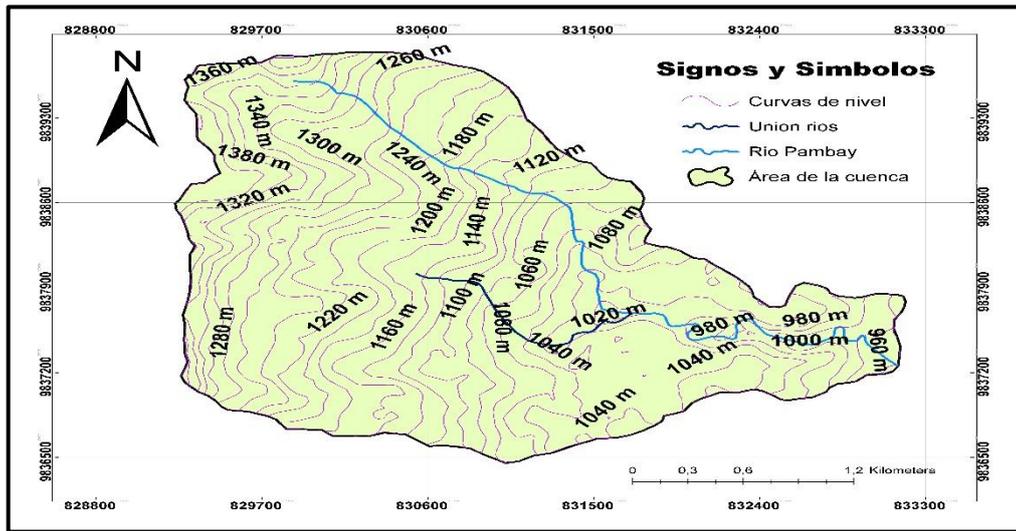


Figura 15: Delimitación de la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Delimitación de una cuenca por método digital en ArcGIS

En la delimitación de cuenca hidrográfica a partir de un Modelo Digital de Elevaciones, con la herramienta Hydrology del Spatial Analyst de ArcGIS se identificó el río principal y los ríos secundarios de la subcuenca del río Pambay (Ver Figura 16).

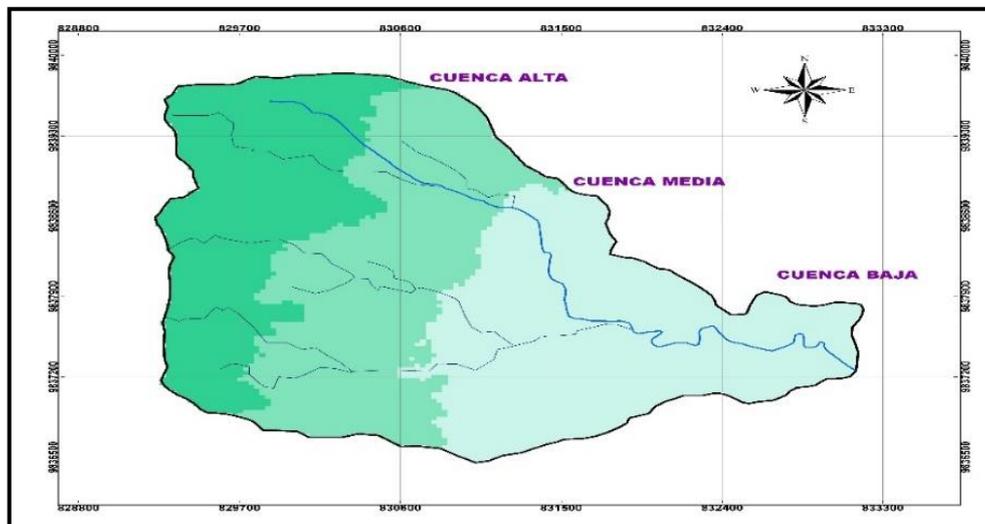


Figura 16: Delimitación de la subcuenca del río Pambay mediante la herramienta Hydrology

Fuente: Elaboración propia

4.4 Parámetros de forma

4.4.1 Área de la Cuenca (A)

Según los datos analizados en el software ArcGIS, el área de estudio correspondiente a la subcuenca del río Pambay tiene un área de 8,34 km², un perímetro de 13,09 Km y una longitud del cauce principal de 5,26 km.

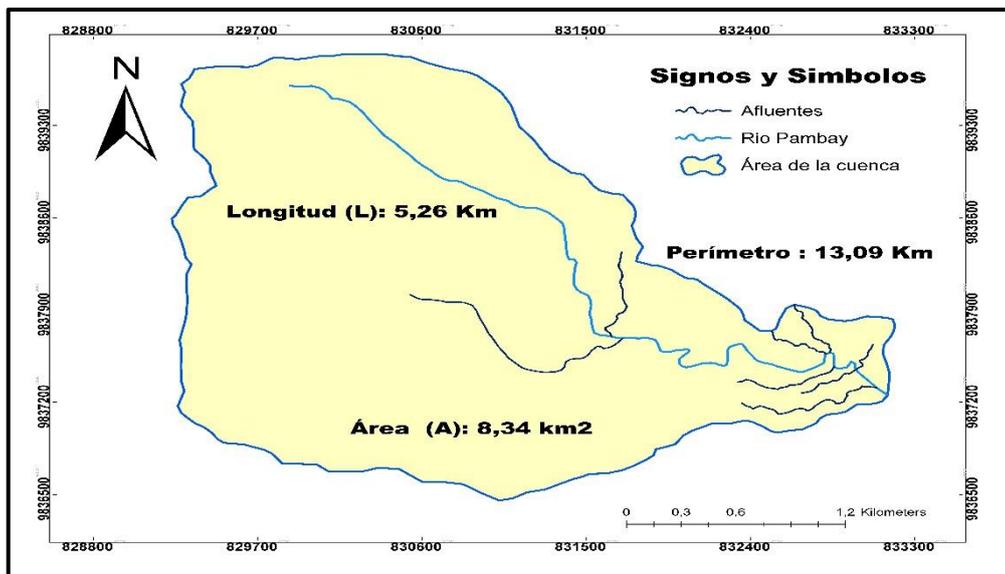


Figura 17: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

Diversos criterios se manejan en cuanto a las dimensiones que deben tener las cuencas.

Campos (1992) propone la clasificación de cuencas siguiente con base en su magnitud:

Tabla 4: Sistema de clasificación de cuencas según el área

Tamaño de la cuenca en (km ²)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- pequeña
500 a 2500	Intermedia – grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Campos, 1992

Según el sistema de clasificación de **Campos (1992)**, la subcuenca del río Pambay se considera una cuenca muy pequeña con un área de 8,34 km².

Aguirre (2007) manifiesta que existe una diferencia significativa entre una cuenca pequeña y una grande. En una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y cobertura, sobre las cuales el hombre tiene algún control. Este cambio se puede asimilar en la parte baja de la subcuenca del río Pambay donde hay un cambio en la cobertura vegetal que han sido remplazados por pastizales.

4.5 Forma de la cuenca hidrográfica

4.5.1 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

De acuerdo a **Caiza (2014)** la fórmula del índice de compacidad es la siguiente:

$$Kc = 0.2821 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 0.2821 \times \frac{13.09 \text{ Km}}{\sqrt{8.34 \text{ Km}^2}} = 1,27$$

El calculo del indice de compacidad de Gravelius de la Subcuenca del río Pambay es de 1,27 Km.

Tabla 5: Índice de compacidad de Gravelius

Índice de Kc	Descripción
1 – 1.25	Redonda – oval redonda
1.25 – 1.5	Ovalo redonda – ovalo oblonga
1.5 – 1.75	Ovalo oblonga – rectangular oblonga
>1.75	Rectangular oblonga – muy lobuladas

Fuente: Sellers *et al.*, (2017)

Según la clasificación que utiliza Gravelius el índice de compacidad de la subcuenca está en un rango de 1,25 a 1,50 la cual tiene una forma ovalo redonda a ovalo- oblonga.

De acuerdo a **Aguirre (2007)**, los valores cercanos a 1 indican que las cuencas tienden a una forma circular y con mayor facilidad para concentrar la escorrentía. Sin embargo, las cuencas alargadas presentan alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo.

4.5.2 Factor de forma de la cuenca (Kf)

Aplicando la fórmula propuesta mediante los datos de la subcuenca obtenidos anteriormente se tiene:

$$Kf = \frac{1,97Km}{4,24 Km} = 0,46$$

$$B = \frac{8,34 Km^2}{4,24 Km} = 1,97 km$$

$$Kf = \frac{8,34 Km^2}{(4,24 Km)^2} = 0,46$$

De acuerdo al sistema de clasificación del Factor de forma de Horton la forma de la subcuenca es ligeramente ensanchada

Según manifiesta en su publicación **Sellers et al (2017)**, el factor de forma manifiesta la tendencia de la cuenca a crecidas: cuando el factor forma es similar a 1, representa una cuenca de forma redondeada mientras que la cuenca con factor de forma bajo, se caracteriza por ser una cuenca alargada, con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios, sujeta a crecientes de menor magnitud.

Tabla 6: Índice del factor forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy Alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ensanchada
0.60 a 0.80	Muy ensanchada
0.80 a 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Sellers et al (2017)

Aguirre (2007) manifiesta que la superficie de la cuenca nos ofrece una idea de la magnitud de la misma. Así, en las cuencas ovaladas, las aguas circulan por más cauces secundarios y su tiempo de concentración (tiempo que tarda la gota más alejada de la sección de salida en llegar hasta dicha sección) será mayor que en las cuencas alargadas, en las cuales las gotas de agua llegan.

4.6 Orden de ríos o corrientes de agua y sistema de drenaje

Para obtener la formación de las corrientes de agua en la subcuenca de análisis se utilizó la herramienta Hydrology de ArcGIS y para identificar el orden de las corrientes se utilizó los comandos Stream Link y Stream Order.

En la figura 18 se puede observar que la subcuenca del río Pambay es de orden 4 donde se obtiene los siguientes resultados:

- Corrientes de primer orden: 28
- Corrientes de segundo orden: 5
- Corrientes de tercer orden: 2
- Corrientes de cuarto orden: 1

El número de corrientes que tiene la subcuenca del río Pambay es de 36 corrientes en total

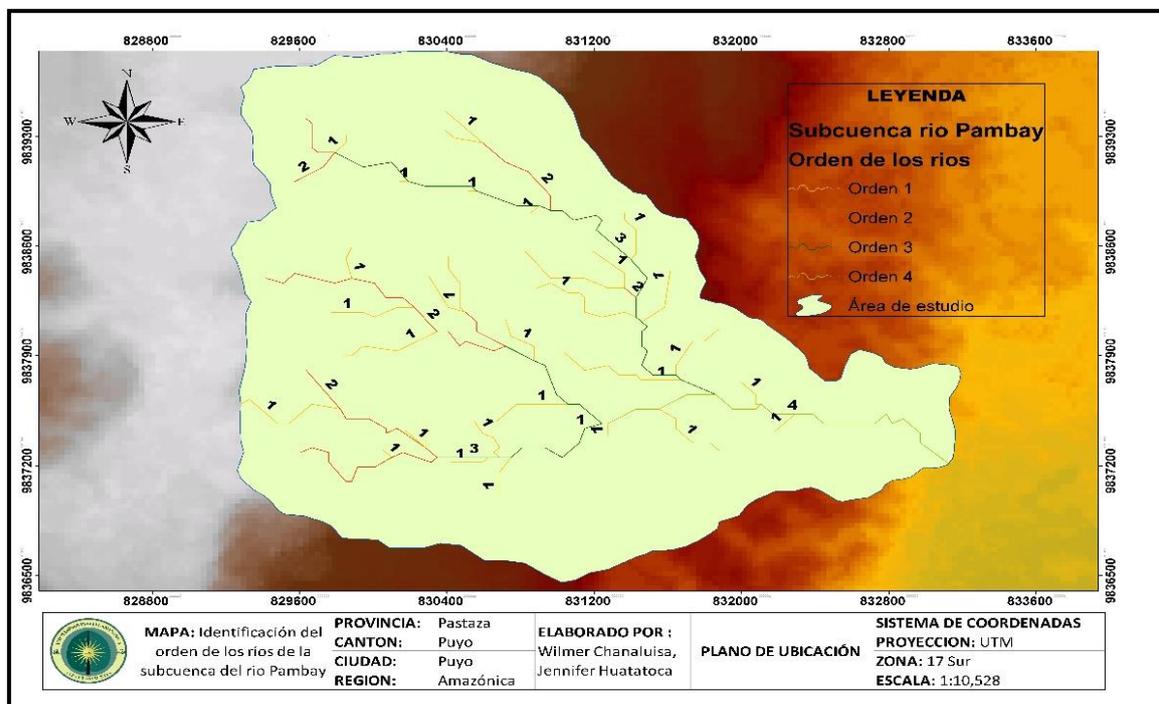


Figura 18: Orden de los ríos y los sistemas de drenaje de la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

4.7 Parámetros de relieve

4.7.1 Pendiente media del cauce principal

Para la obtención de la pendiente media del cauce principal se utilizó la siguiente fórmula

$$S = \frac{\Sigma H}{L} = \frac{0,102 \text{ m}}{5\text{m}} = 0,0204 = 2,04\%$$

Tabla 7: Rangos de la pendiente media del cauce principal

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases de pendiente
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

Fuente: Monsalve, 1992

Según la Tabla 7 la pendiente del cauce principal de la subcuenca se encuentra en un rango de 1 a 5 la misma que corresponde a una clase suave.

4.7.2 Curva hipsométrica de la subcuenca del río Pambay

En la figura 19 indica a una altitud de 1.150 msnm y un porcentaje de área acumulada de 53,15 % , además se puede observar que en la cota mínima de 900 msnm hay una área acumulada de 100%, a medida que la altitud cambia disminuye el porcentaje del área acumulada.

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación, además la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca por encima de una cota determinada.

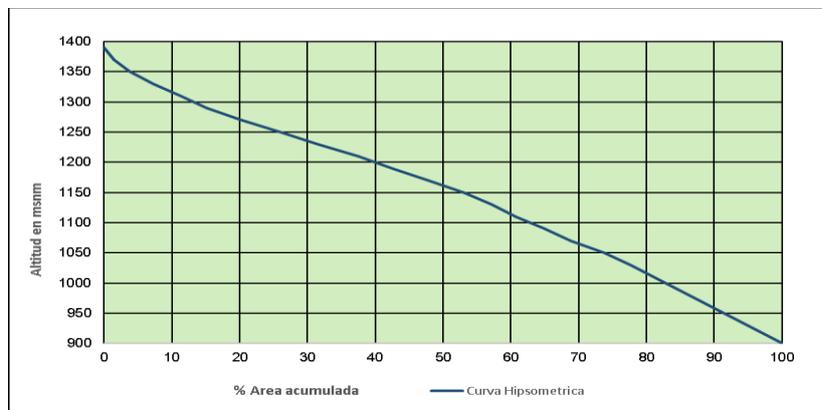


Figura 19: Curva Hipsométrica del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los tipos de curva hipsométrica la subcuenca del río Pambay presenta una curva tipo B (figura 4) es decir es una cuenca en estado de equilibrio.

4.8 Parámetros relativos a la red hidrográfica

4.8.1 Densidad de drenaje

Aplicando la fórmula se obtuvo la densidad de drenaje de la subcuenca de 2,67 km/km², la misma que de acuerdo a la Tabla 8 de la categoría de Horton se encuentra en un rango de drenaje alto.

$$Dd = \frac{L}{A} = \frac{22,3 \text{ Km}}{8,34 \text{ Km}^2} = 2,67 \frac{\text{Km}}{\text{Km}^2}$$

Clases de densidad de drenaje

Tabla 8: Densidad de drenaje de cuencas

Densidad de Drenaje (Km/Km2)	Categoría
<1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: Sellar *et al*, 2017

Según Sellar *et al* (2017) en su publicación menciona que cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

De acuerdo a Aguirre (2007) por lo común se encuentran bajas densidades de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil. En cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso.

La densidad de drenaje de la subcuenca del río Pambay es alta, esto depende mucho de cobertura vegetal y el tipo de uso de suelo de la zona de estudio. La densidad de drenaje es alta porque la parte baja de cuenca se encuentra cubierta por pastizales, esto hace que la respuesta frente a una tormenta sea más rápida, evacuando el agua en menos tiempo.

4.8.2 Densidad de corrientes

Es la relación entre el número de corrientes y el área drenada.

La fórmula que se aplica para calcular la densidad de corrientes es la siguiente:

Donde:

Dc = Densidad de corrientes

Nc= Numero de corrientes

A= Área total de la cuenca en Km²

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

Aplicando la fórmula:

$$Dc = \frac{36 \text{ corrientes}}{8,34 \text{ Km}^2} = 4,31 \frac{\text{corrientes}}{\text{Km}^2}$$

4.9 Determinación de la textura del suelo

De acuerdo a los resultados de análisis en el laboratorio de suelos, en la parte alta y baja de la subcuenca del río Pambay se identificaron 4 clases texturales de suelo (Tabla 9) en diferentes tipos de cobertura vegetal.

En la tabla 9 se puede observar, que la textura que más predomina en la subcuenca del río Pambay en la parte alta en la cobertura vegetal correspondiente a bosque es la clase franco arcillosa, seguido de la clase arcilloso, franco arenoso y franco mientras que en la parte baja hay variedad en la clase textural en el pastizal se identificó 3 clases texturales: franco, franco arcilloso y franco arenoso mientras que en el mosaico se encontró 2 clases de textura de suelo que son arcilloso y franco arcilloso.

Tabla 9: Determinación de la textura del suelo en el área de estudio

Nro. muestra	Tipo de muestra	Distancia desde el curso del rio	Tipo de cobertura vegetal	Clase textural	Velocidad de infiltración (cm/h)
1	Superficial	20 m	Bosque	Franco Arcilloso	0,10
2	Profunda	20 m	Bosque	Franco Arcilloso	0,00
3	Superficial	50 m	Bosque	Franco Arcilloso	0,09
4	Profunda	50 m	Bosque	Franco arcilloso	0,06
5	Superficial	20 m	Bosque	Arcilloso	0,14
6	Profunda	20 m	Bosque	Franco arenoso	0,03
7	Superficial	50 m	Bosque	Franco	0,21
8	Profunda	50 m	Bosque	Franco arenoso	0,03
9	Superficial	20 m	Pastizal	Franco arcilloso	0,21
10	Profunda	20 m	Pastizal	Franco	0,20
11	Superficial	50 m	Pastizal	Franco arenoso	0,01
12	Profunda	50 m	Pastizal	Franco arcilloso	0,00
13	Superficial	20 m	Mosaico	Arcilloso	0,21
14	Profunda	20 m	Mosaico	Arcilloso	0,02
15	Superficial	50 m	Mosaico	Franco arcilloso	0,29
16	Profunda	50 m	Mosaico	Arcilloso	0,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 en los resultados obtenidos de acuerdo al análisis de la clase textural en relación a la velocidad de infiltración en el área de estudio tenemos que la velocidad más alta en el bosque es de 0,21 cm/h en la clase franco mientras que la más baja se registra en la clase franco arcilloso donde no se infiltró el agua.

En la cobertura vegetal que corresponde al pastizal tenemos que la velocidad de infiltración más alta se registra en la clase textural franco arcillosa con 0,21 cm/h mientras que la más baja se registra en la clase franco arcilloso y franco arenoso.

En el mosaico la velocidad de infiltración más alta que registra es la clase textural franco arcilloso con 0,29 cm/h mientras que en la clase arcillosa se puede ver que el agua no se infiltró.

Según **Duke, (1992)** la textura del suelo es el factor principal que afecta la velocidad de infiltración de los suelos. En general, los suelos ásperos(arenosos) tienen velocidades de infiltración más altas que los de textura más suave (arcillosos) y los de textura media (francos).

De acuerdo a **López, (2011)** la velocidad de infiltración presenta valores muy variables en el espacio y en el tiempo, siendo menor en texturas pesadas o arcillosas.

Según los datos analizados en los 3 tipos de cobertura vegetal y de acuerdo a los autores tenemos que la velocidad de infiltración presenta una variación de acuerdo al tipo de textura del suelo.

Según (**Illescas, 2007**) la velocidad de infiltración con que el agua penetra en el suelo depende de varios factores, entre lo que se destacan principalmente la estructura y textura del suelo, el contenido de humedad del suelo, la compactación, la temperatura del agua y el suelo, y el estado químico-físico del suelo.

5.1 Medición de la densidad de raíces finas

La fórmula que se aplicó para determinar la densidad de raíces finas es la siguiente:

$$R = \frac{\pi * N * A}{2H}$$

Donde

N: número de intersecciones de las raíces

A: área del diámetro interno

H: longitud total de las raíces por muestreo

5.1.1 Densidad de raíces en el área de estudio

En la Tabla 10 se puede observar que en el bosque se concentra la mayor densidad de raíces, con un valor de 0,18 y 0,47 cm/cm³ a 20 y 50 metros respectivamente, esto se debe gracias a la gran cantidad de bosque nativo que existe en la parte alta de la cuenca, que está cubierta con especies de árboles nativos con una altura promedio de 18 metros, mientras que en la cobertura vegetal que corresponde a mosaico y pastizal se registran valores bajos en la densidad de raíces.

Guerra, et al (2005) señala en su publicación de análisis de las raíces en diferentes tipos de bosque que en los bosques existe una gran variabilidad en la producción de raíces finas y gruesas, según sea el tipo de clima donde se desarrollan, tipo de especie, estado de desarrollo o edad de los individuos.

Tabla 10: Densidad de raíces en tres tipos de cobertura vegetal: bosque, pastizal y mosaico

Tipo de cuenca	Puntos de muestreo	Tipo de cobertura vegetal	Margen del río	Distancia desde el curso del río	Tipo de muestra	Densidad de raíces (cm/cm ³)
Cuenca alta	1	Bosque	Izquierdo	20 m	Superficial	0,18
	2	Bosque	Derecho	50 m	superficial	0,47
Cuenca baja	3	Pastizal	derecho	20 m	superficial	0,14
	3	Pastizal	derecho	50 m	superficial	0,034
	4	Mosaico	derecho	20 m	superficial	0,046
	4	Mosaico	derecho	50 m	superficial	0,1

Fuente: Elaboración propia

5.2 Altura de hojarasca y altura de humus en el área de estudio

La tabla 11 indica que en el bosque la altura de la hojarasca en la parte alta de la subcuenca del río Pambay es de 7 y 8 cm, mientras que en la parte baja en el mosaico la altura es de 4 cm, en cuanto a la altura del humus en el bosque se encontró la altura de 10 cm en relación al mosaico que tiene 4 cm. Cabe mencionar que en el pastizal no existe hojarasca.

De acuerdo a **Santos, et al (2015)**, el aumento de humus contribuye a mejorar la estructura edáfica e incrementa la capacidad de infiltración, almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica en el suelo. La acumulación y descomposición de la hojarasca y su conversión en humus dependen de factores como la productividad primaria, la composición y la estructura de la vegetación, los flujos de viento y agua, la temperatura y la humedad en el ambiente.

Tabla 11: Determinación de altura de hojarasca y humus en el bosque y mosaico

Punto de muestreo	Tipo de cobertura vegetal	Margen del río	Distancia desde el curso del río	Tipo de muestra	Altura de hojarasca (cm)	Altura de humus (cm)
1	Bosque	izquierdo	20 m	superficial	2	5
1	Bosque	izquierdo	50 m	superficial	2	4
2	Bosque	derecho	20 m	superficial	8	10
2	Bosque	derecho	50 m	superficial	7	10
4	Mosaico	derecho	20 m	superficial	4	6
4	Mosaico	derecho	50 m	profunda	4	7

Fuente: Elaboración propia

5.3 Identificación de los horizontes del suelo

La descripción de un perfil consiste en la descripción completa de los horizontes y capas. En la subcuenca del río Pambay en lo que se refiere al perfil del suelo se identificó 3 clases de horizontes (Ver figura 20).

Horizonte O: Esta capa consta de todo el material orgánico que se encuentra en la superficie del suelo, como las hojas y la turba.

Horizonte A: Se caracteriza por tener un color oscuro, debido a la gran cantidad de materia orgánica

Horizonte B: Elementos minerales finos

5.3.1 Descripción de los horizontes del suelo

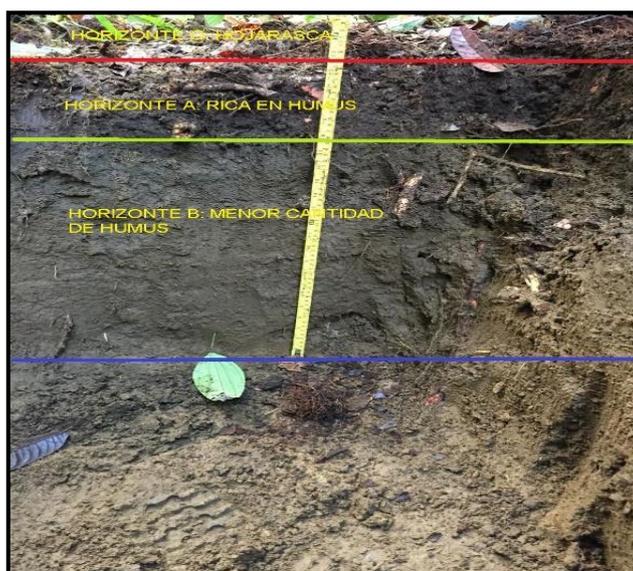


Figura 20: Identificación de los tipos de horizonte en la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

5.4 Pruebas de infiltración

En la prueba de infiltración en la superficie en el bosque a 20 metros de longitud del cauce principal (figura 21) se puede observar que la velocidad de infiltración en el minuto 1 es de 0,20 cm/min mientras va pasando el tiempo al llegar al minuto 60 la velocidad disminuye teniendo un valor aproximado de 0,10 cm/min, mientras que para la infiltración acumulada en el minuto 1 se registra una infiltración de 0,2 cm y para el minuto 60 se registra una infiltración acumulada de 6cm.

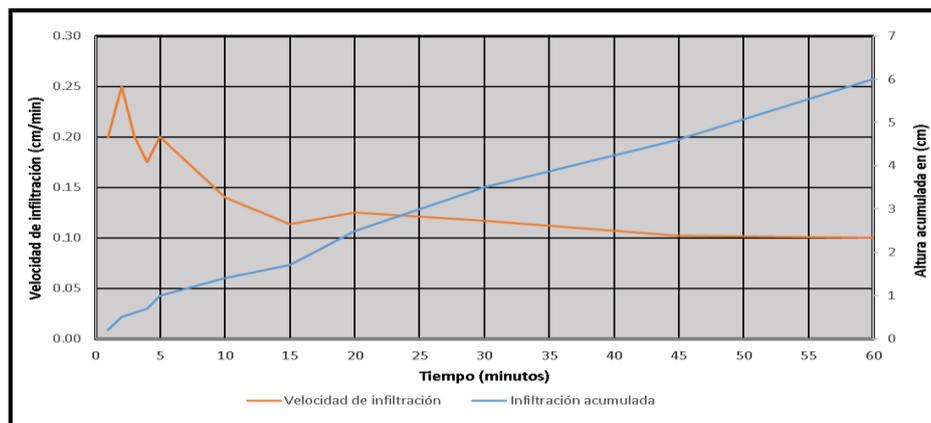


Figura 21: Prueba de infiltración superficial en el bosque

Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Prueba de infiltración a 1 m de profundidad en el bosque

En la figura 22 la velocidad de infiltración en el minuto 1 es 0 mientras que en el minuto 60 es de 0,06 cm/min, además se puede observar que en los primeros 4 minutos la velocidad es 0 por lo tanto la infiltración acumulada será 0, mientras que en el transcurso de 60 minutos la infiltración acumulada es de 3,5 cm. En relación a la prueba de infiltración en el bosque se observa que en la superficie hay una mayor infiltración acumulada.

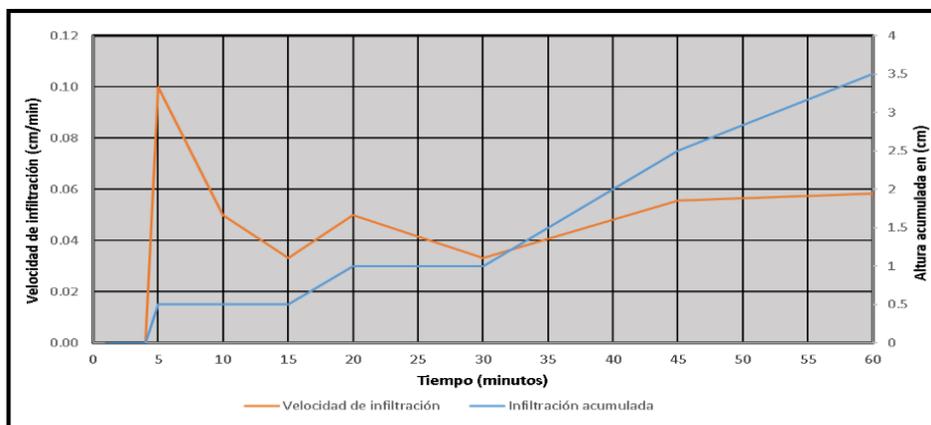


Figura 22: Prueba de infiltración a 1 m de profundidad en el Bosque

Fuente: Elaboración propia

Cahuana & Morales (2009) manifiestan que en la cobertura vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración, una cobertura vegetal densa favorece la infiltración y dificulta el escurrimiento superficial del agua. Una vez que la lluvia cesa, la humedad del suelo es retirada a través de las raíces, aumentando la capacidad de infiltración para próximas precipitaciones.

5.4.3 Prueba de infiltración en la superficie en el pastizal

En la figura 23 en la prueba de infiltración en la superficie en la cobertura vegetal correspondiente a pastizal se puede observar que la velocidad de infiltración en el minuto 1 es de 0,30 cm/min mientras va pasando el tiempo al llegar al minuto 60 la velocidad disminuye teniendo un valor aproximado de 0,21 cm/min, mientras que para la infiltración acumulada en el minuto 1 se registra una infiltración de 0,3 cm y para el minuto 60 se registra una infiltración acumulada de 12,5 cm.

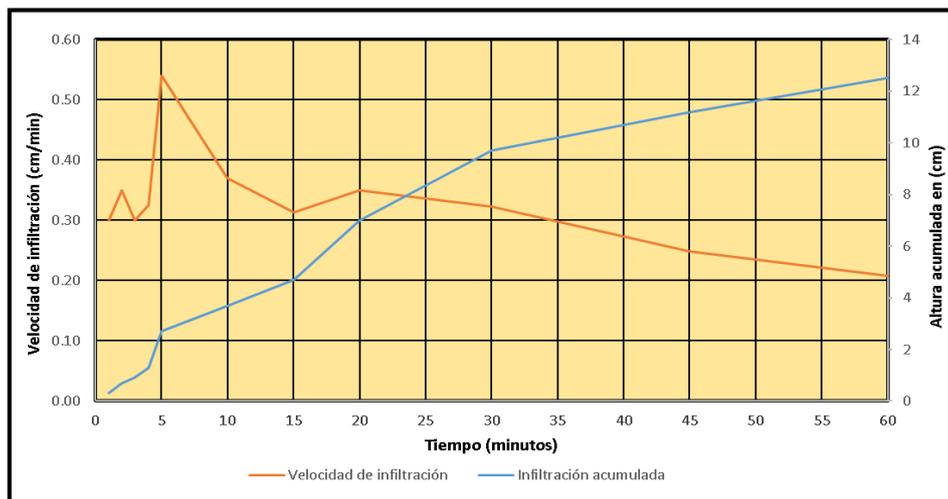


Figura 23: Prueba de infiltración superficial en el pastizal

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Prueba de infiltración a 1m de profundidad en el pastizal

En la figura 24 se observa que en los primeros 10 minutos la velocidad de infiltración va aumentando paulatinamente, mientras que a partir del minuto 30 la velocidad empieza a disminuir hasta llegar de nuevo a 0,20 cm/min, mientras que para la infiltración acumulada tenemos que en el minuto 60 se registra la mayor infiltración acumulada con un valor de 11,9 cm en relación a la infiltración inicial.

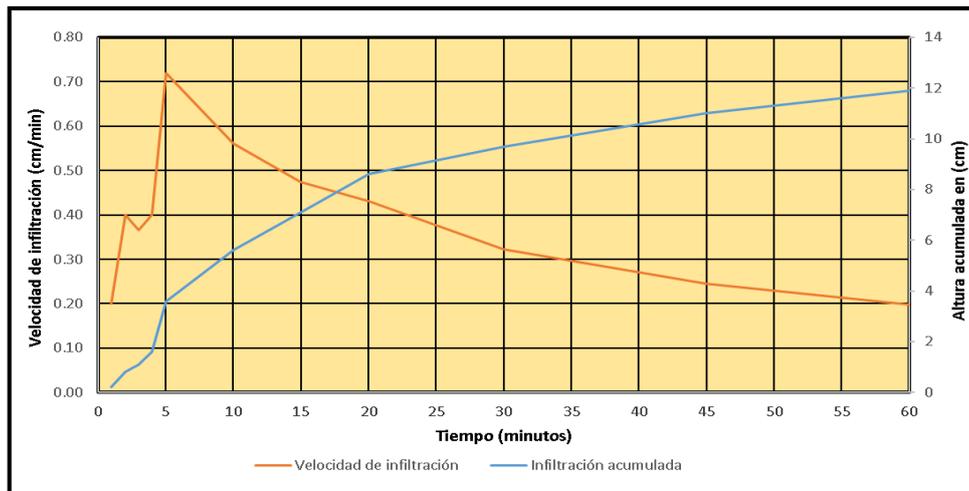


Figura 24: Prueba de infiltración a 1 metro de profundidad en el pastizal

Fuente: Elaboración propia

5.4.5 Prueba de infiltración en la superficie en el mosaico

En la figura 25 se observa que en los primeros 4 minutos la velocidad de infiltración no varía mucho la cual está en un rango 0,20 a 0,23 cm/min, a partir del minuto 5 la velocidad se va incrementando paulatinamente hasta llegar al minuto 60 donde vuelve a disminuir en relación a la velocidad inicial, mientras que para la infiltración acumulada tenemos que en el minuto 45 y 60 se registra una infiltración acumulada que va desde 10,7 a 12,8 centímetros.

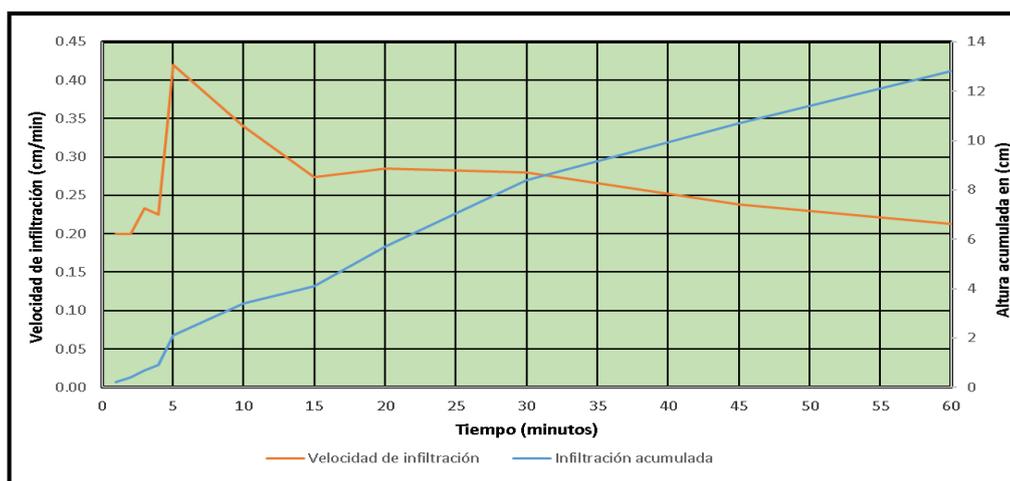


Figura 25: Prueba de infiltración superficial en el mosaico

Fuente: Elaboración propia

5.4.6 Prueba de infiltración a 1 metro de profundidad en el mosaico

En la figura 26 se observa como la velocidad de infiltración va disminuyendo hasta que llega al minuto 30 donde se mantiene, mientras que para la infiltración acumulada se observa que a partir del minuto 20 la infiltración acumulada va aumentando hasta llegar al minuto 60 donde se registra una tasa de infiltración baja de 0,9 cm.

La velocidad a la que el agua penetra en el suelo es, en general, elevada al inicio de la infiltración debido a que el gradiente matricial de succión al inicio es elevado en las capas superficiales en particular cuando el suelo está seco, y esta velocidad tiende a decrecer a medida que transcurre el tiempo (Buol et al., 1981).

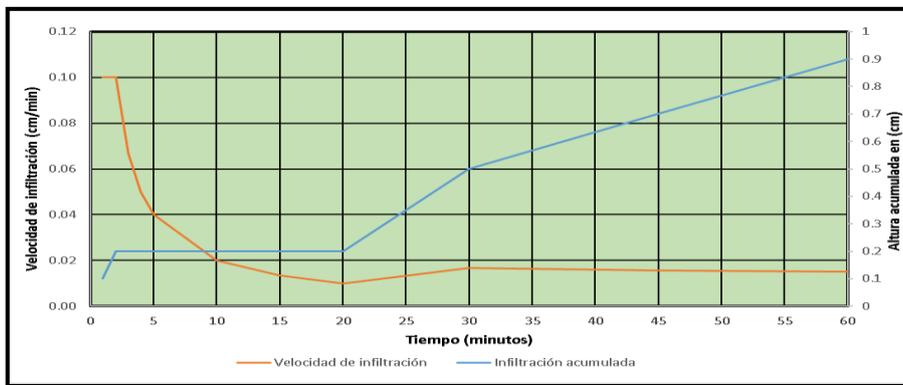


Figura 26: Prueba de infiltración a 1 metro de profundidad en el mosaico

Fuente: Elaboración propia

5.5 Análisis de caudales

5.5.1 Sección transversal en la parte alta del río Pambay

En la figura 27 y 28 el promedio de la profundidad del río en la parte alta es de 0,26 cm, mientras que el ancho promedio del río es 8,15 metros. La sección del río presenta una forma triangular, además se puede observar que la parte más profunda se encuentra en el centro.

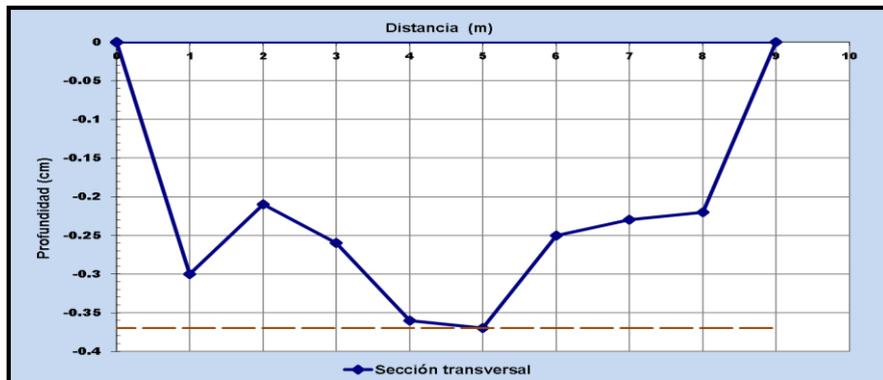


Figura 27: Profundidad inicial del río medida en dirección al cauce principal en la parte alta de la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

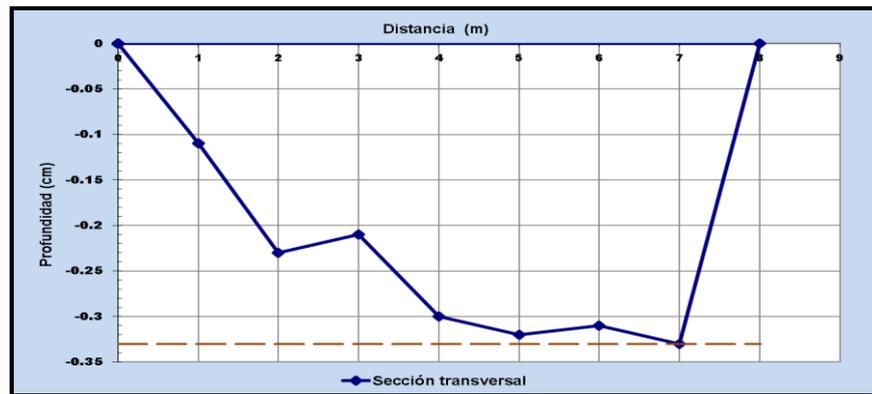


Figura 28: Profundidad final del río medida en dirección al cauce principal en la parte alta de la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Sección transversal en la parte baja del río Pambay

En la figura 29 y 30 el promedio de la profundidad del río en la parte baja de la cuenca cerca al dique Pambay es de 0,36 cm, mientras que el ancho promedio del río es 8,05 metros. La sección del río presenta una forma triangular, además se puede observar en la figura 27 que la parte más profunda está en la parte derecha, mientras que en la figura 29 la parte más profunda en el lado izquierdo.

De acuerdo a los resultados de caracterización hidrológica de **Rodríguez (2013)** la subcuenca del río Pambay tiene un ancho de 11,7 m y una profundidad media de 0,90 m.

Al comparar los datos obtenidos sobre la profundidad y el ancho del cauce principal se tiene que los resultados se acercan a los obtenidos por **Rodríguez (2013)**, cabe mencionar que la profundidad y ancho varía de acuerdo al lugar donde se va a realizar la medición de la sección transversal del río.

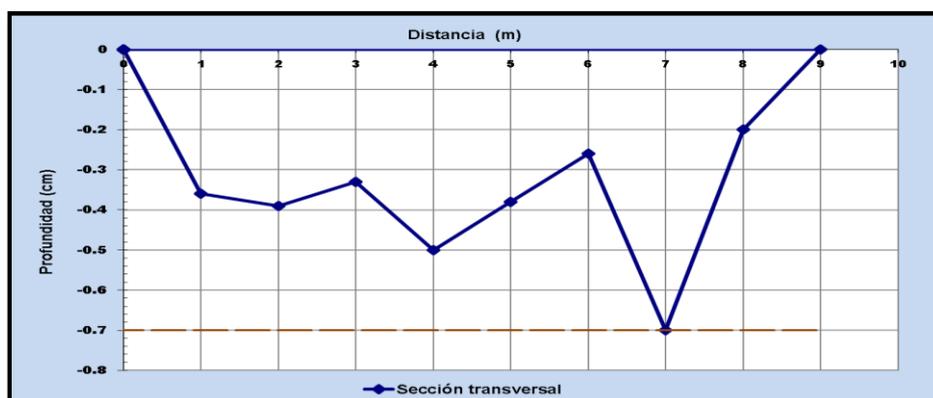


Figura 29: Profundidad inicial del río medida en dirección al cauce principal en la parte baja de la subcuenca del río cerca al dique Pambay

Fuente: Elaboración propia

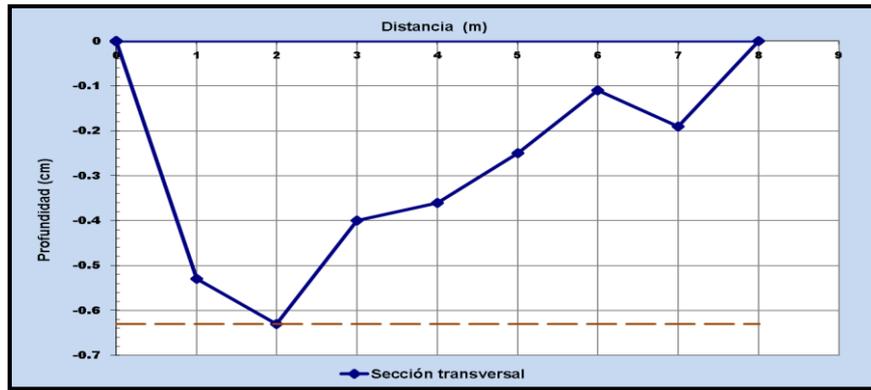


Figura 30: Profundidad final medida a 10 m de distancia en dirección al cauce principal en la parte baja de la subcuenca del río cerca al dique Pambay

Fuente: Elaboración propia

5.6 Análisis de caudal de la subcuenca del río Pambay

En la figura 31 se puede observar que el mes de febrero registra el caudal más alto con 5,2 m³/seg con una velocidad de 0,74 m/seg, seguido del mes de junio el cual tiene un caudal de 4,3 m³/seg con una velocidad de 0,61 m/seg, mientras que los meses que menos caudal registra son abril y marzo con un promedio de 3,5 m³/seg y una velocidad promedio de 0,49 m/seg. Según **Rodríguez (2013)** en los resultados de la caracterización hidrológica de su estudio obtuvo que la subcuenca del río Pambay tiene una velocidad media de 0,30 m/seg y el caudal es de 2,10 m/seg.

De acuerdo a **Peñañiel (2007)** en los estudios realizados en la subcuenca del río Pambay obtuvo que el caudal del río es de 4 m³/seg.

Según los datos obtenidos en la medición del caudal y la velocidad en los meses de febrero, marzo, abril y junio en la zona de estudio y al comparar con otros autores los resultados obtenidos no presentan una variación considerable, esta variación dependerá de las condiciones climáticas de la zona en diferentes periodos de tiempo.

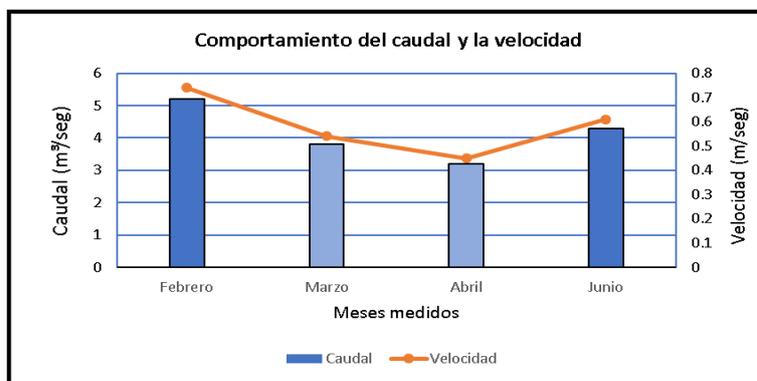


Figura 31: Comportamiento de caudales de la subcuenca del Río Pambay

Fuente: Elaboración propia

5.7 Análisis de varianza

En el análisis de varianza y prueba de comparación de Duncan en relación a la velocidad de infiltración a 60 minutos y el tipo de cobertura vegetal que existe en la zona de estudio se señala que no existe diferencias significativas.

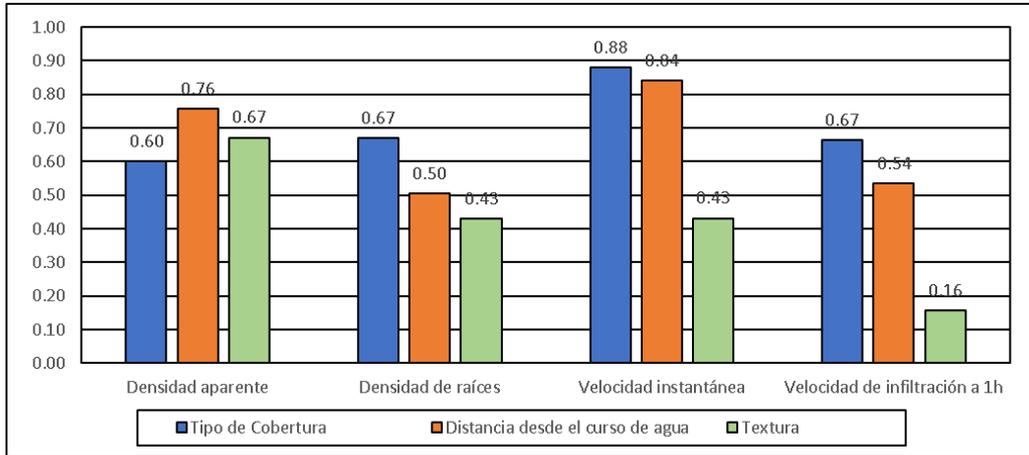


Figura 32: Análisis de varianza y prueba de comparación de Duncan en relación a la velocidad de infiltración

Fuente: Elaboración propia

5.8 Hidrograma de crecida HEC – HMS

En la figura 33 en la simulación realizada el 21 y 22 de junio del 2019 se tiene como resultado que el 21 de junio no presenta variación de caudal la cual se mantiene en un promedio de 4,5 m³/s, mientras que el 22 de junio se puede observar que la precipitación a las 11:00 es de 20 mm con un caudal de 5,2 m³/s y a las 12:00 el caudal aumenta significativamente llegando a tener un caudal pico de 20,9 m³/s. Cabe mencionar que este caudal pico se incrementó en 1 hora en relación a la intensidad y duración de precipitación.

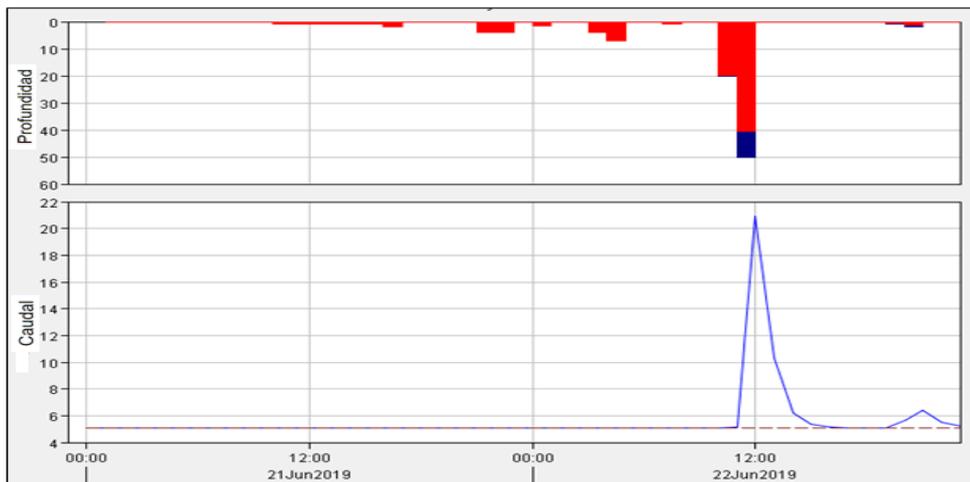


Figura 33: Hidrograma de crecidas de la subcuenca del río Pambay

Fuente: Elaboración propia

5.9 Zonas vulnerables a inundaciones

Para la identificación de las zonas vulnerables a inundaciones en el área de estudio se utilizó la herramienta Multi Ring Buffer de ArcGIS, la cual permite crear polígonos (zona de influencia) a diferentes distancias. Para el análisis se creó polígonos a 20, 50 y 100 metros en relación al río principal, además se utilizó una capa de los poblados.

En la figura 34 se puede observar que no existe zonas vulnerables a inundaciones que puedan poner en peligro zonas de asentamiento humano, además se observa que el único poblado que se encuentra dentro del área de estudio es el Mirador el cual está fuera de los polígonos generados.

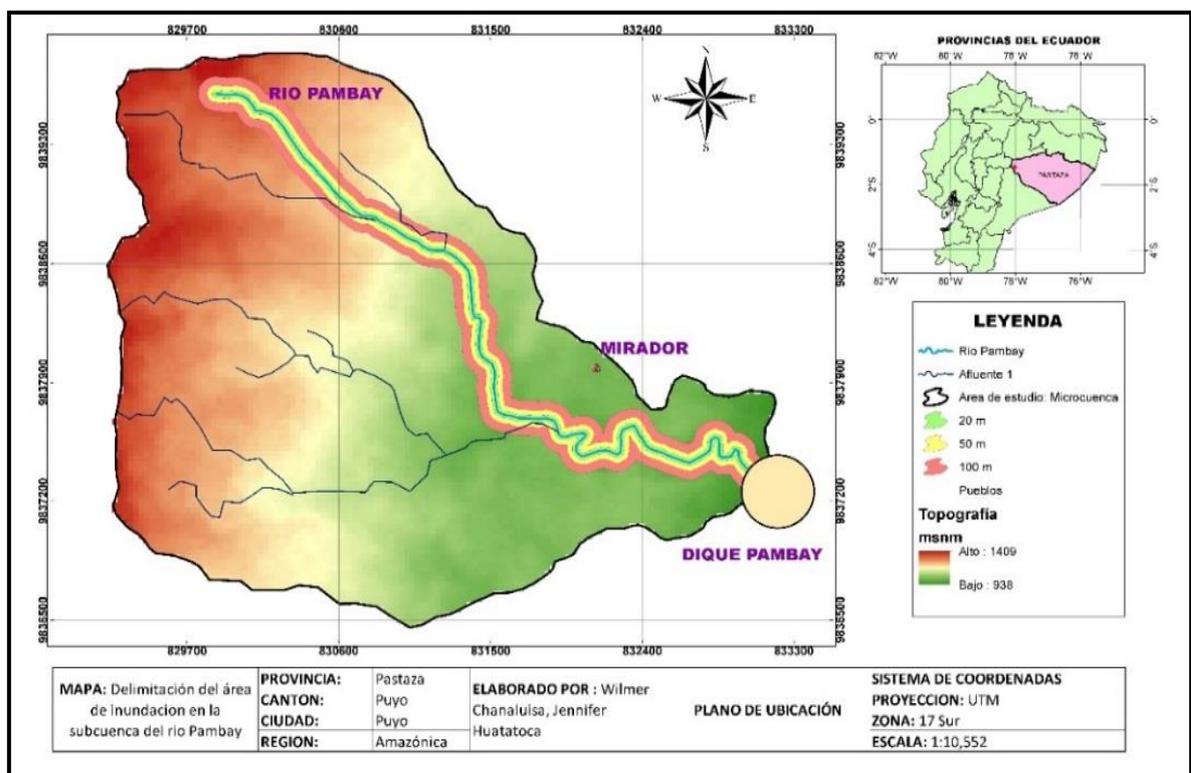


Figura 34: Identificación de las zonas vulnerables a inundaciones en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia

6.1 Viviendas vulnerables a inundaciones

En la parte baja de la subcuenca del río Pambay existen viviendas que son vulnerables a inundaciones por la ubicación y cercanía al río. En la figura 35 se puede observar que hay 5 viviendas que están ubicadas a 50 m de acuerdo a la simulación de inundación realizada. Un claro ejemplo fue la crecida del caudal de río el viernes, 15 de febrero del 2019 el cual llegó

hasta los 20 m aproximadamente del margen del río, el mismo que provocó daños a los bienes públicos y viviendas por la acumulación de lodo y palos.

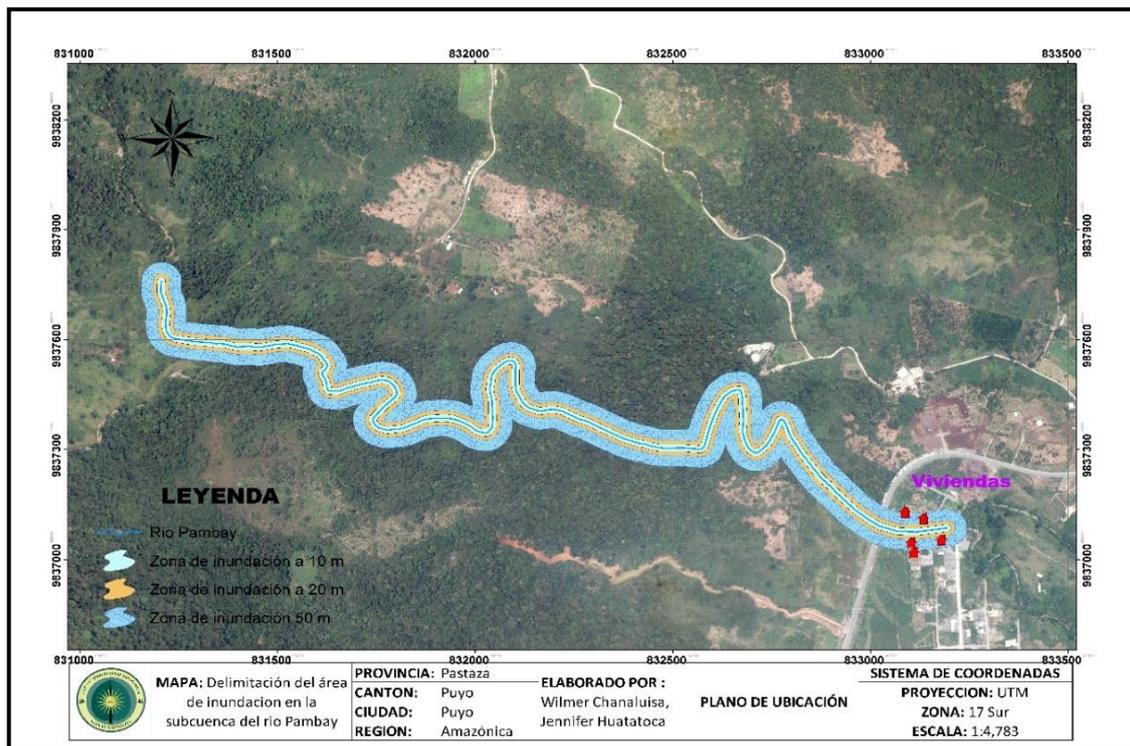


Figura 35: Identificación de viviendas vulnerables a inundaciones en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Mediante la caracterización geomorfológica de la subcuenca del río Pambay se delimitó la zona de recarga hídrica la cual tiene un área de 8,34 km², la longitud del cauce principal es de 5,26 Km con una pendiente de 2,04%, la forma de la cima del área de estudio es redondeada, además presenta una geoforma de origen deposicional con una superficie de cono de esparcimiento. Según el factor de forma de Horton la cuenca es ligeramente ensanchada.
- De acuerdo a los análisis de las características físicas de los suelos en lo que se refiere a la clase textural, la más predominante es la clase franco arcillosa, en la parte alta según las características biológicas se encuentran capas de hojarasca de 10 cm aproximadamente y una altura de humus de 7 cm. Según las pruebas de infiltración se determinó que la velocidad de infiltración varía de acuerdo al tipo de cobertura vegetal.
- De acuerdo a las pruebas de infiltración realizada en el área de estudio de la subcuenca del río Pambay en los 3 tipos de cobertura vegetal tenemos que la zona cubierta por pastizal presenta una velocidad de 0,30 cm/min en relación a la velocidad de infiltración del bosque y mosaico.
- En la zona de estudio de acuerdo a los polígonos generados a 20, 50 y 100 metros no se encontró poblaciones que puedan sufrir daños ante una posible inundación, mientras que en la parte baja de la subcuenca del río Pambay se encontró 5 viviendas que son vulnerables a sufrir inundaciones ubicadas a 50 m de distancia del cauce principal.
- De acuerdo a los datos del comportamiento del caudal se tiene como resultado que los meses que mayor caudal registra son febrero con un caudal de 5,2 m³ /seg con una velocidad de 0,74 m/seg seguido por el mes de junio que tiene un caudal de 4,3 m³ /seg con una velocidad de 0,61 m/seg.
- El promedio general de la profundidad del río de la subcuenca del río Pambay es de 0,30 cm mientras que la altura tiene un promedio de 8,1 cm estos datos corresponden al análisis de la parte baja y alta de la cuenca donde se realizó la medición de la sección transversal del río. En cuanto a la modelación hidrológica realizada se tiene como resultado que el 22 de junio del 2019 se presenta un caudal máximo de 20,9

m³/s estos datos varían de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona, así como también de acuerdo al tipo de cobertura vegetal y la capacidad de infiltración del área de estudio.

5.2 Recomendaciones

- Realizar planes de reforestación y recuperación de pastizales en la parte baja de la subcuenca del río Pambay con la finalidad que la cobertura vegetal proteja contra la erosión de los suelos y la infiltración del agua de lluvia que produce, siendo este plan tarea vital para promover e impulsar en forma prioritaria, mejorando el medio ambiente, el ciclo hidrológico, el paisaje y la biodiversidad de la zona de estudio.
- Se recomienda tomar medidas de protección a las viviendas cercanas de la cuenca hidrográfica mediante la construcción de muros de gaviones, la cual minimiza la velocidad del agua y dispersa la presión sobre un área amplia.
- Realizar la ampliación y limpieza del río Pambay, esto con el fin de mejorar las condiciones hidráulicas de la misma, ya que al eliminar los obstáculos al flujo tales como árboles caídos y piedras, esto permitirá disminuir el riesgo ante una probable inundación.
- Se recomienda realizar estudios en la parte alta de la cuenca del río sobre la estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo
- Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pastaza al departamento de gestión ambiental se implemente un método para la medición de caudales permanentes con la finalidad de facilitar los datos de velocidad para obtener mejores resultados en investigaciones posteriores.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abraira V & Vargas P. (1996) Métodos Multivariantes en Bioestadística. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. Recuperado de www.hrc.es/bioest/Anova_1.html
- Aguilar, R., & Echeverría, S. (2018). Análisis de Vulnerabilidad a Inundaciones de la Parroquia Colon, Cantón Portoviejo- Manabí. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Ejercito. Carrera de ingeniería Civil, Sangolquí
- Aguirre., (2007). Manual para el manejo sustentable de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional de Loja. Recuperado de <https://www.slideshare.net/noemiACUAMONTAEZ1/contatmosf-94401317>
- Aparicio, F. (1992). Fundamentos De Hidrología De Superficie. México. Editorial Limusa, S.A. México, D.F.
- Blanco, J. A. (2017). Bosques, suelos y agua: explorando sus Interacciones. Ecosistemas
- Bonomelli C, Peña I, Suárez D. (2002). Contribución de las hojas en el proceso de reciclaje de N y P en Eucalyptus sp. Bosque 23(1): 61-77.
- Breña, A., & Jacobo, M. (2005). Principios y fundamentos de la Hidrología Superficial. México. Recuperado de http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Buguña Hernández, N. N. (2019). Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote.
- Buol, S. W., F. D. Hole y R. J. McCracken. (1981). Génesis y clasificación de los suelos. Trillas. México, D. F
- Cahuana, A., Morales, W., (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Hidrología (licenciatura en Ingeniería Civil). Recuperado de https://www.academia.edu/33253536/MATERIAL_DE_APOYO_DID%3%81CTICO_PARA_LA_ENSE%3%91ANZA_Y_APRENDIZAJE_DE_LA_ASIGNATURA_DE_OBRAS_HIDR%3%81ULICAS_II_UNIVERSIDAD_MAYOR_DE_

SAN_SIM% C3% 93N_FACULTAD_DE_CIENCIAS_Y_TECNOLOG% C3% 8DA
_CARRERA_DE_INGENIER% C3% 8DA_CIVIL

- Caiza, C., (2014). Hidrología Básica y Aplicada. Quito: Editorial Universitaria Abya – Yala Quito Ecuador.
- Calvache. (2011). Aplicaciones de ondas electromagnéticas y de neutrales en la ingeniería agrícola. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria
- Camino, M. A., Bo, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., de Armentia, A. L., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista Universitaria de Geografía, 27(1).
- Campos A. (1992). Procesos del ciclo hidrológico. U.A.S.L.P, San Luis Potosi, SLP, México. pp 2-5.
- Campos, A. (1987). Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Vol. 1, t. 1/2. San Luís Potosí. México. Pp. 2-52.
- Checa, X. & Grijalva, J. (2012). Situación de los Recursos Genéticos Forestales - Informe País Ecuador recuperado de <http://www.fao.org/3/i3825e/i3825e20.pdf>
- Crespo, C. (2004). Mecánica de suelos y Cimentaciones. México: Limusa.
- Delgadillo, O., Pérez, L (2016) Medición de infiltración del agua en el suelo. Cochabamba- Bolivia. Recuperado de http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2017/05/2016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf
- Donis, L. (2015). Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Negro, Ciudad de Guatemala. Tesis de licenciatura en ciencias ambientales profesional Universidad Rafael Landívar. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/15/Donis-Luisa.pdf>
- Duke, H., (1992). Fluctuaciones de temperatura del agua y efecto en la infiltración del riego). Artículo de Trans. of the ASAE 35(1):193-199.
- Fadda, G., Ullivarri, J., Corbella, R., (2017). Morfología del suelo. Guía de estudio. Universidad Nacional de Tucuman.Facultad de agronomía y zootecnia. Cátedra de Edafología. Recuperado de <https://www.edafologia.org/>
- Forsythe, W. (1985). Física de Suelos. San José, CR.: IICA.
- Galecio Valdés, J. (2007). Métodos de Aforo para la Estimación de la Recarga de Acuíferos. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104656>

- Galves, J. J. (05 de 2011). Foro peruano para el agua. Recuperado el 15 de 01 de 2018, de http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Gaspari, F. J., Vagaría, A. M. R., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., & Besterio, S. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158.
- Geraldí, A., Piccolo, C., Perillo. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones Geográficas. España* (52). 215-216. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17621220008>
- Gómez., J. (2013). Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. *Centró Agropecuaria la granja. Espinal – Tolima*. Recuperado de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf
- González de Matauco, A. I. (2004). Análisis Morfométrico de la Cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus Afluentes Aplicando a la Peligrosidad de Crecidas. *Boletín de la A. G. N° 38. Departamento Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco*. Pp. 311-329.
- Guerra, J., Gayoso, J., Schlatter, J., & Nespolo, R. (2005). Análisis de la biomasa de raíces en diferentes tipos de bosques: Avances en la evaluación de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26(1), 5-21.
- Gutiérrez, A. (2010). La densidad aparente en los suelos forestales del Parque Natural los Alcornocales. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Sevilla. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Gutiérrez, C. (2014). “Hidrología Básica y Aplicada”. Conceptos básicos, características físicas (orden hídrica, área, perímetro), precipitación, escorrentía. Editorial universitaria Abya – Yala. Quito - Ecuador. UPS.
- Hudson, W., (1997). Métodos volumétricos. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68). Recuperado de <http://www.fao.org/3/T0848S/t0848s00.htm#Contents>.
- Illezca, J., (2007). Principio de riego y drenaje. Editorial Universitaria de la Universidad de San Carlos. Guatemala, Guatemala.

- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2018). Generación de información geoespacial a escala 1: 5 000 para la determinación de la aptitud física del territorio y desarrollo urbano mediante el uso de geotecnologías. Recuperado de www.ideportal.iee.gob.ec
- Instituto Nacional de Ecología. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. Recuperado de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- Jaramillo, D. (1999). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín: s.n.
- Juncosa, R. (2010). Hidrología I: Ciclo Hidrológico. Obtenido de Universidad de la Coruña: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf
- López, M., (2011). Diseño de un sistema de riego con viajero autopropulsado en la finca Mona, compañía Palma Tica, Quepos. (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Cartago Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5807/di%C3%A1gn%C3%B3stico_riego_presurizado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MAGAP. (2015). Atributos de las geoformas, asignación de atributos y sistemas de validación. Recuperado de <https://www.agricultura.gob.ec/>
- Matauco, A. I., (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles, (38).
- Michelena, A., (2011). Propiedades físicas de los suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/propiedades-fisicas-de-los-suelos>
- Ministerio de agricultura y riego. (2015). Manual de medición de agua. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Monsalve., (1995). Hidrología en la Ingeniería. Colombia- Bogotá. Grupo Editorial 87
- Morales, W.R. (2010). Texto básico de Hidrología. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Nuñez, S. J. (2006). Manual de Laboratorio de Edafología. Costa Rica: EUNED.
- Olmos, L., Reuter, F., Pilan, M., Farías, H. D., Acosta, C., & Miranda, M. (2011). Estudio Batimétrico de un embalse de montaña de morfología compleja. Cabra

- Corral, Salta. Santiago del Estero, Argentina. Obtenido de http://irhfce.unse.edu.ar/R11/TC/TC_B26_Olmos_et_al_Batimetricas_Embalses.pdf
- Ordoñez Gálvez, J. (2011): Cartilla Técnica: ¿Qué es una cuenca hidrológica? – Sociedad Geográfica de Lima, Perú.
 - PDOT (2017). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza. Puyo. Ecuador
 - Peñafiel, P., (2007): Estudios y Diseños para la evaluación del Sistema existente, sectorización, reposición, geofonamieto y rediseño del Sistema Integral de Agua Potable para el Puyo, Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza. Memoria Técnica. Puyo. Pág. 83.
 - Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., Velarde...Guarín, H. (2011). Edafología 1. Colombia. Recuperado de <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
 - Pérez, G. (2015). Manual de Hidrología Aplicada. Lima. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2015/08/28/manual-de-hidrologia-aplicada-ing-giovene-perez-campomanes/>
 - Pérez, G., & Rodríguez., (2009). Apuntes de Hidrología Superficial. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2014/06/18/apuntes-de-hidrologia-superficial/>
 - Quinto H., Moreno H., Caicedo H. & Pérez M. (2016). Biomasa de Raíces Finas y Fertilidad del Suelo en Bosques Pluviales Tropicales del Pacífico Colombiano. Colombia Forestal, 19(1), 53-66.
 - Renom., (2011) Principios básicos de las mediciones atmosféricas. Recuperado de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla6-PLUVIOMETRIA.pdf
 - Rodríguez, A. (2019, 21 de mayo). Propiedades químicas de los suelos en el bosque semideciduo mesófilo de la Estación Experimental Agroforestal de Guisa, Cuba.cfores. Recuperado de <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/434/pdf>
 - Rodríguez, C. J. (2004). Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente. Kurú: Revista Forestal, 1-20.
 - Rodríguez, D (2006). Caracterización Hidrográfica de la Cuenca Ayuquila- Armería mediante la aplicación de un sistema de información geográfica. (Tesis de Pregrado). Universidad de Guadalajara. Departamento de Recursos Naturales. México

- Rodríguez, L. (2013). Análisis de la contaminación y modelamiento de parámetros físicos químicos en el curso medio – alto del río Puyo (Tesis de maestría). Escuela Politécnica del Ejercito. Puyo. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7523/1/T-ESPE-047407.pdf>
- Sánchez, V. A. (1987). Conceptos elementales de hidrología forestal agua, suelo y vegetación. La cuenca hidrográfica. Editorial. División de Ciencias Forestales. Primera Edición. Volumen 1. Universidad Autónoma de Chapíngo. Pp. 57-97.
- Santos, E., Espinoza, M., Ramirez, N.& Solís, J. (2015). Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México, 36(3),467-480. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v36n3/art13.pdf>
- Sellers, C., Buján, S., Corbelle, E., & Miranda, D. (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. Memorias Universidad Del Azuay, 1(XVI), 399 - 411. Recuperado de <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87>
- Sepúlveda, R., (1999). El infiltrometro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos: Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea. Geografía e Historia. España (21). 9 -33.
- Sifontes, V., Moya, R., (2012). Modelación Hidrológica con HEC – HMS en cuenca de montañosas de la región oriental de Cuba. Ingeniería Hidráulica y Ambiental.33(94-101)
- Suarez, J., &Sandoval. (2017). Geomorfología y resistencia a la erosión fluvial de los suelos conformantes del cauce del río Magdalena (Neiva-Prado). Trabajo de grado. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá
- Toulkeridis, T. (junio de 2015). Prevención de riesgos en el Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/.../Prevención%20de%20riesgo%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Vásquez, A., Mejia, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz... Alcántara. (2016). Manual y Gestión de Cuencas Hidrográficas.Lima-Peru. Fondo Editorial-UNALM.
- Villegas, P. (2013). Análisis morfométrico de una Cuenca. Recuperado de <https://www.aguaysig.com/2013/10/análisis-morfométrico-de-una-cuenca.html>.
- Villodas, R. (2008). Guía de estudio Hidrologia.Cuencas Hidrográficas. Recuperado de https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia_I_y_II_Ruben_Villodas

- World Vision (2004). Manual de Manejo de Cuencas (2 ed). El Salvador: Editorial Visión Mundial, El Salvador.
- Zambrana, Y., (2008). Plan de manejo y gestión de la subcuenca del rio San Francisco Matapalga-Nicaragua: (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10z24.pdf>

ANEXOS



Anexo 1: Determinación de los perfiles del suelo



Anexo 2: Pruebas de infiltración en la parte alta de la subcuenca



Anexo 3: Medición del ancho y profundidad del río



Anexo 4: Medición de la pendiente del cauce principal



Anexo 5: Medición de la altura de humus en el bosque



Anexo 6: Medición de hojarasca en el bosque



Anexo 7: Pruebas de infiltración en el subsuelo



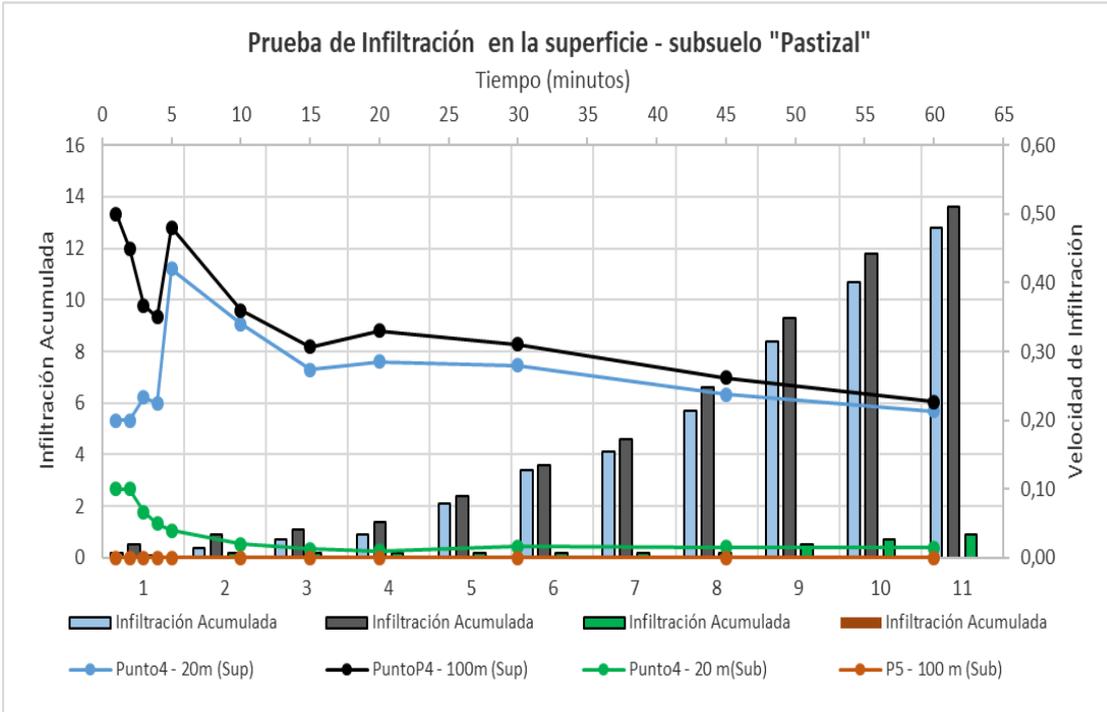
Anexo 8: Determinación de la textura del suelo

CURVAS DE NIVEL (msnm)			Areas parciales km2 (2)	Areas Acumuladas Km2 (3)	Areas que quedan sobre las altitudes (Km2) "7.92" (4)	% Total (5)	% Total que queda sobre la altitud (6)
Cota minima	Cota maxima	Promedio (1)					
940	960	950	0,07	0,07	7,85	0,88	99,11
960	980	970	0,13	0,2	7,72	1,64	97,47
980	1000	990	0,19	0,39	7,53	2,39	95,07
1000	1020	1010	0,37	0,76	7,16	4,67	90,4
1020	1040	1030	1,01	1,77	6,15	12,75	77,65
1040	1060	1050	0,31	2,08	5,84	3,91	73,73
1060	1080	1070	0,38	2,46	5,46	4,79	68,93
1080	1100	1090	0,32	2,78	5,14	4,04	64,89
1100	1120	1110	0,33	3,11	4,81	4,16	60,73
1120	1140	1130	0,28	3,39	4,53	3,53	57,19
1140	1160	1150	0,32	3,71	4,21	4,04	53,15
1160	1180	1170	0,42	4,13	3,79	5,3	47,85
1180	1200	1190	0,42	4,55	3,37	5,3	42,55
1200	1220	1210	0,40	4,95	2,97	5,05	37,5
1220	1240	1230	0,49	5,44	2,48	6,18	31,31
1240	1260	1250	0,42	5,86	2,06	5,3	26,01
1260	1280	1270	0,47	6,33	1,59	5,93	20,07
1280	1300	1290	0,39	6,72	1,2	4,92	15,15
1300	1320	1310	0,31	7,03	0,89	3,91	11,23
1320	1340	1330	0,31	7,34	0,58	3,91	7,32
1340	1360	1350	0,28	7,62	0,3	3,53	3,78
1360	1380	1370	0,18	7,8	0,12	2,27	1,51
1380	1400	1390	0,12	7,92	0	1,51	0

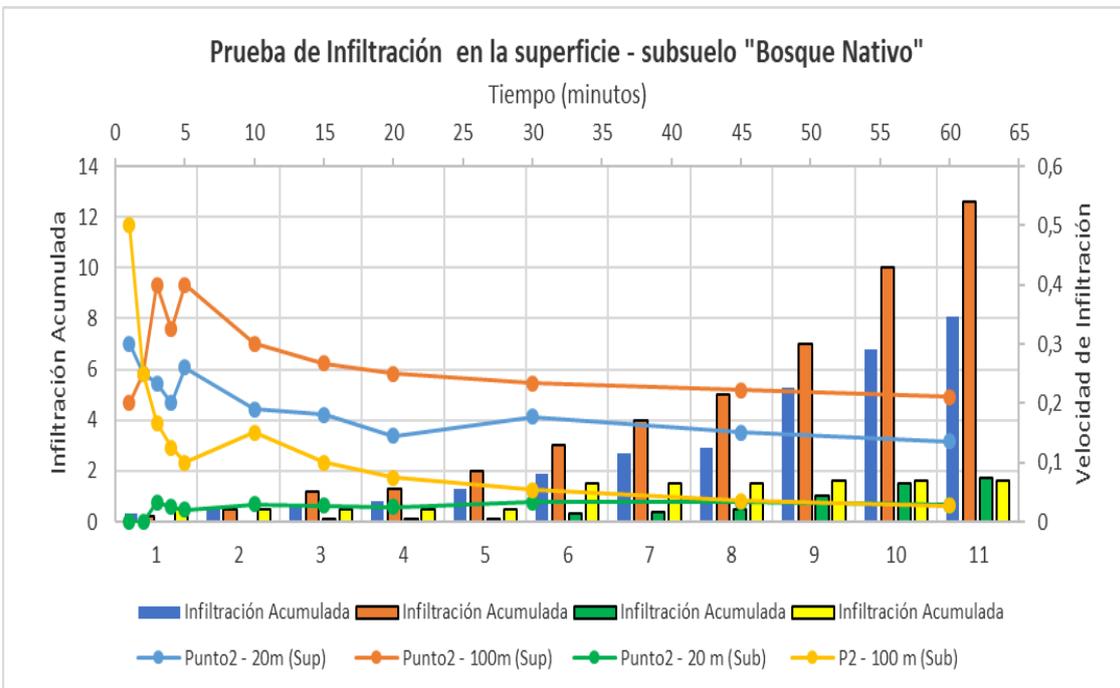
Anexo 9: Determinación de curva Hipsométrica de la subcuenca del rio Pambay

Nro Muestra	Tipo de Muestra	Tipo de cobertura vegetal	Profundidad	Clase textural
1	Superficie	Bosque	0 m	Franco Arcillosa
2	Subterránea	Bosque	1 m	Franco Arcillosa
3	Superficie	Bosque	0 m	Franco Arcillosa
4	Subterránea	Bosque	1 m	Franco Arcillosa
5	Superficie	Bosque	0 m	Franco Arcillosa
6	Subterránea	Bosque	1 m	Franco Arenosa
7	Superficie	Bosque	0 m	Franco
8	Subterránea	Bosque	1 m	Franco Arenosa
9	Superficie	pastizal	0 m	Franco Arcillosa
10	Subterránea	pastizal	1 m	Franco
11	Superficie	pastizal	0 m	Franco Arenosa
12	Subterránea	pastizal	1 m	Franco Arcillosa
13	Superficie	Mosaico	0 m	Arcillosa
14	Superficie	Mosaico	1 m	Arcillosa
15	Superficie	Mosaico	0 m	Franco Arcillosa
16	Superficie	Mosaico	1 m	Arcillosa

Anexo 10: Textura de suelos de la subcuenca del rio Pambay



Anexo 11: Pruebas de infiltración en la superficie y subsuelo - Pastizal



Anexo 12: Pruebas de infiltración en la superficie y en subsuelo - Bosque

Cronograma de actividades

N. Actividades	Fechas	Tareas	Responsables
1	25/02/2019	Elaboración del tema del proyecto de investigación	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca Ing. Ricardo Abril
2	28/02/2019	Presentación del Tema de Proyecto al Tutor de Tesis	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
3	05/03/2019	Investigación de las fuentes bibliográficas del marco teórico	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
4	08/03/2019	Formulación del problema de investigación	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
5	11/03/2019	Formulación de los objetivos y la metodología de investigación	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
6	15/03/2019	Ubicación y recorrido del área de estudio	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
7	22/03/2019	Batimetría de la subcuenca del Rio Pambay	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
8	31/03/2019	Toma de muestras de suelo en los diferentes puntos de monitoreo	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
9	02/ 04/2019	Presentación del perfil del proyecto con el aval del director	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
10	08/ 04/ 2019	Recorrido para tomar los puntos con el GPS del área de estudio e identificar los principales afluentes	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
11	18/ 04/ 2019	Revisión y entrega del perfil del proyecto	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
12	08/ 05/ 2019 al 23/ 05/ 2019	Toma de las muestras de suelo y pruebas de infiltración en los diferentes puntos de muestreo	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
13	13/05/ 2019	Análisis de las muestras de suelo para determinar la textura, densidad aparente	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
14	17/06/2019	Análisis y tabulación grafica de los datos obtenidos	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca
15	25/ 06/2019	Entrega del proyecto final	Wilmer Chanaluisa Jennifer Huatatoca

Anexo13: cronograma de actividades