

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA SUBCUENCA
DEL RÍO PUYO EN EL TRAMO FÁTIMA-SECTOR PUENTE KM 2 ½ VIA PUYO-
TENA

AUTORES:

ALVARADO CARRASCO OLIVER FABIAN

APOLO ECHEVERRIA ANTHONY OVIDIO

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

PUYO – ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Por medio del presente nosotros, Alvarado Carrasco Oliver Fabian con C.I 1600649113 y Apolo Echeverria Anthony Ovidio con C.I 0707120077, declaramos ser los autores del trabajo titulado : **“CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYO EN EL TRAMO FÁTIMA-SECTOR PUENTE KM 2 ½ VÍA PUYO-TENA”**, a la vez cedemos los derechos de autor a la Universidad Estatal Amazónica, para que pueda realizar publicaciones sobre la misma de la forma que crea conveniente, así como su almacenamiento tanto en medios físicos como electrónicos.

Alvarado Carrasco Oliver Fabian

C.I. 1600649113

Autor

Apolo Echeverría Anthony Ovidio

C.I. 0707120077

Autor

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS, docente de la Universidad Estatal Amazónica y Tutor del proyecto de investigación **“CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYO EN EL TRAMO FÁTIMA-SECTOR PUENTE KM 2 ½ VIA PUYO-TENA”**, certifico que el mismo fue desarrollado en su totalidad tanto en la fase de campo como en la redacción final del documento por los estudiantes: Alvarado Carrasco Oliver Fabian con C.I.1600649113 y Apolo Echeverria Anthony Ovidio con C.I.0707120077, el cual ha culminado en todas sus etapas, cumpliendo un total de 400 horas.

Atentamente,

Dr. RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

DOCENTE TITULAR

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR PARTE DE TRIBUNAL DE
SUSTENTACIÓN**

El proyecto de investigación y desarrollo titulado: **“CARACTERIZACIÓN
HIDROLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYO
EN EL TRAMO FÁTIMA-SECTOR PUENTE KM 2 ½ VIA PUYO-TENA”**, fue
aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Para constancia firman:

Msc. Jessy Guerrero

Presidente del tribunal

Msc.Simon Leib

Miembro del tribunal

Msc.Douglas Guzmán

Miembro del tribunal

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que me ha guiado desde el comienzo de este largo proceso ayudándome a afrontar los obstáculos que tuve que cruzarme en mi camino hasta la meta final.

A mis padres, Ing. Ovidio Apolo & Sra. Bertha Echeverría, por ser los principales responsables de permitirme haber logrado este sueño y aspiración, por los consejos valores y principios que me han inculcado a lo largo de mi vida apoyándome a seguir adelante en cada meta que me proponga.

A mis hermanos, Yanice, Paul y Oscar, que de alguna u otra forma son parte de este logro alcanzado.

Agradezco también a nuestro tutor de proyecto de investigación, Dr. Ricardo Abril por su paciencia y esfuerzo desde la etapa inicial hasta el final del proyecto, por sus consejos y correcciones que nos ayudaron a culminar con éxito esta investigación que se que nos servirá en nuestro futuro profesional. A mi compañero de proyecto Oliver Alvarado y mi persona quienes a lo largo de la realización de este proyecto hemos puesto en práctica lo aprendido a lo largo de estos 5 años de carrera.

A mis amigos y compañeros, con quienes a lo largo de este trayecto hemos pasado los mejores momentos que quedarán grabados en nuestras memorias.

A mis docentes, a los que presentes y a lo que ya no están, quienes desde el inicio de este camino me impartieron su conocimiento el cual en parte se los debo a ellos, por sus enseñanzas y consejos para seguir adelante. Finalmente, agradezco a esta prestigiosa Universidad Estatal Amazónica por abrirme sus puertas con la finalidad de prepararnos para un futuro e inculcándonos los mejores valores y principios.

ANTHONY OVIDIO APOLO ECHEVERRIA

Agradezco a mi madre, Margoth Carrasco, ya quien fue ella quien me incentivo a seguir estudiando dándome consejos y ánimos a que no fracase, para que pueda ser un profesional en la vida & a mi padre, Favian Alvarado quien me ha estado apoyando que no me rindiera en todos mis estudios y poder llegar a una meta. Ya que de ellos he aprendido de sus experiencias a seguir adelante y tener una visión a futuro.

A mis hermanos, Johana, Jennifer, Flaubert y mi sobrina Alison, quienes de algún modo me han apoyado con mis estudios, para lograr alcanzar un título más en el transcurso de mi vida. También, a todos los demás que integran mi familia, abuelitos(as), tíos(as), primos(as), que de alguna forma son parte del logro que he alcanzado.

A mi tutor de proyecto, Dr. Ricardo Abril por invertir su tiempo y conocimiento durante la elaboración de este proyecto, donde he visto reflejada su paciencia a lo largo de este periodo, y poder culminar satisfactoriamente el proyecto de investigación propuesto. Además, a mi amigo y compañero, Anthony Apolo quien ha estado pendiente en poder culminar con éxito el proyecto de investigación que nos hemos propuesto. Como también, a mis amigos, Wilmer Chanaluisa & Jennifer Huatatoca que nos apoyaron en la realización del proyecto.

A mis amigos y compañeros, de escuela, colegio y universidad se les agradece, pues con ellos se han vivido experiencias positivas que solo se puede dar una vez en la vida.

A mis docentes, que desde la escuela hasta la actualidad he aprendido de sus enseñanzas que me sirvieron y servirán para todas las metas que me proponga. A mi profesor de deporte de la “UEA”, Isidro Rodríguez quien me apoyo con la adquisición de una beca económica y poder seguir estudiando durante estos años hasta poder obtener mi título.

Agradezco a esta prestigiosa Universidad Estatal Amazónica por abrirme sus puertas con la finalidad de prepararme para un futuro e inculcándonos los mejores valores y principios, convirtiéndome en un profesional.

Finalmente agradezco a Dios y a mi Cristo, por seguir vivo junto a mis seres queridos.

Oliver Fabian Alvarado Carrasco

DEDICATORIAS

Dedico este proyecto de investigación a Dios y a mis padres. Quienes me han apoyado desde el comienzo de este camino, ya que gracias a ellos soy lo que soy en este momento, quienes han depositado toda su confianza y sacrificio en mí.

Anthony Ovidio Apolo Echeverria

El fruto de este logro se los dedico a mis padres, quienes se han esforzado por guiarme hacia adelante y ha no tropezar en los obstáculos que se me han presentado en el transcurso de este tiempo, y lo seguirán haciendo. A mis hermanos, que me han apoyado en lo que he necesitado; y a quienes hayan confiado en mí persona; que podía llegar hasta donde estoy ahora, convirtiéndome en un profesional de bien.

Oliver Fabian Alvarado Carrasco

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

En este proyecto de investigación se desarrolló un estudio con el objetivo de caracterizar hidrológica y geomorfológicamente un tramo de la subcuenca del río Puyo. La metodología utilizada fue de tipo descriptivo- deductivo, que se basó en la observación del entorno mediante el reconocimiento previo de la zona, todo esto se lo realizó en un periodo de 5 meses aproximadamente. La observación fue mediante la delimitación del área de estudio, toma de datos, muestreos de agua y de suelo. Estos datos posteriormente fueron analizados, los mismos que permitieron determinar el área y perímetro de la zona de estudio, índice de compacidad, relación de elongación, densidad de drenaje y pendiente del cauce principal. Dentro de las características hidrológicas, mediante las batimetrías se realizó la medición de los caudales en los puntos de muestreo, dando como resultado un aumento caudal alto en el mes de abril, esto debido a las fuertes precipitaciones en la zona. En cuanto al ICA (Índice de calidad de agua) se determinó que la calidad de agua de la zona de estudio, presento un rango excelente, considerando el criterio para aguas con fines recreativos presentes en el TULSMA. Además, se realizó el muestreo del suelo, donde las pruebas de infiltración mostraron que en la cobertura pasto presenta poca infiltración, esto debido a que en la zona la compactación impide el paso del agua; igualmente en la densidad de raíces, presenta valores mayores en el sector de la Universidad Estatal Amazónica y una menor densidad en el sector de Las Américas. Mientras que, en la profundidad y la densidad aparente, se obtuvo una correlación significativa como lo manifiesta Pearson, lo que nos quiere decir que mientras mayor es la profundidad, mayor será la densidad aparente y así mismo se muestra una correlación significativa entre la densidad de raíces y la velocidad de infiltración a 60 minutos, lo que nos indica que mientras mayor densidad de raíces menor será la velocidad de infiltración.

Palabras clave: hidrológica, geomorfológica, densidad aparente, correlación, infiltración.

ABSTRACT, AND KEYWORDS

In this research project is developing a study with the aim of hydrological and geomorfologicamente characterize a stretch of the river sub-basin of the Puyo. The methodology used was descriptive- deductive, which was based on the observation of the environment through prior recognition of the area, all this is carried out in a period of 5 months approximately. The observation was through the delimitation of the study area, data collection, sampling of water and soil. These data were subsequently analyzed, the same as allowed to determine area and perimeter of the study area, index of compactness, elongation, drainage density and slope of the main channel. Within the hydrological characteristics, by means of the bathymetry measurement was made of the flow rates in the sampling points, resulting in a high flow increase in the month of April, this due to heavy rainfall in the area. With regard to the ICA (Water Quality Index), it was determined that the quality of water in the area of study, presented an excellent range, considering the criteria for recreational waters present in the TULSMA. In addition, the soil sampling, where infiltration tests showed that in the grass coverage presents little infiltration, this is due to the fact that in the area compaction impedes the passage of water; also in the density of roots, presented higher values in the sector of the Amazon State University and a lower density in the sector of the Americas. While, in the depth and density, a significant correlation was obtained as Pearson, what we mean that the greater the depth, the greater the density and at the same time shows a significant correlation between the density of roots and the infiltration rate to 60 minutes, which indicates to us that while greater density of roots, the lower the infiltration rate.

Keywords: hydrology, geomorphology, bulk density, correlation, infiltration

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.	3
2. BASES TEÓRICAS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	3
2.3. DELIMITACIÓN DE ZONA DE RECARGA.....	3
2.4. TIPOS DE CUENCA	3
2.4.2. CUENCA ENDORREICA.....	4
2.4.3. CUENCA ARREÍCA	4
2.4.4. CUENCA CRIPTORREICA	4
2.5. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	4
2.5.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA	4
2.5.1.1. ÁREA.....	4
2.5.1.2. PERÍMETRO	4
2.5.1.3. COEFICIENTE DE COMPACIDAD.....	5
2.5.1.4. DENSIDAD DE DRENAJE.....	5
2.5.1.5. RELACIÓN DE ELONGACIÓN.....	6
2.5.2. PENDIENTE.....	6
2.5.2.1. PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	6
2.5.2.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	6
2.6. SUELO.....	6
2.6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	6
2.6.1.1. DENSIDAD APARENTE	6
2.6.1.2. TEXTURA	7
2.6.1.3. ESTRUCTURA	7
2.6.1.4. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	7
2.6.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO.....	7
2.6.2.1. PH.....	7
2.6.2.2. SALINIDAD.....	7
2.7. USO DE SUELO.....	8

2.7.1.	CATEGORIZACIÓN POR LA FAO	8
2.7.2.	BOSQUE	8
2.7.3.	PASTIZAL	8
2.8.	CAUDALES	8
2.8.1	MÉTODOS DE AFORO	8
2.9.	CALIDAD DE AGUA	8
2.9.1	CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS CON FINES RECREATIVOS	8
2.9.2	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	9
2.10.	MODELOS DE CRECIDA	9
2.10.1.	PLUVIOMETRÍA DE LA CUENCA	9
2.10.2.	INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN	10
2.10.3.	PLUVIÓMETROS	10
2.10.4.	MODELAMIENTO CON HEC- HMS	10
2.11.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	10
2.11.1.	CORRELACIÓN DE PEARSON	10
2.11.2.	ANÁLISIS DE VARIANZA	10
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.		11
3.1.	LOCALIZACIÓN	11
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	12
3.3.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	12
3.4.	RECURSOS Y MATERIALES	12
3.5.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.5.1.	TOMA DE DATOS	12
3.5.2.	DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA Y TRAZADO DE LOS PUNTOS DE FÁTIMA - SECTOR PUENTE KM 2 ½ VÍA PUYO-TENA.	13
3.5.3.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA.	13
3.5.4.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA Y PERÍMETRO DE LA ZONA DE ESTUDIO.	14
3.5.5.	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPACIDAD DE LA SUBCUENCA.	14
3.5.6.	DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE ELONGACIÓN	15
3.5.7.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DRENAJE	15
3.6.	MUESTREO DE AGUA	17
3.6.1.	REALIZACIÓN DE BATIMETRÍAS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.	17
3.6.1.1.	PROFUNDIDAD PROMEDIO (METROS)	17
3.6.1.2.	DIFERENCIAS DE LAS PROFUNDIDADES (METROS)	17

3.6.1.3.	PERÍMETRO DE MOJADO	17
3.6.1.4.	ÁREA DE MOJADO	18
3.6.1.5.	PERÍMETRO DE MOJADO PROMEDIO	18
3.6.1.6.	ÁREA DE MOJADO PROMEDIO.....	18
3.6.1.7.	RADIO HIDRÁULICO.....	18
3.6.1.8.	PENDIENTE: SE CALCULARÁ MEDIANTE LA (ECUACIÓN 11).	18
3.6.1.9.	VELOCIDAD.....	18
3.6.1.10.	CAUDAL M ³ /S	18
3.7.	DETERMINACION DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA).	18
3.7.1.	PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS:.....	19
3.8.	MUESTREO DE SUELO.....	20
3.8.1.	DENSIDAD APARENTE	21
3.8.1.1.	CÁLCULO DE LA DENSIDAD APARENTE	21
3.8.2.	DENSIDAD DE RAÍCES	21
3.8.3.	ANÁLISIS DE LA TEXTURA	22
3.8.3.1.	TEXTURA DE SUELO	23
3.8.3.1.1.	DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO	23
3.8.4.	INFILTRACIÓN DE SUELO	24
3.8.4.1.	INFILTRACIÓN PARCIAL:	24
3.8.4.2.	INFILTRACIÓN ACUMULADA:	24
3.8.4.3.	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO:	24
3.8.4.4.	VELOCIDAD INSTANTÁNEA:.....	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		25
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYO EN EL TRAMO DE ESTUDIO.....	25
4.2.	DETERMINACIÓN DEL AREA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL.....	25
4.3.	DETERMINACIÓN DEL INDICE DE COMPACIDAD	26
4.4.	DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE DEL CAUCE.....	26
4.5.	DETERMINACIÓN DE LA RELACION DE ELONGACIÓN.....	26
4.6.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DRENAJE.....	26
4.7.	MUESTREO DE AGUA.....	27
4.7.1.	ANÁLISIS DE CAUDALES.....	27
4.7.2.	DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE CRECIDA GENERADOS EN LOS MESES DE MONITOREO EN BASE A LAS BATIMETRÍAS	27

4.8.	MUESTREO DE SUELO.....	30
4.8.1.	CÁLCULO DE LA DENSIDAD APARENTE	30
4.8.6.	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN 60 MINUTOS	34
4.9.1.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (HEC- HMS).....	36
4.9.2.	ANÁLISIS DE CORRELACION DE PEARSON.....	38
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		40
5.1.	CONCLUSIONES.....	40
5.2.	RECOMENDACIONES.....	41
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.		42
CAPÍTULO VII. ANEXOS		47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos aproximados de la densidad de drenaje.....	5
Tabla 2. Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los ICA (Índice de calidad de agua.....	9
Tabla 3. Recursos y materiales.....	12
Tabla 4. Rangos de índices de compacidad.....	14
Tabla 5. Rangos de densidad de drenaje.....	16
Tabla 6. Rangos aproximados de la pendiente media.....	16
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos empleados por la NSF 1970.....	19
Tabla 8. Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.....	20
Tabla 9. Análisis de textura.....	36
Tabla 10. Análisis de correlación de Pearson.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Delimitación del área de estudio de subcuenca del río Puyo.....	11
Figura 2: Clases Texturales.....	23
Figura 3: Delimitación de la zona de estudio.....	25
Figura 4: Longitud del cauce principal.....	25
Figura 5. Comportamiento de los caudales en los meses de monitoreo de tres día.....	27
Figura 6. Caudales de crecida en CITET.....	28
Figura 7. Caudales de crecida en Dique de Fátima.....	28
Figura 8. Caudales de crecida en Las Américas.....	29
Figura 9. Caudales de crecida en la UEA.....	29
Figura 10. ICA en los puntos de muestreo.....	30
Figura 11. Densidad aparente de las muestras analizadas.....	31
Figura 12. Velocidad de infiltración Fátima (m ² a 100m superficial).....	32
Figura 13. Velocidad de infiltración Fátima (m ² a 100m 1m profundidad)	32
Figura 14. Velocidad de infiltración UEA (m ² a 100m 1m profundidad).....	33
Figura 15. Velocidad de infiltración UEA (m ³ (20m superficial).....	33
Figura 16. Velocidad de infiltración a 1 h.....	35
Figura 17: Modelo hidrológico sin pérdida de caudal.....	37
Figura 18: Modelo hidrológico con pérdida de caudal.....	37

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad de drenaje.....	5
Ecuación 2. Relación de elongación.....	6
Ecuación 3. Densidad aparente.....	7
Ecuación 4. Índice de compacidad.....	14
Ecuación 5. Relación de elongación.....	15
Ecuación 6. Densidad de drenaje.....	15
Ecuación 7. Pendiente media del cauce.....	16
Ecuación 8. Perímetro de mojado.....	17
Ecuación 9. Área de mojado.....	18
Ecuación 10. Radio hidráulico.....	18
Ecuación 11. Pendiente.....	18
Ecuación 12. Velocidad.....	18
Ecuación 13. Caudal.....	18
Ecuación 14. Índice de calidad de agua.....	20
Ecuación 15. Densidad aparente.....	21
Ecuación 16. Densidad de raíces.....	21
Ecuación 17. Volumen.....	22
Ecuación 18. Densidad longitudinal de raíces.....	22
Ecuación 19. Velocidad de infiltración promedio.....	24
Ecuación 20. Velocidad instantánea.....	24
Ecuación 21. (N).....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de actividades.....	47
Anexo 2. Textura de suelo.....	49
Anexo 3. Cálculos principales de suelo.....	50
Anexo 4. Función de calidad NSF 1970 Ph.....	51
Anexo 5. Función de calidad NSF 1970 Solidos Disueltos.....	51
Anexo 6. Función de calidad NSF 1970 Oxígeno Disuelto.....	51
Anexo 7. Función de calidad NSF 1970 Turbidez.....	52
Anexo 8. Reconocimiento y delimitación de la zona de estudio.....	53
Anexo 9. Realización de batimetrías en los puntos de estudio.....	53
Anexo 10. Toma de muestras de agua.....	54
Anexo 11. Análisis de muestras de agua para determinación de ICA.....	54
Anexo 12. Pruebas de infiltración.....	55
Anexo 13: Determinación de la textura de suelo.....	55

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso indispensable para la vida y supervivencia de todos los seres vivos alrededor del mundo, además de ser un recurso insuficiente; es por esa razón que luchan diariamente para lograr obtener agua indicada para el consumo humano y para atender a sus necesidades elementales. En todo el mundo millones de infantes siguen muriendo año a año a causa de enfermedades transferidas por el agua que se pueden evitar. Las catástrofes naturales que tienen relación con el recurso hídrico, como son las crecidas, las tormentas tropicales y los tsunamis, cobran un elevado precio en vidas y sufrimiento humano. Es por ello que aparte de satisfacer necesidades humanas básicas, el agua beneficia al desarrollo sostenible en otras formas trascendentales (ANNAN, 2005).

Uno de las mayores dificultades mundiales en la actualidad es la falta de acceso de agua dulce y potable por saneamiento. Además, a esto hay que aumentarle el problema de la contaminación del agua lo cual empeora el panorama; en un futuro, más de 1.000 millones de personas sufrirán en el futuro la escasez de agua como consecuencia de la contaminación de los afluentes, la superpoblación y el calentamiento global, que afectan a las fuentes de este recurso indispensable (Vásquez, 2017).

En los últimos años, y como es de conocimiento general, se ha presentado eventos de avenidas torrenciales, así como también el aumento del caudal de sus afluentes lo que provoca graves daños en el momento de fuertes periodos de lluvia en la zona, esto se da debido a actividades antropogénicas como tala indiscriminada como la deforestación, desecho de residuos en los afluentes, quebradas, etc., lo que en el momento de catástrofes naturales como inundaciones, deslizamientos etc., provocan grandes impactos negativos en los ecosistemas.

Es por ello que el propósito de este proyecto fue realizar un modelamiento de los caudales del río Puyo con el objetivo de conocer el comportamiento de los mismos en el momento de que se produzcan fuertes periodos de precipitación lo cual a su vez conlleva a obtener información acerca de las zonas más propensas a crecidas, es por ello que se definió como zona de estudio la subcuenca del río Puyo, tramo que comprende desde la naciente de la subcuenca ubicada en la Parroquia Fátima hacia el sector del puente ubicado en la salida de la Universidad Estatal Amazónica, en el Km 2 ½ vía Puyo-Tena en la ciudad de Puyo.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la subcuenca del río Puyo, en el tramo que comprende desde Fátima hasta el sector del puente Km 2 ½ vía Puyo-Tena, se han presentado eventos torrenciales. Al ser una zona agrícola y turística, estos eventos provocan inundaciones en las zonas más bajas, lo cual afecta al sector. Además, que no se han realizado estudios descriptivos acerca de la geomorfología y características hidrológicas que permitan conocer el desenvolvimiento en una crecida; así como tampoco se ha aplicado estimaciones de índices de calidad de agua para fines recreativos, lo cual, en parte, se debe a la falta de información de las características geomorfológicas e hidrológicas.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Caracterizar hidrológica-geomorfológicamente la subcuenca del río Puyo, del tramo que comprende desde el dique de Fátima hasta el puente km 2 ½ vía Puyo-Tena mediante la obtención de datos hidrológicos y geomorfológicos para la evaluación del comportamiento del caudal.

1.3.2. Objetivo Específicos

- Establecer las características físico-químicas del caudal del tramo de Fátima hasta el puente km 2 ½ vía Puyo-Tena.
- Modelar el caudal de crecida mediante el software HEC-HMS 4.1 tomando en consideración las cualidades hidrológicas y geomorfológicas de la subcuenca.
- Realizar mediciones de caudal en un periodo de cada tres días observando su dinámica.
- Determinar la capacidad de infiltración del suelo mediante pruebas de infiltración
- Evaluar la calidad del agua e índices ICA (Índice de calidad de agua) basado en la norma NSF 1970(National Sanitation Foundation).

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Cuencas Hidrográficas

Se puede definir este término como territorios naturales donde se puede decir que todos los procesos socioecológicos están íntimamente unidos entre sí. En términos más resumidos; las cuencas hidrográficas nos permiten conocer más espacialmente acerca del ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los impactos ambientales acumulados de las actividades humanas o externalidades de terceros ya sean sedimentos, contaminantes y nutrientes que causan impactos positivos y negativos a la calidad y cantidad del recurso hídrico (Swallow, 2001).

2.2. Caracterización hidrológica

Para el estudio de un afluente se debe empezar realizando un análisis completo y minucioso de subcuenca y sus características como son hidrológicas y geomorfológicas. En las cuales las hidrológicas se estudian temas como: clima de la cuenca, pluviosidad, y diferencias espaciales del clima en la propia cuenca fluvial, relieve, suelos, afluentes, pendientes, cauces, erosión, entre otros. Además se realiza en una primera etapa la recopilación de datos históricos de las estaciones meteorológicas de la cuenca, en este caso de la cuenca del río Puyo, así como la determinación de la morfología de la profundidad del río mediante batimetrías y las variaciones del nivel de los ríos y cuencas, todo esto mediante mediciones de sus caudales (INOCAR, 2019).

2.3. Delimitación de zona de recarga

Las zonas de recarga hídrica se pueden definir como territorios con capacidad de infiltrar de forma natural el agua procedente de la precipitación o escorrentía superficial, y con ello, permiten alimentar a los acuíferos donde los flujos subterráneos se desplazan horizontalmente hacia los diferentes cuerpos de agua como lagos, ríos, manantiales y océanos (Donis, 2015).

2.4. Tipos de cuenca

Las cuencas hidrográficas que existen en todo el mundo, son muy diferentes en tamaño y forma, pero también pueden ser tan pequeñas así como tan grandes tales que contengan amplias regiones de un país, prolongándose hasta varios kilómetros cuadrados (Rojas, 2017).

2.4.1. Cuencas Exorreicas

Son aquellas que están formadas por los ríos que vierten sus aguas en el océano (Rojas, 2017).

2.4.2. Cuenca Endorreica

Este tipo de cuenca es aquella que está conformada por los afluentes que descargan sus aguas desaguan en mares interiores, lagos o lagunas, estas son cuencas cerradas que retienen el agua e impiden las salidas a otros cuerpos de agua como ríos u océanos (Rojas, 2017).

2.4.3. Cuenca Arreica

Hidrológicamente hablando esta no se considera una cuenca ya que no tiene salida al mar ni una red de drenaje definida. Estas se caracterizan en que sus aguas no desembocan ni en lagos ni en mareas ya que se evaporan o se infiltran al suelo (Rojas, 2017).

2.4.4. Cuenca Criptorreica

Se define como una región que carece de una red de drenaje definida, es decir donde de un momento a otro sus corrientes desaparecen (Rojas, 2017).

2.5. Caracterización geomorfológica

Esta caracterización es aquella que intervienen la geomorfología de la cuenca en la que la climatología es el factor más importante, el tipo y uso del suelo, la cobertura vegetal o nivel de urbanización (Córdova, 2016).

2.5.1. Características geomorfológicas de la cuenca

2.5.1.1. Área

A este parámetro se lo define como la superficie del terreno en las aguas de las precipitaciones que concurren a un mismo punto de evacuación a través de cauces secundarios que se unen a un cauce principal. Para la delimitación de una cuenca hidrográfica primero se debe realizar un trazado de una línea imaginaria denominada divisora de agua o *divortium aquarum*; esta tiene como función separar las pendientes opuestas de las cumbres, fluyendo las aguas de las precipitaciones a ambos lados de la línea imaginaria hacia los cauces de las cuencas continuas (Córdova, 2016).

2.5.1.2. Perímetro

Este parámetro se define como la longitud de la línea divisoria de aguas que conforma el contorno del área de la cuenca. Este parámetro es muy importante cuando se compara

cuenca de la misma área. Es decir, si es alargada o redondeada según los rangos establecidos por diferentes criterios de autores (Córdova, 2016).

2.5.1.3. Coeficiente de compacidad

Esto lo mencionan Llano & Aguirre (1987); donde el cual establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área que equivale a la superficie de la cuenca correspondiente.

Por su parte Córdova (2016); menciona que este índice nos indica la forma de la superficie de la cuenca, en base a su delimitación.

2.5.1.4. Densidad de drenaje

Según Llano & Aguirre (1987); este parámetro nos indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y la superficie total de la misma. En pocas palabras, expresa la capacidad de desalojar un volumen de agua en el momento de fuertes precipitaciones” Este parámetro es muy representativo respecto a la topografía de la cuenca en los estudios.

Los valores mínimos de esta relación están asociados a regiones con materiales de suelo poco erosionables, baja cubierta de vegetación y pendientes planas. Mientras que, valores altos refieren a que las precipitaciones intervienen rápidamente sobre las descargas de los ríos. Generalmente, estas regiones tienen suelos impermeables y pendientes fuertes (Córdova, 2016). (Ecuación 1)

$$Dd = \frac{Li}{A} \quad (1)$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje.

Li: Largo total de los recursos de agua en km.

A: Superficie de la cuenca en km².

Valores referenciales, se muestran a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos aproximados de la Densidad de Drenaje.

Densidad de drenaje (valores aproximados)	Clases
0,1 a 1,8	Baja
1,9 a 3,6	Moderada
3,7 a 5,6	Alta

Fuente: IBAL, 2009

2.5.1.5.Relación de elongación

Este parámetro se define como la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima (Lm) de la misma. La variable Lm se define como la más grande dimensión de la cuenca a lo largo de una línea recta trazada desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo del parteaguas y de manera paralela al río principal. Para estimar la magnitud de este parámetro se aplica la (ecuación 2), (Breña, 2006).

$$R_e = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_m} \quad (2)$$

Donde:

Re: Relación de elongación.

D: Diámetro.

Lm: Longitud máxima.

2.5.2. Pendiente

2.5.2.1.Pendiente media de la cuenca

A este parámetro lo podemos definir que nos sirve para medir la pendiente media en dos ejes principales (x, y) y a partir de estos valores se determina la pendiente media de la cuenca, la cual está definida como la inclinación o declive promedio de su topografía (Breña, 2006).

2.5.2.2.Tiempo de concentración

Este parámetro según Velez & Botero (2010); se trata de unas variables que son propias para cada sitio y estas dependen de las características geomorfológicas de la cuenca y de la precipitación. Además, este parámetro también es conocido como el tiempo que demora la cuenca en evacuar el flujo de agua generado en una lluvia hasta que se alcance el estado estacionario.

2.6. Suelo

2.6.1. Características físicas

2.6.1.1.Densidad aparente

A este parámetro se puede definir como la relación que existe entre el peso seco de una muestra determinada de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo. Muchos autores también la definen como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, esto quiere decir tal cual como se encuentra en el suelo, para el cálculo de

esta se divide el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el suelo (ecuación 3), (Gutierrez, 2010).

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de los sólidos de la muestra o peso seco (a)}}{\text{Volumen total de la muestra (b)}} \quad (3)$$

2.6.1.2. Textura

La textura del suelo es muy importante en la caracterización de una cuenca y se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla presentes en una muestra de suelo, esta es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la capacidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2019).

2.6.1.3. Estructura

Cuando nos referimos a la estructura del suelo nos estamos refiriendo a la forma en la que este está compuesto y al modo en que se encuentran dispuestas sus diversas partes. En la estructura se pueden divisar diferentes capas que comprende el suelo lo que es producto de su movimiento interno y vertical, las cuales se conocen como horizontes (ARQHYS, 2001).

2.6.1.4. Conductividad hidráulica

Según Barbecho & Calle (2012); definen este parámetro como la propiedad de los medios porosos que depende de la permeabilidad intrínseca, de la porosidad del medio y del grado de saturación que este tenga.

2.6.2. Características químicas del suelo

2.6.2.1. pH

Esto lo menciona Ibañez (2007); donde dice que el Ph nos aporta una información de mucha importancia. Uno de los más importantes es que esto nos da a entender que la variación del Ph modifica el grado de solubilidad de los minerales, también menciona que el Ph del suelo es generalmente considerado idóneo en agricultura si se encuentra entre 6 y 7. En algunos suelos, incluso con un pH natural de 8, pueden lograrse buenos rendimientos agropecuarios.

2.6.2.2. Salinidad

Este parámetro se refiere a la cantidad de sales presentes en el suelo y puede ser considerada por la medición de la conductividad eléctrica (CE) de una solución extraída del suelo. Es importante mencionar que un desequilibrio en la composición de las sales en el suelo puede resultar en una competencia perjudicial entre los elementos (Guy, 2014).

2.7. Uso de Suelo

2.7.1. Categorización por la FAO

Se refiere a la agrupación con un rango de propiedades químicas, físicas y biológicas que son similares entre sí. De hecho, los suelos se consideran como un recurso natural mucho más complejo que otros elementos como el aire y el agua (FAO, 2019).

2.7.2. Bosque

Se define como la tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas llena de árboles de una altura que supera los 5 metros y está cubierta de dosel el cual es superior al 10 por ciento. Este parámetro no aplica a la tierra sometida a un sector agrícola o urbano (FAO, 2010).

2.7.3. Pastizal

Estos se diferencian del bosque como ecosistemas con una cobertura forestal de árboles inferior a un cierto umbral, y este varía de una región a otra. En los pastizales predomina el carbono subterráneo, el cual se encuentra sobre todo en las raíces y en la materia orgánica del suelo (Verchot, 2006).

2.8. Caudales

2.8.1. Métodos de aforo

Este parámetro lo mencionan Aguero & Barrios (2008); el cuál es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado. Ósea que es el caudal que pasa por una sección de un curso de agua.

2.9. Calidad de Agua

Según el sitio web Ecured (2019); este es un factor que incide directamente en la salud del ser humano y del ecosistema; caracterizado por su composición físico-química y biológica. Su estado deberá permitir el uso sin causar perjuicios.

2.9.1. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos

Para definir claramente los diferentes criterios; este se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe: a) Contacto primario, en las cuales se puede hacer actividades como en la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales y b) Contacto secundario en el cual están incluidas actividades como en los deportes náuticos y pesca (TULSMA, 2017).

2.9.2. Índice de Calidad de Agua

Según Rubio & Ortiz (2013); un Índice de Calidad de Agua (ICA) es una herramienta estadística en la cual nos permite estimar la calidad en la que se encuentra un cuerpo de agua.

Los índices de calidad del agua (ICA) nacen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico y en el seguimiento de sus impactos sobre el ecosistema y la salud de quienes la consumen; entre otros, también se puede definir al ICA como una expresión simple de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; este índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color según su clasificación. Los parámetros a ser incluidos en los ICA han estado marcados, desde sus inicios, por la apreciación de expertos, agencias o entidades gubernamentales, que son los que determinan en el ámbito legislativo su importancia y su incidencia en los ecosistemas y en la salud al establecerlos como estándares de calidad (Torres,2009).

Tabla 2. Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los ICA.

País	Estados Unidos
Índice	ICA NSF 1970
Parámetro	
OD	0,17
pH	0,11
DBO	0,11
Nitratos	0,10
Coliformes Fecales	0,16
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Disueltos Totales	0,07
Fosfatos	0,10

Fuente: Torres, 2009

2.10. Modelos de Crecida

2.10.1. Pluviometría de la cuenca

Según Sánchez (2017); precipitación es cualquier agua meteórica que cae y es recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye principalmente: lluvia, nieve y granizo.

2.10.2. Intensidad de precipitación

Según Sànchez (2017); este parámetro es igual a precipitación/tiempo. Aquí podemos cuantificar las precipitaciones caídas durante cierto tiempo en un punto mediante cualquier recipiente y la unidad de medida de este parámetro es milímetros.

2.10.3. Pluviómetros

Según Sànchez (2017); esto nos sirve para poder leer con más precisión el agua recogida.

2.10.4. Modelamiento con HEC- HMS

Este software es un modelo que nos representa la lluvia escorrentía en forma de modelo, el cual tiene como función simular el hidrograma de escorrentía que se produce en un determinado punto de la red fluvial como consecuencia de un episodio de lluvia (Gonzales&Scainni, 2004).

2.11. Análisis estadístico

2.11.1. Correlación de Pearson

Esto lo define Riquelme (2018) el cual nos dice que este parámetro nos indica la relación lineal entre dos variables cuantitativas aleatorias. En resumen, este análisis se puede definir como un índice utilizado para medir el grado de relación que tienen dos variables, ambas cuantitativas.

2.11.2. Análisis de Varianza

El análisis de la varianza (o Anova: Analysis of variance) es un método para comparar dos o más medias, el cual es necesario cuando se quiere comparar más de dos medias. En palabras más simples es un método que permite comparar varias medias en diversas situaciones (Abraira, 1996).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. LOCALIZACIÓN

El proyecto se realizó en la Provincia de Pastaza, en la parroquia de Fátima y Puyo; la cual presenta una temperatura media de 18 °C y 25 °C; Se encuentra a una altitud de 930 msnm y en un área aproximadamente de 87,67 km². El proyecto tuvo una durabilidad de cuatro meses aproximadamente.

Delimitación del área de estudio de la subcuenca del río Puyo

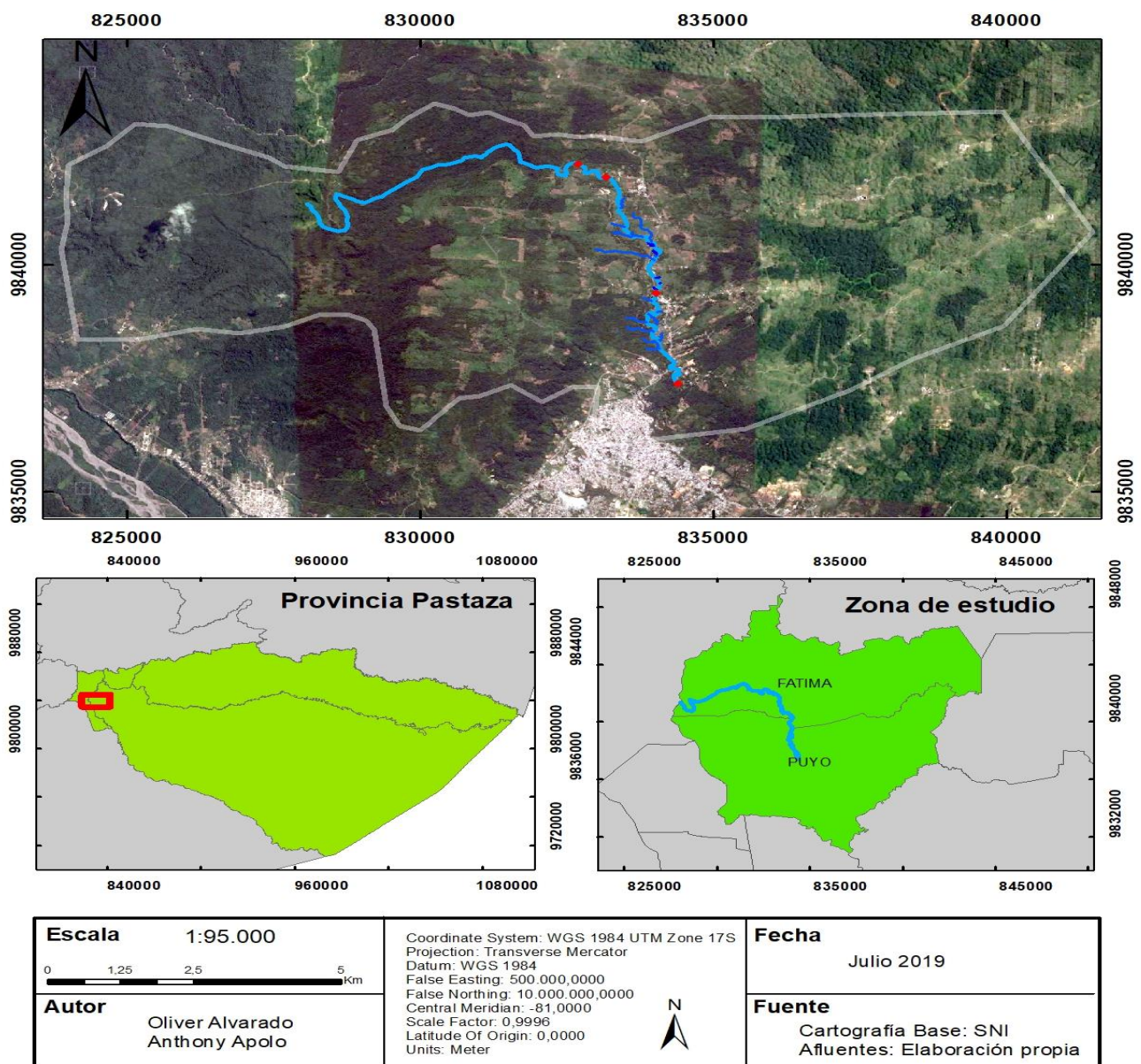


Figura 1: Delimitación del área de estudio de subcuenca del río Puyo

Fuente: Oliver Alvarado, Anthony Apolo

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta es una investigación descriptiva – deductiva la misma que consiste en identificar las características hidrológicas de la subcuenca del río Puyo en el tramo antes mencionada, con la finalidad de realizar un modelamiento de sus caudales en casos de eventuales crecidas.

3.3. METODOS DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se utilizó el método deductivo el cual está basado en observar las características del entorno de estudio y describir cómo estas se pueden desarrollar en el transcurso del proyecto.

3.4. RECURSOS Y MATERIALES

Tabla 3. Recursos y materiales

GPS	ArcGis 10.5
Cámara fotográfica	Cronómetro
Computadora	Mufla
Cinta métrica	Libreta de apuntes
Flexómetro	Balanza analítica y de precisión
Cilindro metálico	SPSS versión 22
Cilindro PVC	HEC-HMS 4.1
Infostat 2018	Google Earth Pro 7.3

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se trabajó mediante recopilación de información de campo, medición de caudales, toma de muestras de agua, pruebas de infiltración, procesamientos estadísticos, y con la ayuda de programas informáticos se procedió a la modelación de los caudales de la subcuenca del río Puyo en este caso, tramo que comprende desde Fátima hasta el sector del puente ubicado en la salida de la Universidad Estatal Amazónica Km 2 ½ vía Puyo-Tena.

3.5.1. TOMA DE DATOS

En los sitios seleccionados se realizaron toma de muestras de agua, las cuales fueron llevadas al laboratorio para sus análisis respectivos y así poder determinar el ICA, además se realizó pruebas de infiltración a 20 metros y 100 metros desde la orilla del río de forma superficial

y a 1 metro de profundidad donde también se tomó muestras de suelo con la ayuda de un cilindro metálico y uno de plástico PVC, los cuales tenían un diámetro de 7,5 centímetros y una altura de 5 centímetros, éste fue introducido en el suelo mediante presión y con la ayuda de la espátula se extrajo la muestra de suelo las mismas que fueron etiquetadas correctamente y llevadas al laboratorio para los respectivos análisis.

3.5.2. DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA Y TRAZADO DE LOS PUNTOS DE FÁTIMA - SECTOR PUENTE Km 2 ½ VÍA PUYO-TENA

Según Ordoñez (2011); menciona que la delimitación de una cuenca hidrográfica se la puede hacer a partir de fotografías aéreas, pero lo más común es utilizando los mapas topográficos. Esta delimitación consiste en trazar la línea divisoria que se denomina parteaguas y se ubica en las partes más altas dividiendo el curso de la escorrentía hacia una u otra cuenca. Una forma más sencilla de trazar la línea divisoria es definir la red de drenaje partiendo del cauce principal es decir todas las corrientes para luego ubicar los puntos altos que están definidos por las curvas de nivel en el plano (estas curvas son líneas que indican la elevación de los lugares por donde pasan y cuya elevación será igual al valor de la curva).

Para el trazado de los afluentes se redefinió el trazado del cauce principal de los afluentes realizando un recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura, con la ayuda de un equipo GPS marca GARMIN MODELO ETREX VISTA se realizó un reconocimiento de la zona y la determinación de los puntos, y con la ayuda del programa Google Earth Pro 7,3, se introdujo los datos y se realizó la identificación de los puntos de estudio de la subcuenca del río Puyo donde también se exportó los puntos que alimentan al cauce principal. Posteriormente a eso se procedió a elaborar el mapa de la zona de estudio mediante la ayuda del programa ArcGIS 10.5.

3.5.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA

Según Córdova (2016); los parámetros más importantes que intervienen la geomorfología de la cuenca son el área, perímetro, factor de forma, coeficiente de compacidad, curva hipsométrica pendiente y tiempo de concentración. En el presente proyecto en cuanto a la geomorfología de la subcuenca se procedió a determinar el área de la cuenca, perímetro, índice de compacidad, densidad de drenaje, relación de elongación, pendiente del cauce principal de la subcuenca.

3.5.4. DELIMITACIÓN DEL ÁREA Y PERÍMETRO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Siguiendo el criterio de Ordoñez (2011) ; ésta se define como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural, esta es probablemente la característica geomorfológica más importante, de igual forma se define al perímetro como la longitud del contorno del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca.

Para la determinación del área de la cuenca se procedió a trazar la zona de recarga seleccionando las cotas más altas tomando las curvas de nivel, procediendo a trazar un polígono en el programa Google Earth 7.3 para así poder determinar el área y perímetro de la zona de recarga demarcando nuestra zona de estudio, posterior a eso se exportó los datos al programa ArGis 10.5. procediendo a elaborar el mapa de la zona de estudio.

3.5.5. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPACIDAD DE LA SUBCUENCA

Como menciona Gaspari (2002); este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca.

Este índice representa la forma de la superficie de la cuenca, según su demarcación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación; de otra manera, este índice se basa en la comparación con una cuenca ideal de forma circular con sus cauces dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central y se expresa mediante la siguiente (ecuación 4), (Llano & Aguirre, 1987).

$$Kc = 0.28 P / \sqrt{A} \quad (4)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca en Km

A: Área de la cuenca en Km²

Tabla 4. Rangos de índices de compacidad.

Clase de Forma	Índice de Compacidad (Cc)	Forma de la cuenca
Clase I	1,0 a 1,25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1,26 a 1,50	Oval-redonda a oval oblonga
Clase III	1,51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Camino *et al* 2018.

3.5.6. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE ELONGACIÓN

Es la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima (Lm) de la cuenca. La variable Lm se define como la más grande dimensión de la cuenca a lo largo de una línea recta trazada desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo del parteaguas y de manera paralela al río principal (Breña & Jacobo, 2006).

Para estimar su magnitud se aplica la (ecuación 5):

$$Re = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{Lm} \quad (5)$$

Donde:

Re: Relación de elongación, adimensional.

D: Diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca, en metros.

Lm: Longitud máxima de la cuenca, en metros.

A partir de estudios realizados por varios autores; en un gran número de cuencas si: $Re = 1,0$, la cuenca es plana. Si $Re = 0,6 \leq Re \leq 0,8$, la cuenca es de relieve pronunciado. La Re se acerca a la unidad cuando la cuenca es plana; para cuencas con relieve pronunciado, el valor está entre 0,6 y 0,8 (Breña & Jacobo, 2006).

3.5.7. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DRENAJE

Este parámetro lo definen Breña & Jacobo(2006); donde resulta ser la relación de la suma de las longitudes de las corrientes (L) entre el valor del área (A) de la cuenca y se calcula con la expresión: (ecuación 6).

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (6)$$

Donde:

Dd: densidad de drenaje.

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

A: es el área de la cuenca, en Km².

La densidad de drenaje es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un fuerte periodo de lluvia, por la relación entre la infiltración y la escorrentía, y por lo tanto condiciona la forma del hidrograma resultante en el desagüe de la cuenca. Entonces a mayor densidad de drenaje, mayor será el flujo en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un

menor tiempo de respuesta de la cuenca y por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma (Breña & Jacobo, 2006). (Tabla 5)

Tabla 5: Rangos de densidad de drenaje

Densidad de drenaje (valores aproximados)	Clases
0,1 a 1,8	Baja
1,9 a 3,6	Moderada
3,7 a 5,6	Alta

Fuente: Breña & Jacobo, 2006.

3.5.8. DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE DEL CAUCE

Llano & Aguirre (1987); describen este parámetro como la influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, se presenta de acuerdo a los mayores o menores grados de pendiente. Se expresa mediante la (ecuación 7).

$$S = \frac{\Delta H}{D} \quad (7)$$

Donde:

S: Pendiente media de la cuenca

ΔH : Diferencia de altura

D: Distancia horizontal tomada del cauce

En la siguiente tabla se muestra la topografía adoptada por una cuenca según rangos aproximados de su pendiente media. (Tabla 6).

Tabla 6: Rangos aproximados de la pendiente media cauce.

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Pérez, 1979.

3.6. MUESTREO DE AGUA

3.6.1. REALIZACIÓN DE BATIMETRÍAS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

Según el criterio de Ramirez (2015); uno de los métodos más sencillos y utilizados para la realización de una batimetría es el método directo ya que es el más básico y se utiliza para poca precisión y consiste en atar a una cuerda en el extremo de la orilla e ir marcando la altura del fondo marino en cada marca de la cuerda a una distancia determinada. Para este proyecto se seleccionó los puntos en donde se midió el caudal, los cuales estaban en un tramo uniforme. En cada sitio se eligió el punto inicial (perfil de entrada) y punto final (perfil de salida), la distancia entre los puntos fue de 10 metros. Se realizaron 4 batimetrías en los puntos definidos. En cada punto se midió el ancho del río; y la profundidad fue medida a cada metro de distancia, aquello se realizó con la ayuda de estacas que fueron colocadas a cada extremo del río y en aquellos casos donde no fue posible colocar estacas se procedió a pintar con esmalte color rojo. En el procesamiento estadístico se calculó profundidad promedio, diferencias de las profundidades, perímetro de mojado, área de mojado, pendiente, estos parámetros se realizaron para el punto inicial y final de cada sitio y el perímetro de mojado promedio, área de mojado promedio, radio hidráulico, pendiente, velocidad y caudal, se realizó uno por los dos puntos (inicial y final). Todos los cálculos mencionados anteriormente nos sirvió para calcular el caudal de crecida que se generó en los meses de monitoreo.

3.6.1.1. Profundidad promedio (metros)

Es la sumatoria de todas las profundidades, dividido para el número de puntos tomados en el sitio.

3.6.1.2. Diferencias de las profundidades (metros)

Es la resta entre cada profundidad tomada, con la profundidad superior.

3.6.1.3. Perímetro de mojado

Corresponde a la longitud de la sumatoria de las paredes del lecho lo cual se estimará aplicando el teorema de Pitágoras. (ecuación 8).

$$C = \sqrt{((a)^2) + ((b)^2)} \quad (8)$$

Donde:

C: Perímetro de mojado

a: Diferencia de profundidad en cada metro

b: Diferencia entre el ancho en el que fueron tomados las profundidades.

3.6.1.4. Área de mojado

Se calculará mediante la (ecuación 9).

$$AM = \text{Profundidad promedio} * \text{Ancho del rio} \quad (9)$$

3.6.1.5. Perímetro de mojado promedio

Es el promedio entre el perímetro de mojado en el punto inicial y punto final en cada sitio.

3.6.1.6. Área de mojado promedio

Es el promedio entre el área de mojado en el punto inicial y punto final en cada sitio.

3.6.1.7. Radio hidráulico

Se calculará mediante la (ecuación 10).

$$RH = \frac{\text{Area de mojado promedio}}{\text{Perimetro de mojado promedio}} \quad (10)$$

3.6.1.8. Pendiente: Se calculará mediante la (ecuación 11).

$$S = \frac{\sum \text{Diferencia de altura}}{L} \quad (11)$$

3.6.1.9. Velocidad

Se calculará mediante la (ecuación 12).

$$V = \left(\frac{1}{n} * ((RH)^{2/3}) * ((S)^{1/2})\right) \quad (12)$$

Donde n se usó la constante (0,03)

3.6.1.10. Caudal m³/s

Se calculará con la (ecuación 13).

$$Q = \text{Velocidad} * \text{Area de Perimetro mojado} \quad (13)$$

3.7. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA).

Una vez realizado el muestreo de caudales de agua y análisis físico químicos en el caudal se analizó; pH, oxígeno disuelto, conductividad, solidos disueltos totales, solidos sedimentales, temperatura y turbidez. Después, con los datos obtenidos se procedió a la determinación del ICA basado en la norma NSF 1970.

En la actualidad existen diferentes metodologías para evaluar la calidad de agua de un cuerpo; la diferencia entre una y otra reside en la forma de calcularse y en los parámetros que se tienen en cuenta en la formulación del índice respectivo (Rodriguez & López, 2017).

3.7.1. Procedimiento de toma de muestras:

- Localizar y registrar el punto de toma de la muestra.
- Llenar la botella con la muestra de agua del punto a estudiar.
- Realizar la toma a mitad del río en forma contraria al flujo de agua y sumergiendo la botella para evitar el ingreso de aire.
- Identificar la muestra.

Para el presente proyecto se tomó en consideración algunos de los parámetros establecidos por la NSF 1970. Cabe recalcar que para este proyecto no se tomó en consideración coliformes fecales ya que para el cálculo de ICA no se habló de contaminación ya que los resultados obtenidos en laboratorio corresponden a los límites máximos permisibles para aguas con fines de recreación. (Tabla 7)

Tabla 7: Parámetros fisicoquímicos empleados por la NSF 1970.

Índice	ICA NSF
Parámetro	1970
OD	X
pH	X
DBO	X
Nitratos	X
Coliformes Fecales	X
Temperatura	X
Turbidez	X
Sólidos Disueltos Totales	X

Fuente: Torres, 2009.

Fórmula establecida por la NSF 1790 para determinar la calidad el agua. (ecuación 14).

$$ICA = (\sum Ci * Pi) / (\sum Pi) \quad (14)$$

Donde:

Ci: Valores asignados de cada parámetro.

Pi: Peso relativo asignado a cada parámetro

Para clasificar la calidad de agua se empleó el ICA (Índice de calidad de agua), se utilizaron 6 parámetros fisicoquímicos: OD, pH, temperatura, sólidos totales, solidos disueltos y turbidez, los cuales fueron analizados en laboratorio; los valores promedio de cada punto de muestreo fueron ingresados al software (Excel) para la determinación del ICA.

Mediante los valores que se obtuvieron de la formulación matemática, por medio de Excel se midió la incidencia de cada uno de estos parámetros en el total del índice, lo que permitió determinar la calidad del agua en cada tramo de puntos de muestreo. Posteriormente, se obtuvo el promedio de la totalidad de datos de cada parámetro para ser ingresados al Excel (NSF 1970) y finalmente se obtuvo un índice de calidad general. (Tabla 8).

Tabla 8: Clasificación del ICA (Índice de calidad de agua) propuesto por Brown.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado; adaptado de Brown, 1970.

3.8. MUESTREO DE SUELO

Según el portal web PORTAL FRUTÍCOLA, 2017; existen dos métodos tradicionales para determinar la velocidad de infiltración del suelo. Uno es el método del cilindro infiltrómetro el cual es utilizado para verificar el comportamiento del suelo donde se utilizan métodos de riego por tendido, bordes, aspersión y goteo; mientras que el otro es el método del surco infiltrómetro, utilizado en los casos en que el cultivo será regado por surcos rectos o sus variantes.

En este proyecto se utilizó el método del cilindro infiltrómetro en el cual se realizó 4 pruebas de infiltración en cada punto de medición de caudal, las cuales tuvieron una duración de 60

minutos y en condiciones climáticas favorables tuvieron una duración de 90 minutos; esto con la ayuda de la caneca de pintura de 18 litros, la cual se utilizó para realizar la prueba para así poder observar la curva de infiltración.

Para esto primeramente, se procedió a buscar un lugar plano en los puntos de estudio para instalar el infiltrómetro, para luego limpiar la cobertura del suelo con la finalidad de evitar la intervención de cuerpos extraños en el flujo estándar del agua, posteriormente mediante presión se enterró el infiltrómetro unos centímetros en el suelo, colocando en el mismo una funda plástica la cual se relleno con agua hasta la altura total del balde, se retirará la funda plástica, y con la regla y cronómetro se midió la variación de la altura del agua en el tiempo. La medición con el cronometro se realizó en los minutos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60 y 90

Se utilizó también cilindros metálicos de 3 pulgadas y 7 centímetros de altura para tomar muestras de suelo y luego análisis en laboratorio para identificar densidad aparente, textura y también se procedió a medir la conductividad hidráulica o infiltración.

3.8.1. DENSIDAD APARENTE

Según Keller & Håkansson (2010); este parámetro se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g. cm^{-3} o t. m^3). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Además, afirman que el método utilizado para la determinación de densidad aparente, se lo conoce también método del cilindro, el cual consiste en extraer las muestras de suelo con la ayuda de cilindros metálicos. (ecuación 15).

3.8.1.1. CÁLCULO DE LA DENSIDAD APARENTE

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de los sólidos de la muestra o peso seco (a)}}{\text{Volumen total de la muestra (b)}} \quad (15)$$

3.8.2. DENSIDAD DE RAÍCES

La densidad de raíces se determinó mediante las muestras de suelo las cuales se las separó de la muestra de suelo y se procedió a cuantificar y medir la longitud y numero de intersecciones.

Para la estimación de la densidad de raíces se utilizó la fórmula propuesta por (Newman, 1965). (ecuación 16).

$$R = \frac{\pi X N X A}{2H} \quad (16)$$

Donde:

R: Longitud de raíces (cm)

N: Número de intercepciones

A: Área de la superficie donde están distribuidas las raíces(cm²)

H: Longitud total de las líneas de referencia(cm)

Para determinar el volumen de la muestra se aplicó la ecuación (17).

$$V = A \times H \quad (17)$$

Donde:

V: Volumen de la muestra

A: Área del cilindro

H: Altura de la muestra

Para el cálculo de la densidad longitudinal de raíces se utilizó la ecuación (18).

$$Lx = \frac{R}{V} \quad (18)$$

Donde:

Lx: Densidad longitudinal de raíces

R: Longitud de raíces

V: Volumen de la muestra

3.8.3. ANÁLISIS DE LA TEXTURA

El análisis de la textura se realizó mediante análisis de laboratorio, los cuales consistieron inicialmente en secar la muestra para luego mediante el triturado de las muestras de suelo con la ayuda un rodillo para luego obtener una muestra fina. Posteriormente se pesó 40 gramos de muestra para luego trasladarlas a la mezcladora por 10 minutos cada muestra. Después de eso se procedió a colocar las muestras en las probetas de y aforar a 1000 ml donde se agitó hasta homogenizar la muestra. Después de la agitación se puso en marcha el cronómetro y se sumergió cuidadosamente el hidrómetro en la suspensión. Se anotó la lectura del hidrómetro en la suspensión a los 40 segundos de haber cesado la agitación, sacando cuidadosamente el hidrómetro y tomar la temperatura por último se procedió a dejar en reposo por dos horas y se volvió a tomar lectura con el hidrómetro y la temperatura.

Para los cálculos la lectura del hidrómetro fue corregida en base a la temperatura que se toma en cada lectura de acuerdo con la ecuación de sedimentación.

3.8.3.1. TEXTURA DE SUELO

La textura muestra el contenido de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Así mismo, influye en otras propiedades como la densidad aparente, la porosidad y, por lo tanto, el movimiento y el almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo (Lacasta *et al*, 2005).

3.8.3.1.1. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO

% Arena = $100 - (\text{lectura corregida 40 segundos} * 100 / \text{peso de la muestra})$

% Arcilla = $(\text{lectura corregida 2 horas} * 100 / \text{peso de la muestra})$

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

En el procesamiento estadístico se determinó la infiltración parcial y acumulada, velocidad de infiltración promedio, velocidad constante, velocidad instantánea.

Una vez obtenidos los resultados se realizó una triangulación en el gráfico de clases texturales. (figura 2)

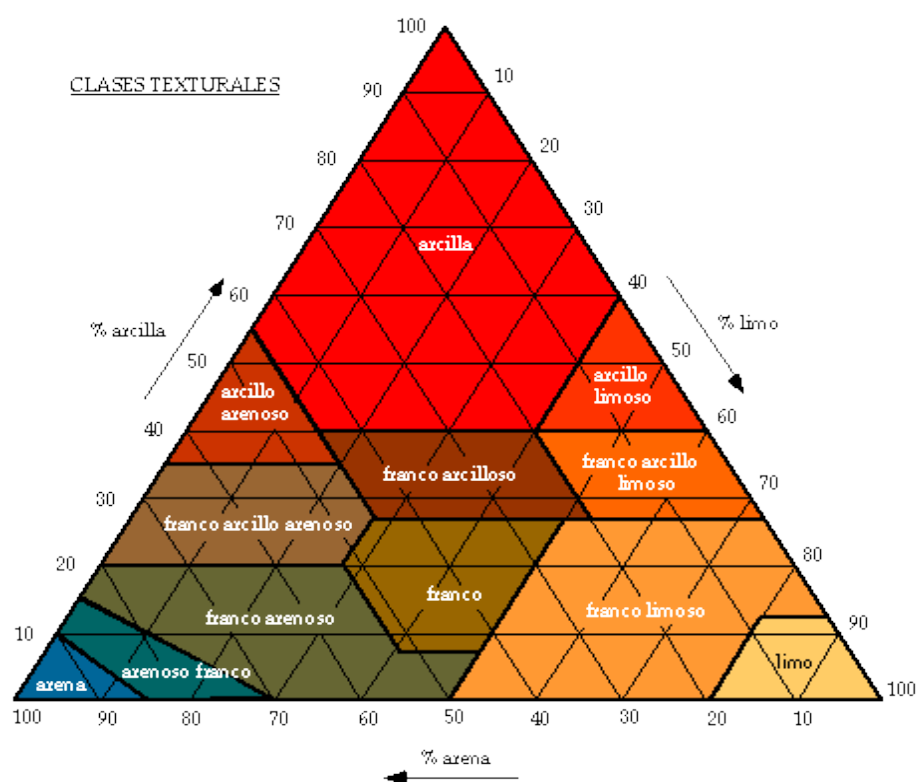


Figura 2: Clases Texturales

Fuente: Canales & Ochoa, 2007.

3.8.4. INFILTRACIÓN DE SUELO

3.8.4.1. Infiltración parcial:

Cantidad de agua en centímetros que se infiltro en cada minuto de medición realizado.

3.8.4.2. Infiltración acumulada:

Cantidad de agua en centímetros que se infiltro en todos los minutos de medición realizados.

3.8.4.3. Velocidad de infiltración promedio:

Para determinar este parámetro se realizó mediante la siguiente (ecuación 19).

$$VIP = \frac{\text{Infiltracion acumulada}}{\text{Tiempo acumulado}} \quad (19)$$

3.8.4.4. Velocidad instantánea:

Para determinar este parámetro se realizó mediante la (ecuación 20).

$$I = K * (T^N) \quad (20)$$

Donde:

K: Velocidad de infiltración en el minuto 1

T: Tiempo total acumulado de medición

N: Se calcula mediante la (ecuación 21).

$$N = \frac{(Y2-Y1)}{(X2-X1)} \quad (21)$$

Donde:

- **Y:** Son las coordenadas en Y que se forman en la gráfica de infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración.
- **X:** Son las coordenadas en X que se forman en la gráfica de infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración.

Para la realización de este proyecto se recopiló la información de precipitación de la estación meteorológica Veracruz perteneciente al INAMHI, donde se tomó como referencia de dos días. Una vez recopilada la información se realizó el modelo de crecida a través del software HEC-HMS 4.1.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYO EN EL TRAMO DE ESTUDIO

En la figura 3 se observa el área de estudio el cual fue un tramo seleccionado de la subcuenca del río Puyo.



Figura 3: Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

Se determinó el área de la zona de recarga el cual posee un área de 89,8 km² y una longitud del cauce principal de 14km hasta uno de los puntos de estudio el cual corresponde hasta el puente ubicado en la Universidad Estatal Amazónica Km 2 ½ vía Puyo-Tena. (figura 4)

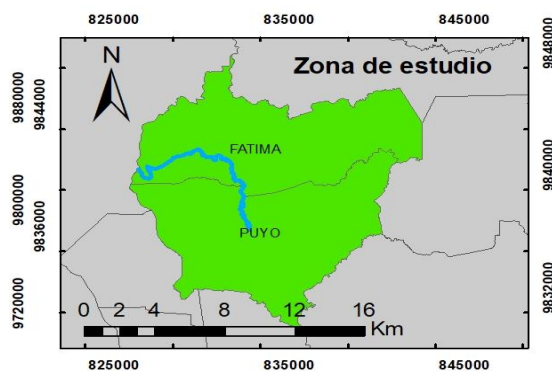


Figura 4: Zona de estudio

Fuente: Oliver Alvarado, Anthony Apolo

4.3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPACIDAD

Para el cálculo del índice de compacidad se empleó la fórmula que relaciona el perímetro de la zona del área de estudio con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca en este caso de la zona de estudio en la cual se determinó un índice de compacidad de 1,4, en donde según el criterio de la tabla de rangos del índice de compacidad (tabla 3) mostrada anteriormente; corresponde a una subcuenca de forma oval - redonda a oval oblonga lo cual lo cual; esto nos quiere decir que mientras la cuenca tiende a ser más redonda sea donde tiene más riesgo de inundación, lo que es comprobable si nos basamos en los últimos antecedentes de precipitaciones en la zona.

4.4. DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE DEL CAUCE

Para el cálculo de la pendiente se empleó la fórmula que expresa la relación entre la diferencia de altura tomada con el nivel y la distancia horizontal tomada del cauce, la altura cota máxima y mínima fue de 1260 y 945 msnm respectivamente; mientras que la longitud del cauce principal fue de 14 km, los resultados obtenidos en cuanto a la pendiente fue de 2,60 lo que según el criterio de la tabla de rangos para la pendiente (tabla 6) mostrada anteriormente, corresponde a una pendiente suave, esto debido la zona de estudio no presentó pendientes accidentadas en su topografía lo que concuerda con el resultado obtenido en el presente proyecto.

4.5. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE ELONGACIÓN

Para el cálculo de la relación de elongación se empleó la fórmula que expresa la relación entre la raíz cuadrada del área de la cuenca en Km^2 y la longitud de la cuenca en Km donde los resultados obtenidos nos muestran que la relación de elongación de la zona de estudio tiene un valor de 0,7 , siguiendo el criterio de varios autores, nos dice que si la relación de elongación se acerca a la unidad, la cuenca es plana, mientras que valores de 0,6-0,8 nos indican cuencas con relieves pronunciados, en este caso la relación de elongación presentó un valor de 0,7 lo que corresponde a una subcuenca con relieve pronunciado.

4.6. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DRENAJE

Para el cálculo de la densidad de drenaje se utilizó la fórmula que expresa la relación entre la longitud total de las corrientes perennes e intermitentes (km) y área total de la cuenca (km^2), los resultados mostraron que la densidad de drenaje de la zona de estudio presentó un valor de 1,8 que comparando con la tabla de rangos de densidad de drenaje (tabla 5) mostrada anteriormente , nos indica que la zona de estudio presenta una baja densidad , esto

se evidencia en el momento de periodos de fuertes precipitaciones donde se presentan las inundaciones en las zonas más bajas.

4.7. MUESTREO DE AGUA

4.7.1. Análisis de caudales

En el grafico se puede observar el comportamiento que se presentaron en los caudales, que fueron medidos durante los meses de muestreo (febrero, marzo, abril, mayo, junio). En el cual se hizo una medición cada tres días, y se sacó un promedio de cada mes. Como se observa el caudal promediado más alto se dio en el mes de abril por sus continuas precipitaciones, que alcanzo hasta un promedio de 0,66 metros; mientras que, el caudal más bajo se presentó en el mes de marzo con un promedio de 0,04 metros. Y en el mes julio solo se promedió hasta medio mes, lo que nos dio 0,17 metros de altura. (figura 5).

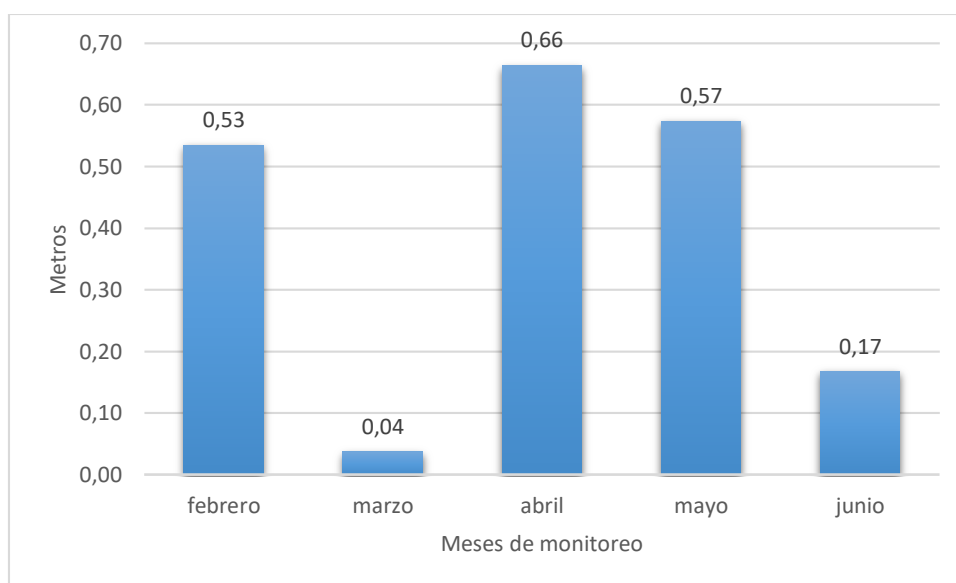


Figura 5. Comportamiento de las cotas en los meses de monitoreo por cada tres días

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.7.2. DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE CRECIDA GENERADOS EN LOS MESES DE MONITOREO EN BASE A LAS BATIMETRÍAS

Como se puede observar en la figura 6, los caudales de crecida que se generaron en los meses de monitoreo en el área del CITET nos muestran que el mayor caudal se produjo en el mes de abril con un $40,34 \text{ m}^3/\text{s}$, dándose un valor medio en el mes de mayo con un $35,88 \text{ m}^3/\text{s}$ y con un caudal más bajo se dio en el mes de marzo con $13,99 \text{ m}^3/\text{s}$. Se pudo deducir que el mes que presentó la mayor cantidad de precipitaciones fue el mes de abril.

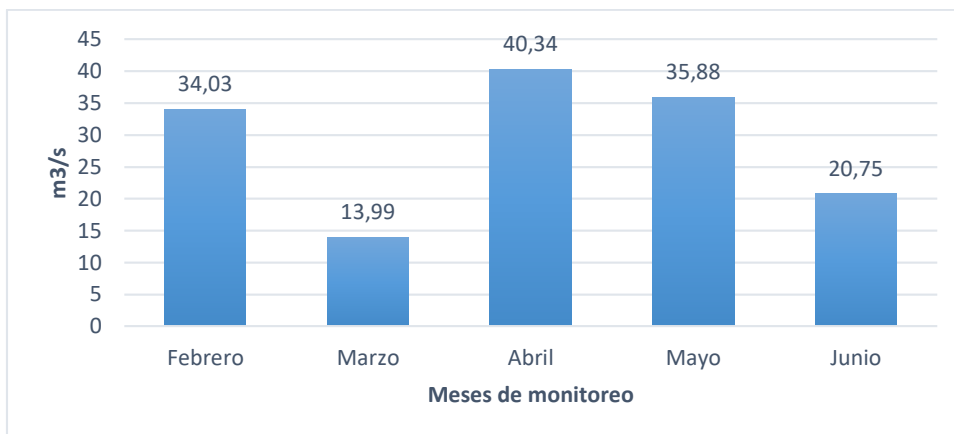


Figura 6. Caudales de crecida en CITET

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Como se puede apreciar en la figura 7, los meses de monitoreo que presentaron un mayor incremento en sus caudales en el Dique de Fátima fue el mes de abril con un 40,34 m³/s y mayo con un 35,89 m³/s respectivamente, y también se puede observar que en el mes de marzo el caudal disminuyó a 14,00 m³/s. Estos caudales no difieren mucho de los presentados en la figura 3, esto debido a la cercanía que existe entre ambos lugares.

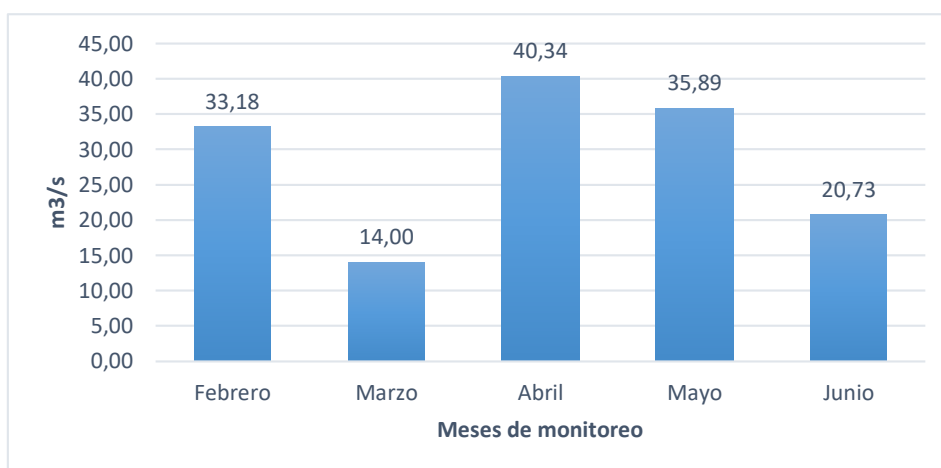


Figura 7. Caudales de crecida en Dique de Fátima

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Como se puede apreciar en la figura 8, los meses que presentaron incrementos en sus caudales fueron los meses de abril y mayo con 39,75 y 34,95 m³/s respectivamente. Así mismo estos caudales no varían demasiado en comparación a las figuras 6 y 7.

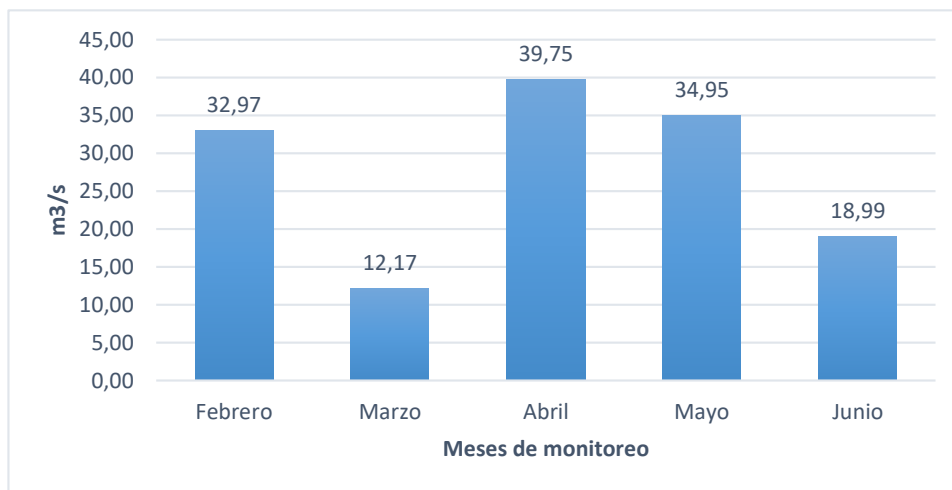


Figura 8. Caudales de crecida en Las Américas

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Como se puede observar en la figura 9, los meses que presentaron incrementos en sus caudales fue en los meses de abril y mayo con 34,15 y 30,53m³/s. respectivamente. Estos caudales si tienen una pequeña variación en comparación a las figuras 6,7 y 8.

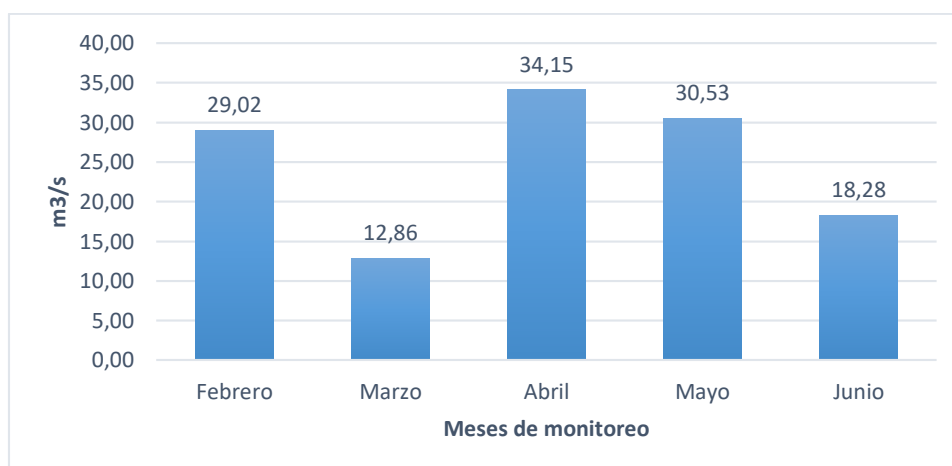


Figura 9. Caudales de crecida en la UEA

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.7.3 Análisis del Índice de Calidad de Agua

En la figura 10 se presentan los análisis de calidad de agua en los tres muestreos, el cual nos indica que en general una calidad Buena y Excelente, en donde detallando se puede observar que en los meses de Abril, Mayo y Junio, el punto 1 que corresponde al dique de Fátima, se encuentra en calidad “ Buena”, aquellos valores van en aumento en cuanto a calidad ya que en el punto 2 que corresponde al puente de Las Américas se encuentra en una calidad “ Excelente”, cabe recalcar que el muestreo de este punto se lo realizó

antes de la planta de tratamiento ubicada en el sector de Las Américas, lo cual hace que los valores de ICA de este punto se acerquen a la realidad, y finalmente en el punto 3 que corresponde al puente ubicado en el sector de la UEA se obtuvo un ICA de calidad “Excelente”. Esto enfatizando en que los afluentes de los puntos antes mencionados corresponden a afluentes para actividades de recreación según el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA. Es importante mencionar que los resultados que se obtuvieron mediante la norma establecida por la NSF 1970, son exclusivamente para agua con fines recreativos, en el cual se obtuvo resultados en rangos establecidos como “Buena” y “Excelente” sobre todo en el último mes de muestreo (junio) donde los valores se encontraron en un rango “Excelente”.

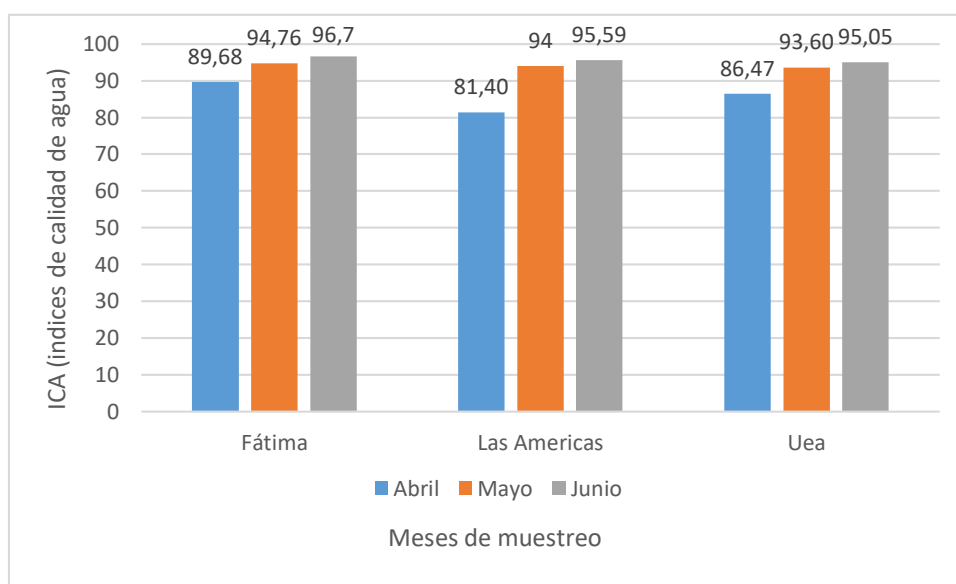


Figura 10. ICA (Análisis de calidad de agua) en los puntos de muestreo.

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.8. MUESTREO DE SUELO

4.8.1. CÁLCULO DE LA DENSIDAD APARENTE

Para la determinación de la densidad aparente se utilizó la fórmula propuesta por Keller & Håkansson (2010); en la cual nos dice que la densidad aparente es la relación entre el peso de los sólidos de la muestra o peso seco y el volumen total de la muestra.

En la figura 11, se puede observar la densidad aparente de las muestras analizadas correspondientes a los puntos de Fátima, Las Américas y la “UEA”, por cuestiones de disponibilidad del laboratorio de los días de análisis, las muestras de 1 – 8 corresponden al sector de las Américas, de 9 -16 corresponden a la UEA y de la 17 – 24 corresponden a

Fátima, donde se puede observar que la mayor densidad de raíces se encontró en la muestra número 24 que corresponde a la UEA; mientras que la menor densidad se encontró en la muestra número 5 que corresponde a Las Américas.

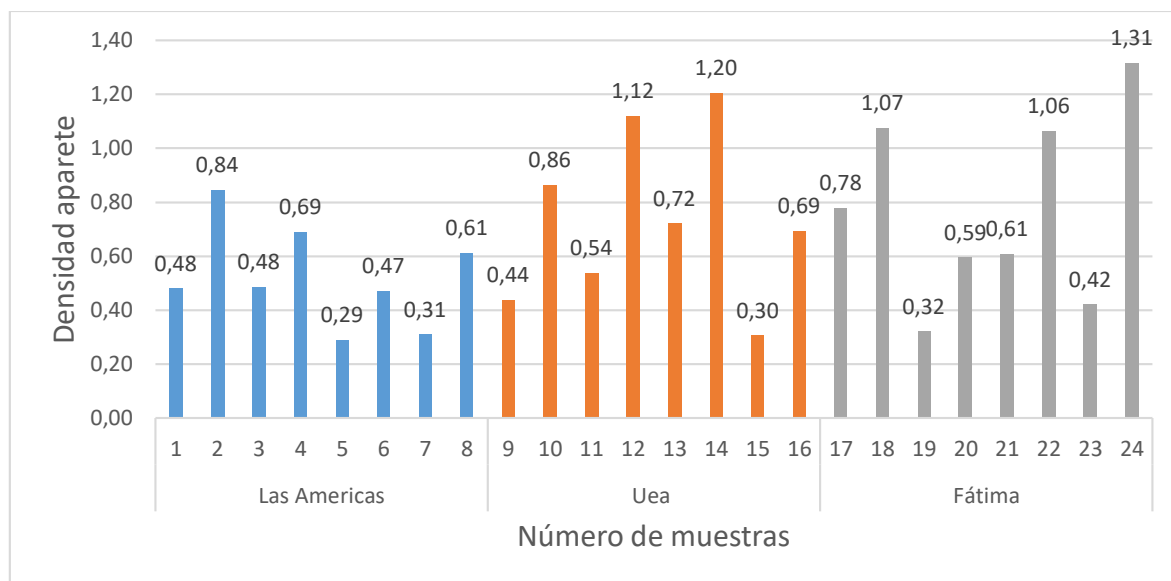


Figura 11. Densidad aparente de las muestras analizadas.

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.8.2. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN SECTOR FÁTIMA PARA COBERTURA PASTO

Los cálculos de la velocidad de infiltración para este tipo de cobertura en la zona de Fátima indicaron que se produjo una velocidad de infiltración de 4,67 cm/min con una infiltración acumulada de 14 centímetros, en la cual se evidenció que al minuto 3 se detuvo la infiltración y el pasto impidió que la infiltración continuara, esto debido a que en esta zona se produce una elevada compactación y esto impide el paso del agua.

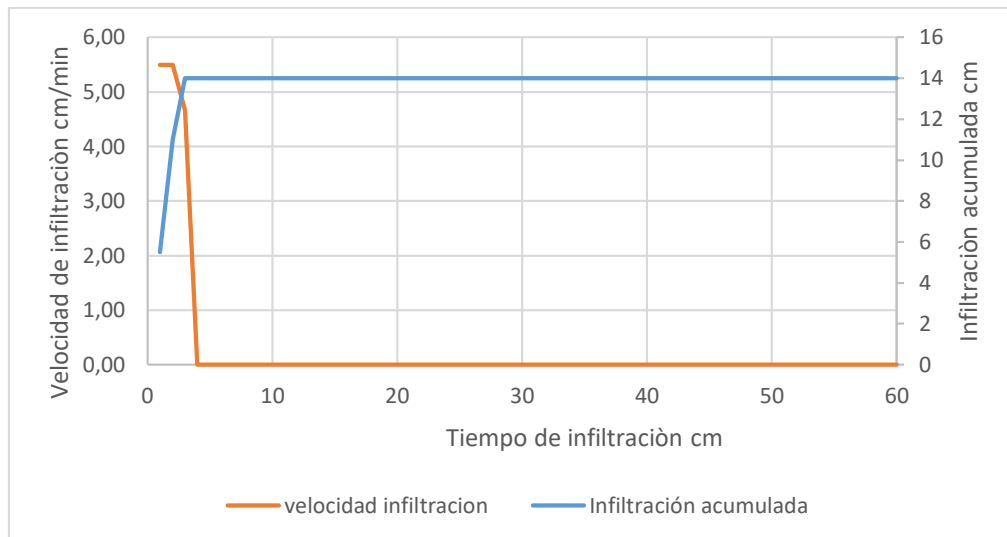


Figura 12. Velocidad de infiltración Fátima (muestra 2 a 100 metros, superficial)

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.8.3. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN SECTOR FÁTIMA PARA COBERTURA PASTO

Para este tipo de cobertura en esta zona se obtuvo que la velocidad de infiltración fue de 1,70 cm/min con una infiltración acumulada de 10 centímetros y se pudo observar que la infiltración llegó solo hasta el minuto 10, esto debido a que el pasto impide una completa infiltración.

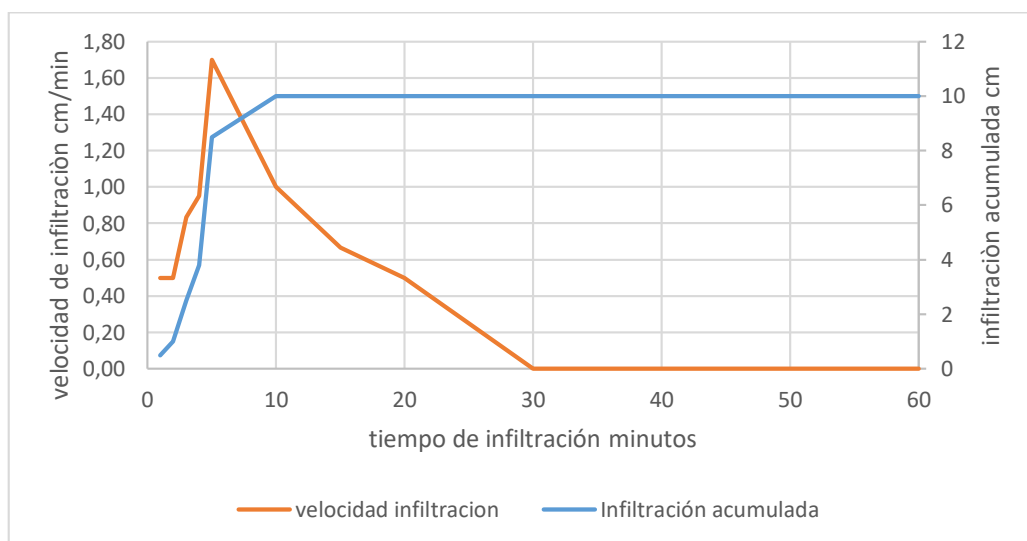


Figura 13. Velocidad de infiltración Fátima (muestra 2 a 100 metros, subterráneo)

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Estudios similares realizados por Mambuscay, *et al* (2016) indicaron que el tipo de uso del suelo afecta la dinámica de la lámina de infiltración acumulada en función del tiempo y que el exceso de labranza conduce al sellamiento y encostramiento superficial, procesos que disminuyen el almacenamiento de agua. Esto quedó reflejado en la disminución de la tasa de infiltración del suelo.

Por su parte Giler & Vargas (2019) realizaron análisis similares en su proyecto titulado caracterización de la zona de recarga hídrica Apangora donde determinaron dos tipos de uso de suelo: pasto y mosaico de los cuales se pudo deducir que el uso de suelo pasto por el excesivo pisoteo genera una compactación de los microporos que contienen aire y esto da origen a una capa impermeable que impide la infiltración del agua lluvia, ocasionando el arrastre y acumulación de los sedimentos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio donde se determinó que la cobertura pasto influye en la infiltración del agua como se muestra en las figuras 12 y 13.

4.8.4. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN SECTOR UEA PARA COBERTURA BOSQUE

Para este tipo de cobertura, la velocidad de infiltración mostró valores de 0,13 cm/min con una infiltración acumulada de 4,4 centímetros en un tiempo de 60 minutos, es importante mencionar que la infiltración en esta zona se pudo realizar en el tiempo establecido, esto debido a que la cobertura bosque no impide el paso del agua, esto a pesar de que en este punto la prueba de la realizó a 1m de profundidad

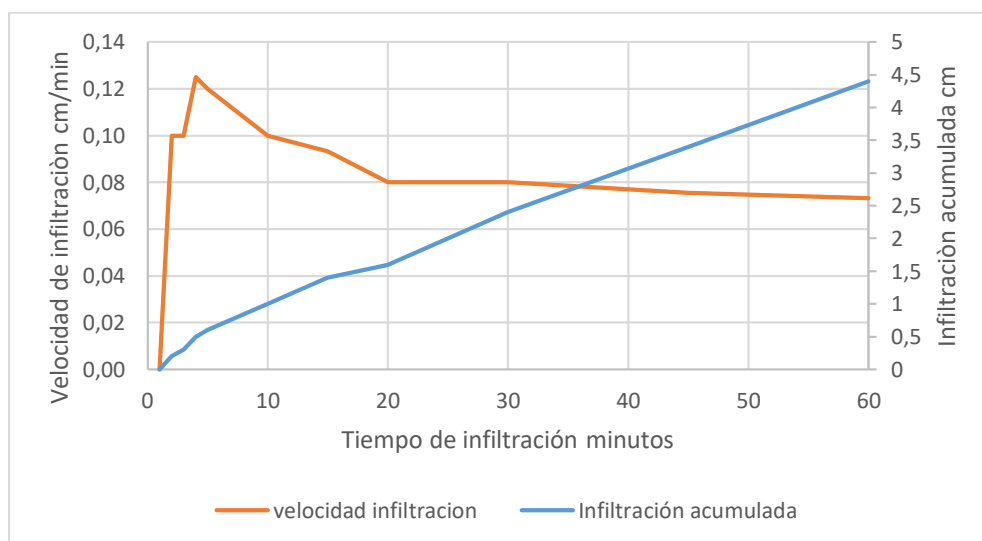


Figura 14. Velocidad de infiltración UEA (muestra 2 a 100 metros, subterráneo)

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.8.5. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN SECTOR UEA PARA COBERTURA BOSQUE

Para este tipo de cobertura en esta zona la velocidad de infiltración fue de 0,05 cm /min con una infiltración acumulada de 2 centímetros en un tiempo de 60 minutos.

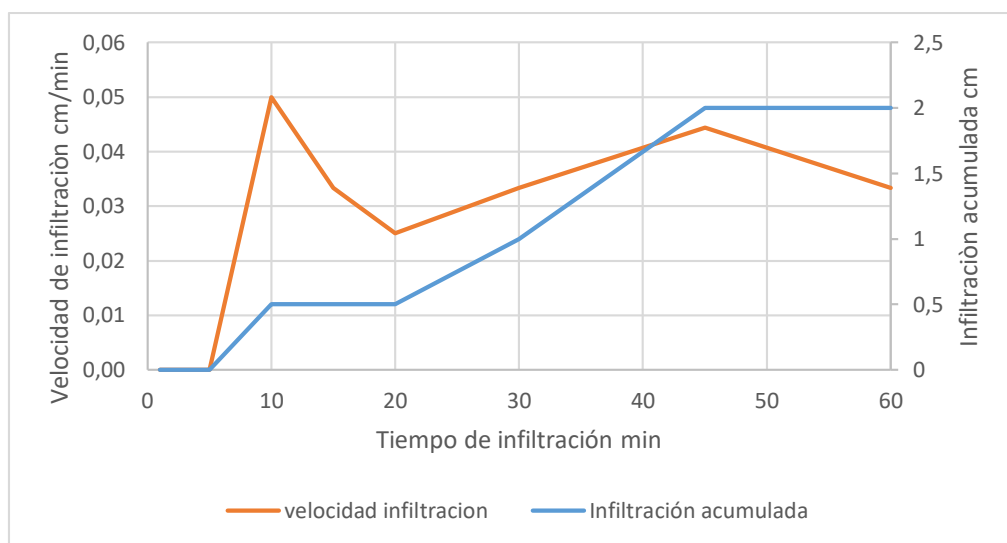


Figura 15. Velocidad de infiltración UEA (muestra 3 a 20 metros, superficial)

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Resultados similares se obtuvieron en estudios realizados por Guitierrez,*et al.* (2017) donde mencionan que se produjo una óptima infiltración en un bosque intervenido con pendiente fisiográfica y que por ende serían considerados como poseedores de una óptima infiltración.

De igual forma Hernández,*et al*(2005) determinaron que la materia orgánica del suelo juega un papel central para facilitar el ingreso del agua, ya que funciona como una esponja capaz de absorber el agua de la lluvia reduciendo la escorrentía superficial.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio en las pruebas de infiltración realizadas en la cobertura bosque que se pueden apreciar en las figuras 14 y 15.

4.8.6. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN 60 MINUTOS

Se observa en el gráfico la velocidad de infiltración a los 60 minutos, donde se puede observar que la muestra 5 presenta una mayor velocidad de infiltración con un valor de 0,44 cm/min, seguidas de las muestras 17, 19 y 18 respectivamente. Debido al uso de suelo presentes en las zonas, se puede observar que varias de las muestras no presentaron infiltración o presentaron una mínima infiltración como es el caso de la muestra 10 que

posee un valor de 0,01 cm/min, esto debido al pasto excesivo presente en la zona especialmente de Las Américas y Fátima lo que provoca una compactación de los microporos que contienen aire y esto da origen a una capa impermeable que impide la infiltración del agua lluvia.

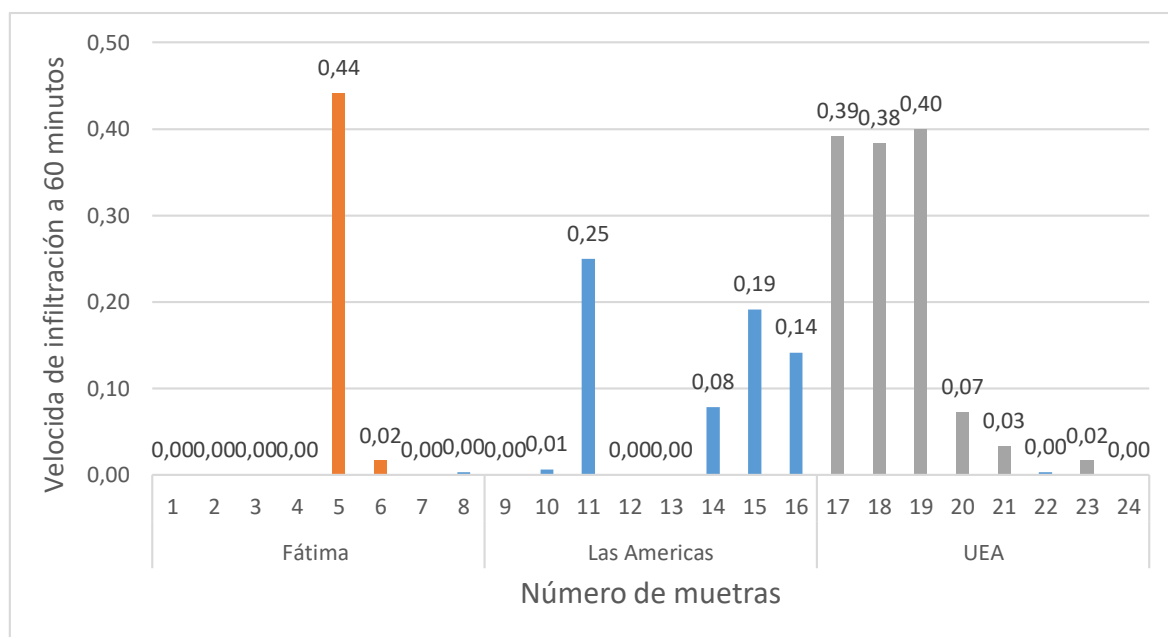


Figura 16. Velocidad de infiltración a 1 hora

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.9. ANÁLISIS DE TEXTURA

Como se puede observar en la tabla 9, en las 24 muestras de los 3 puntos de muestreo, la clase textural que predomina es de tipo franco arcilloso-arenoso, seguida de la clase franco arcilloso.

Tabla 9. Análisis de textura

Punto	no de muestra	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural
1	1	30,23	32,50	37,28	Franco arcilloso
1	1	35,23	32,50	32,28	Franco arcilloso
1	2	35,23	35,00	29,78	Franco arcilloso
1	2	47,73	35,00	17,28	Arcilloso arenoso
1	3	62,50	10,00	27,50	Franco arenoso
1	3	60,23	17,50	22,28	Franco arenoso
1	4	47,73	32,50	19,78	Franco arcilloso arenoso
1	4	57,95	30,00	12,05	Arcilloso arenoso
2	1	42,95	30,00	27,05	Franco arcilloso
2	1	40,45	32,50	27,05	Franco arcilloso
2	2	50,00	12,73	37,28	Franco
2	2	55,23	20,23	24,55	Franco arcilloso arenoso
2	3	45,45	25,23	29,33	Franco
2	3	45,45	32,73	21,83	Franco arcilloso arenoso
2	4	40,45	25,23	34,33	Franco
2	4	55,45	22,73	21,83	Franco arcilloso arenoso
3	1	45,00	22,73	32,28	Franco
3	1	42,50	32,50	25,00	Franco arcilloso
3	2	45,00	20,00	35,00	Franco
3	2	47,50	17,50	35,00	Franco
3	3	55,00	20,00	25,00	Franco arcilloso arenoso
3	3	52,50	17,50	30,00	Franco arenoso
3	4	55,00	17,50	27,50	Franco arenoso
3	4	47,50	35,45	17,05	Arcilloso arenoso

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.9.1. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (HEC- HMS 4.1)

En la figura 17 se observa el modelamiento hidrológico del mes de Junio el cual nos indica cual fue el comportamiento del caudal en ese mes, con la precipitación ingresada al software se puede obtener un modelo de lluvia sin pérdida, en los cuales se generó los datos desde las 7:00 horas hasta las 10:00 horas en el cual se observa que el aumento más alto del caudal fue de 80,2 m³/h a las 7:00 h mientras que se produce un decrecimiento entre la 1:00 h y las 4:00 horas y de igual forma desde las 8:00 horas hasta las 10:00 horas.

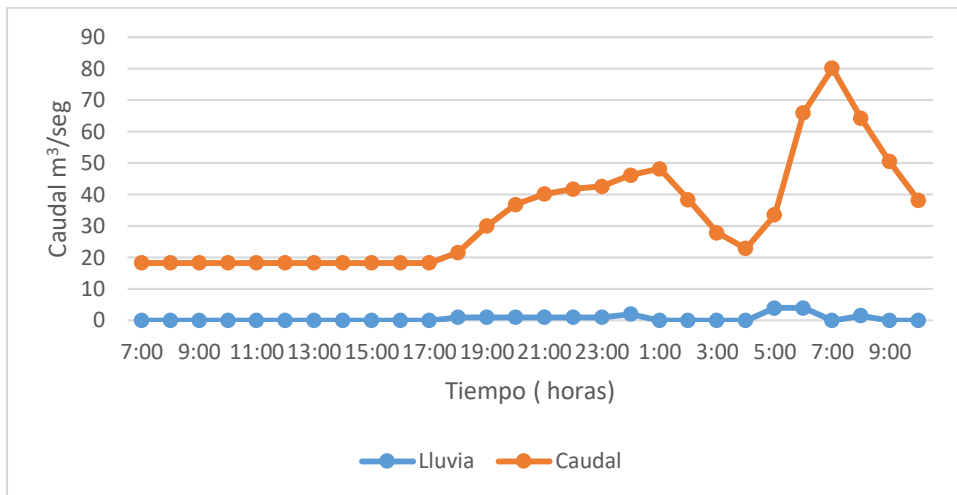


Figura 17: Modelo hidrológico sin pérdida de caudal

Fuente. Anthony Apolo, Oliver Alvarado

En la figura 18 se observa el mismo modelamiento, pero aplicado esta vez con pérdida, en el cual se observa una disminución en el nivel de los caudales con respecto a la lluvia, el cual nos indica que se produce un ligero incremento a las 9:00 horas con un caudal de 18 m³/h a pesar de que las lluvias continuaron desde las 7:00 h hasta la 23:30 horas y así mismo desde las 5:00 horas hasta las 7:00 horas no se generaron incremento de los caudales.

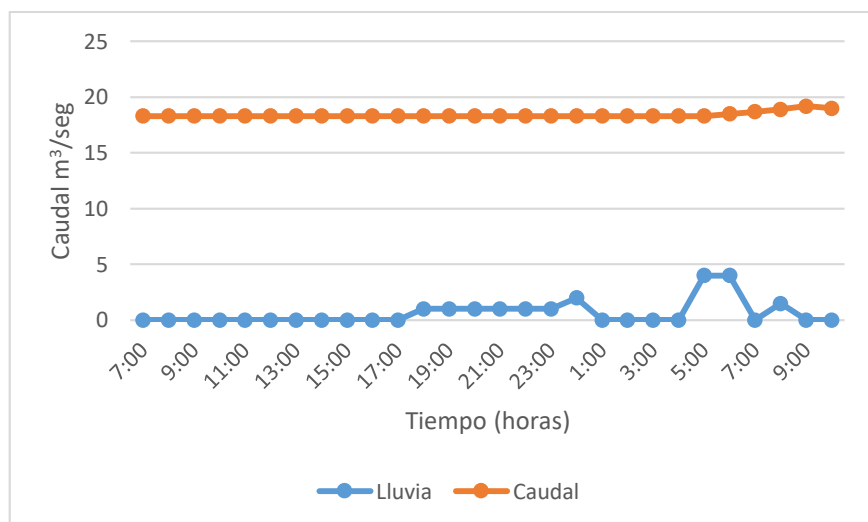


Figura 18: Modelo hidrológico con pérdida de caudal

Fuente. Anthony Apolo, Oliver Alvarado

4.9.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON

La agrupación de las variables se presenta en la tabla 10, la cual muestra una correlación de Pearson. Para su interpretación se consideró la significancia entre las variables que se tomó para estudio, la cual nos indica que los coeficientes pueden variar entre -1 y +1, en donde +1 hace referencia a una relación completa y -1 indica la inexistencia de una correlación. A su vez indica que si el coeficiente es positivo (+), ambas variables aumentan o disminuyen, mientras que si el coeficiente es negativo (-) significa que una variable incrementa mientras que la otra disminuye.

Tabla 10. Análisis de correlación de Pearson

Correlaciones					
	DENSIDAD PROFUNDIDAD	DENSIDAD APARENTE	VELOCIDAD INSTANTÁNEA	DENSIDAD DE RAÍCES	VELOC.DE INFILTRACIÓN 60 MIN
PROFUNDIDAD	1	,683**	-,249	-,042	-,284
DENSIDAD APARENTE		1	,107	,048	-,186
VELOCIDAD INSTANTÁNEA			1	,021	-,077
DENSIDAD DE RAÍCES				1	-,399*
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN 60 MINUTOS					1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (1 cola).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (1 cola).

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Además, en la tabla 10, se puede observar que existe una correlación significativa entre la profundidad y la densidad aparente, lo que nos quiere decir que mientras mayor es la profundidad, mayor será la densidad aparente. Esto lo refutan Alvarado & Forsythe (2004); en sus estudios donde mencionan que la densidad aparente aumenta ligeramente solo entre 20-60 cm de profundidad, probablemente como resultado del uso pecuario al que se someten

estos suelos, mientras que entre 60 y 80 cm de profundidad, se presentan valores de densidad aparente relativamente bajos, el cual puede atribuirse a la deposición aluvial de materiales gruesos (arenas y gravas).

Así también la correlación de Pearson nos indica que existe una correlación significativa en el nivel 0,05 entre la densidad de raíces y la velocidad de infiltración a 60 min, lo que nos indica que mientras mayor densidad de raíces menor será la velocidad de infiltración.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Se concluye que el cálculo del ICA (Índice de calidad de agua) mostró resultados en los cuales se determinó que la calidad de agua de los puntos de muestreo (Fátima, Las Américas, Universidad Estatal Amazónica) se encontraron en rangos de 91-100 los cuales están dentro de la norma establecida por La NSF 1970 (National Sanitation Foundation), clasificado como Excelente en lo que concierne para aguas con fines recreativos establecidos en el Anexo I Libro VI del TULSMA.
- En este proyecto de investigación se pudo determinar que en la medición de los caudales en los meses de monitoreo (febrero, marzo, abril, mayo, junio) las precipitaciones más altas en los meses de abril y mayo donde llegaron a niveles promedio de 0,66 y 0,57 metros respectivamente.
- Además, se determinó el modelamiento con el programa HEC-HMS 4.1 que permitió observar el comportamiento de los caudales aplicando un modelo de pérdida y otro sin pérdida; en el cual, en el de sin pérdida se obtuvo que el aumento del caudal fue de 80,2 m³/s a las 7:00 horas. Mientras que, en el modelo con pérdida se obtuvo que el caudal tuvo un ligero incremento a las 9:00 horas de 18 m³/s.
- Finalmente, con los resultados obtenidos se mostró que la velocidad de infiltración a 60 minutos dio un valor alto que fue en las muestras 5, 17, 18 y 19 respectivamente con un valor promedio de 0,37 cm/min las cuales corresponden a la cobertura de pasto. La densidad de raíces determinó que el valor más alto se concentró en la muestra 13 con un valor de 0,98, seguida de un valor medio en la muestra 23 con un valor de 0,71 y presentado el valor más bajo se observa en la muestra 8 con un 0,05. La densidad aparente mostró que los valores más altos se encontraron en la muestra número 24 con un 1,31 que corresponde a Fátima, mientras que en un rango medio se encontró en la muestra 14 con un 1,12 correspondiente a la Universidad Estatal Amazónica; mientras que la menor densidad se encontró en la muestra número 5 que corresponde a Las Américas, de la misma forma se observó que la densidad más baja se presentó en la muestra 5 con un valor de 0,29 que corresponde a Fátima.

5.2.RECOMENDACIONES

- Consideramos que es importante que las organizaciones gubernamentales y estudiantes del próximo periodo lleven a cabo mediciones de caudal en los meses de mayores precipitaciones con la finalidad de alertar a tiempo a las zonas cercanas a las riberas del río Puyo sobre eventuales crecidas.
- Es importante incentivar y fomentar en las instituciones educativas el manejo de programas de modelamiento hidrológico con la finalidad de hacer énfasis en la relevancia que genera el conocimiento del comportamiento de los caudales para así también pronosticar y prevenir posibles inundaciones en las zonas más bajas.
- Llevar a cabo capacitaciones a la población en general sobre el manejo de cuencas hídricas, educación ambiental y calidad de agua a pesar de que la calidad de agua en los puntos de muestreo se encuentra en rangos dentro de lo establecido por la norma NSF, teniendo en cuenta las continuas descargas de efluentes al río Puyo pueden alterar posteriormente la calidad del mismo.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

Abraira.(1996).Métodos Multivariantes en Bioestadística. Obtenido de http://www.hrc.es/bioest/Anova_1.html

Aguero, R., & Barrios, C. (2008). Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019_SER_OrientacionesA&Szonasrurales/Orientaciones%20sobre%20A&S%20para%20zonas%20rurales.pdf

Alvarado, A., & Forsythe, W. (2004). VARIACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN ÓRDENES DE SUELOS DE COSTA RICA. Agronomía Costarricense, 88.

ANNAN. (2005). El agua, fuente de vida. Fundación de Investigación para la Ciencia, la Tecnología y la Ecología. Tayikistán

ARQHYS. (2001). Estructura del suelo. Recuperado el 04 de 2017, de <https://www.arqhys.com/arquitectura/sstructura-suelo.html>

Barbecho J, & Calle J. (2012). CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DE LOS SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TARQUI.

Breña,A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Obtenido de http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf

Breña,A & Jacobo,M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial.S.C

Brown,R.M. (1970). A Water Quality Index . - Do We Dare? Water and Sewage Work.

Camino,M.,Bó,M.,Cionchi,J.,López,A.,Del Río,J.,De Marco,S,. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista Universitaria de Geografía, 1-25.

Canales, & Ochoa. (2007). Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro. Subproyecto " pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura", 19.

- Còrdova,M,. (2016). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas. Obtenido de http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- Donis,l,. (2015). IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO NEGRO, CIUDAD DE GUATEMALA SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/15/Donis-Luisa.pdf>
- Ecured. (2019). Calidad de agua.Recuperado el 20 de 05 de 2019, de https://www.ecured.cu/Calidad_del_Agua
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FAO. (2010).Bosque. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <http://www.fao.org/3/i1757s/i1757s13.pdf>
- FAO. (2019). Propiedades Físicas del Suelo. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2019). Clasificación de Suelos. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>
- García, K., & Rucks, P. (2004). Propiedades Físicas del Suelo . Montevideo. Obtenido de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Gaspari,F. (2002). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva.España: Ediciones Cooperativas, Buenos Aires.
- Giler,E. & Vargas,M. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA HÍDRICA APANGORA. pag 34.
- Glossaire Eau & Milieux Aquatiques. (2018). Caudal de crecida. Obtenido de <http://www.glossaire-eau.fr/es/concept/caudal-de-crecida>
- Gonzales,M &Scainni,A. (2004). Análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona. Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Pamplona. Obtenido de <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2011/pdf/p488.pdf>

- Gutierrez, F., Espezúa, R. M., & Tapia, L. R. (2017). Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. *Anales Científicos*, 196-197.
- Gutierrez,F. (2010). Practica de densidad aparente. Obtenido de https://www.academia.edu/9732618/Practica_de_Densidad_aparente_grupo_2_seccion_4-b
- Guy,S. (2014). SMART Fertilizer Management. La Salinidad del Suelo. Obtenido de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-salinity>
- Hernández, M. A., García, M. A., Vargas, I., Santana, Z., & Rocha, C. (2005). Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados. *Terra Latinoam*, 21–27.
- Ibañez,J.(2007).Ph del Suelo. Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>
- INOCAR. (2019). Recuperado el 25 de 05 de 2019, de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/proyectos/inocar-senescyt/19-caracterizacion-hidro-oceanografica-y-ambiental-del-margen-costero/47-caracterizacion-hidrologica>
- Keller,I. & Håkansson,T .(2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154.
- Lacasta,D.,Meco,R.,Maire,N.,Csic,C. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y. En *El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*.Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación (págs. 429-436).
- Llano,L,& Aguirre,M,. (1987). Hidrología de Superficie. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España: Editorial Salazar.
- Mambuscay,B,.Collazos,E,.Quesada,J,. (2016). Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, 369.

- Newman,E,. (1965). A method of estimating the total length of root in a sample. . This Week's Citation Classic, 139-145.
- Ordoñez,J,. (2011). ¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA? Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Portal Frutícola. Infiltración del agua en el suelo.Impostancia y métodos para medirla. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/04/infiltracion-del-agua-en-el-suelo-importancia-y-metodos-para-medirla/>
- Ramirez,A.(2015). BATIMETRÍA. Mexico D.F: BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA.
- Riquelme,M,. (2018). ¿Qué Es Y Cómo Se Interpreta El Coeficiente De Correlación De Pearson? Obtenido de <https://www.webyempresas.com/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/>
- Rodriguez,C. & López,E.(2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI.
- Rojas,P,. (2017). ¿Cuáles son los tipos de Cuencas Hidrográficas? Obtenido de <https://www.ingeciv.com/cuales-son-los-tipos-de-cuencas-hidrograficas/>
- Rubio,A,. & Ortiz,C,.(2013). Chihuahua: Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Sánchez. (2017). En Hidrologia Superficial y Subterranea. Createspace Independent Pub.S.C
- Swallow. (2001). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Mexico D.F. Obtenido de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>
- Torres,P,. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. Medellín: Universidad de Medellín.

- TULSMA. (2017). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, 286-339. Obtenido de Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.
- Valle, D., & Sierra,C,. (2001). Ecuaciones de biomasa de raices y sus tasas de acumulacion en bosques sucesionales y maduros tropicales de Colombia. Obtenido de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/18_Sierra.PDF
- Vàsquez,E,.(2017). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. Recuperado el 21 de 08 de 2017, de <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>
- Velez,J,& Botero,A,.(2010). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES . Manizales. Recuperado el 14 de Mayo de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n165/a06v78n165.pdf>
- Verchot,L. (2006). Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_06_Ch6_Grassland.pdf

CAPÍTULO VII

7. ANEXOS

Anexo 1: Tabla 11: Cronograma de actividades.

N. Actividades	Fechas	Tareas	Responsables
1	21 de Marzo de 2019	Inscripción en la Unidad de Titulación señalando la modalidad de titulación	Anthony Apolo Oliver Alvarado
2	28 y 29 de Marzo de 2019	Ejecución de batimetrías en la zona de estudio	Anthony Apolo Oliver Alvarado
3	31 de Marzo de 2019	Salida de campo para la primera toma de muestras de agua	Anthony Apolo Oliver Alvarado
4	02 de Abril de 2019	Presentación del perfil de proyecto con el aval del director	Anthony Apolo Oliver Alvarado Ricardo Abril
5	08 de Abril de 2019	Salida de campo para el trazado del track e identificación de los afluentes	Anthony Apolo Oliver Alvarado Ricardo Abril
6	10 de Abril de 2019	Análisis de las muestras de agua en laboratorio de la UEA correspondientes al mes de Abril	Anthony Apolo Oliver Alvarado
7	18 de Abril de 2019	Revisión y entrega del perfil de proyecto	Tribunal evaluador
8	30 de Abril de 2019	Salida de campo para la segunda toma de muestras de agua.	Anthony Apolo Oliver Alvarado
9	02 de Mayo de 2019	Análisis de las muestras de agua en laboratorio de la UEA correspondientes al mes de Mayo.	Anthony Apolo Oliver Alvarado
10	08 de Mayo – 23 Mayo de 2019	Realización de las pruebas de infiltración en los diferentes puntos de muestreo	Anthony Apolo Oliver Alvarado
11	27 de Mayo – 30 de Mayo de 2019	Análisis de las muestras de suelo para la determinación de la textura y densidad aparente.	Anthony Apolo Oliver Alvarado
12	13 de Junio de 2019	Análisis de las muestras de agua en laboratorio de la UEA correspondientes al mes de Junio.	Anthony Apolo Oliver Alvarado
13	17 de Junio – 24 de Junio	Tabulación y representación gráfica de datos	Anthony Apolo Oliver Alvarado
14	25 de Junio	Entrega del proyecto final al Departamento de Ciencias de la Vida.	Anthony Apolo Oliver Alvarado

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 2: Tabla: 12: Textura de suelo.

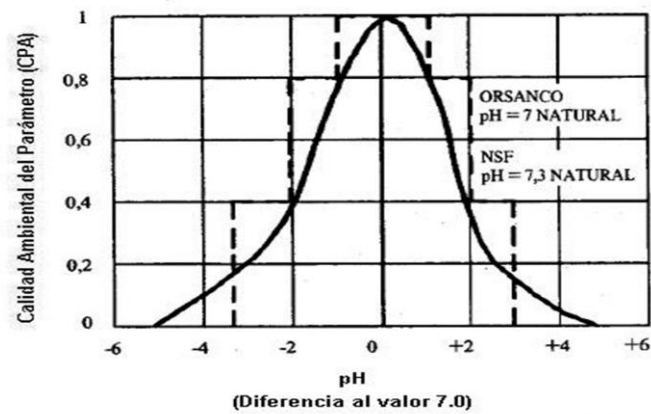
	N° muestra	Temperatura						Lecturas									
							Inicial	Final	Sin corregir		Corregidas						
		Ref	1	2					1	2	1	2	% Arena	% Arcilla	% Limo		
Blanco		19,5	Fcm	Fcb	Fcm	Fcb	25	24	6	7							
1	2532		0,90	0,99	0,81	0,81	24,5	24	34	20	27,91	13,00	30	33	37	Franco arcilloso	100
2	2533		0,90	0,99	0,81	0,81	24,5	24	32	20	25,91	13	35	33	32	Franco arcilloso	100
3	2534		0,90	0,99	0,81	0,81	24,5	24	32	21	25,91	14	35	35	30	Franco arcilloso	100
4	2535		0,90	0,99	0,81	0,81	24,5	24	27	21	20,91	14	48	35	17	Arcilloso arenoso	100
5	2536		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	21	11	15	4	63	10	28	Franco arenoso	100
6	2537		0,90	0,99	0,81	0,81	24,5	24	22	14	15,91	7	60	18	22	Franco arenoso	100
7	2538		0,90	0,99	0,81	0,81	24,5	24	27	20	20,91	13	48	33	20	Franco arcilloso arenoso	100
8	2539		0,81	0,99	0,81	0,81	24	24	23	19	16,82	12	58	30	12	Arcilloso arenoso	100
9	2540		0,81	0,99	0,81	0,81	24	24	29	19	22,82	12	43	30	27	Franco arcilloso	100
10	2541		0,81	0,99	0,81	0,81	24	24	30	20	23,82	13	40	33	27	Franco arcilloso	100
11	2542		0,99	0,99	0,90	0,81	25	24,5	26	12	20	5,09	50	13	37	Franco	100
12	2543		0,90	0,99	0,90	0,81	24,5	24,5	24	15	17,91	8,09	55	20	25	Franco arcilloso arenoso	100
13	2544		0,81	0,99	0,90	0,81	24	24,5	28	17	21,82	10,09	45	25	29	Franco	100
14	2545		0,81	0,99	0,90	0,81	24	24,5	28	20	21,82	13,09	45	33	22	Franco arcilloso arenoso	100
15	2546		0,81	0,99	0,90	0,81	24	24,5	30	17	23,82	10,09	40	25	34	Franco	100
16	2547		0,81	0,99	0,90	0,81	24	24,5	24	16	17,82	9,09	55	23	22	Franco arcilloso arenoso	100
Blanco			Fcm	Fcb	Fcm	Fcb	25	24	6	6							
17	2548		0,99	0,99	0,90	0,81	25	24,5	28	15	22,00	9,09	45	23	32	Franco	100
18	2549		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	29	19	23,00	13,00	43	33	25	Franco arcilloso	100
19	2550		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	28	14	22,00	8,00	45	20	35	Franco	100
20	2551		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	27	13	21,00	7,00	48	18	35	Franco	100
21	2552		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	24	14	18,00	8,00	55	20	25	Franco arcilloso arenoso	100
22	2553		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	25	13	19,00	7,00	53	18	30	Franco arenoso	100
23	2554		0,99	0,99	0,81	0,81	25	24	24	13	18,00	7,00	55	18	28	Franco arenoso	100
24	2555		0,99	0,99	0,99	0,81	25	25	27	20	21,00	14,18	48	35	17	Arcilloso arenoso	100

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 3: Tabla 13: Cálculos principales.

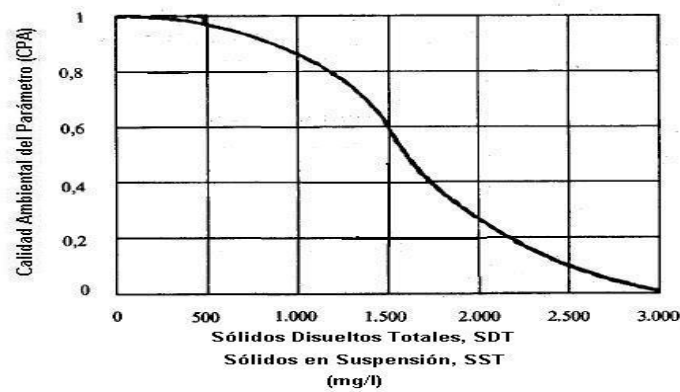
Tipo de cobertura	Profundidad	Densidad aparente	Textura	Velocidad instantánea	Densidad de raíces	Velocidad de infiltración a 60 min
bosque	0	0,48	Franco	1,23	0,45	0,00
bosque	1	0,84	Franco arcilloso	0,66	0,25	0,00
pasto	0	0,48	Franco	2	0,17	0,00
pasto	1	0,69	Franco	0,33	0,63	0,00
mosaico	0	0,29	Franco arcilloso arenoso	0,77	0,19	0,44
mosaico	1	0,47	Franco arenoso	0,18	0,27	0,02
pasto	0	0,31	Franco arenoso	0,48	0,10	0,00
pasto	1	0,61	Arcilloso arenoso	0	0,05	0,00
bosque	0	0,44	Franco arcilloso	1,15	0,57	0,00
bosque	1	0,86	Franco arcilloso	0,00	0,14	0,01
bosque	0	0,54	Franco arcilloso	0,49	0,32	0,25
bosque	1	1,12	Arcilloso arenoso	0	0,36	0,00
bosque	0	0,72	Franco arenoso	1,98	0,98	0,00
bosque	1	1,20	Franco arenoso	0,00	0,47	0,08
bosque	0	0,30	Franco arcilloso arenoso	0,47	0,16	0,19
bosque	1	0,69	Arcilloso arenoso	0,20	0,18	0,14
bosque	0	0,78	Franco arcilloso	0,57	0,11	0,39
bosque	1	1,07	Franco arcilloso	0,39	0,10	0,38
bosque	0	0,32	Franco	0,88	0,08	0,40
bosque	1	0,59	Franco arcilloso arenoso	0,00	0,63	0,07
bosque	0	0,61	Franco	0,00	0,17	0,03
bosque	1	1,06	Franco arcilloso arenoso	0,00	0,55	0,00
bosque	0	0,42	Franco	0,00	0,71	0,02
bosque	1	1,31	Franco arcilloso arenoso	3,4000	0,14	0,00

Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado



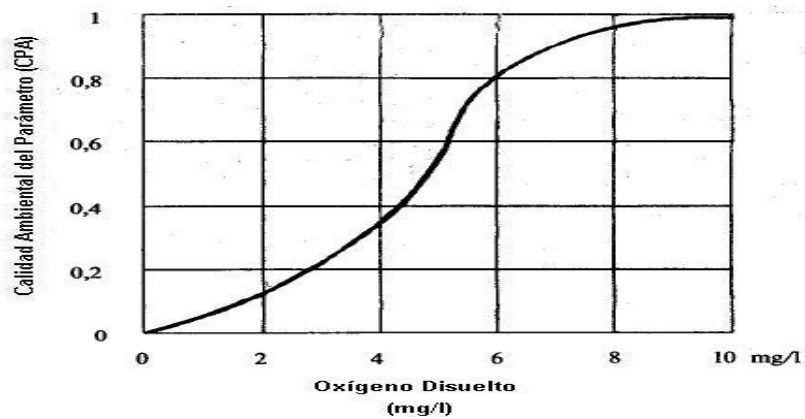
Anexo 4:Figura 19: Función de calidad NSF 1970 de Ph.

Fuente: NSF 1970 (National Sanitation Foundation).



Anexo 5:Figura 20: Función de calidad NSF 1970 Solidos Disueltos.

Fuente: NSF 1970 (National Sanitation Foundation).



Anexo 6. Figura 21: Función de calidad NSF 1970 Oxígeno Disuelto.

Fuente: NSF 1970 (National Sanitation Foundation).

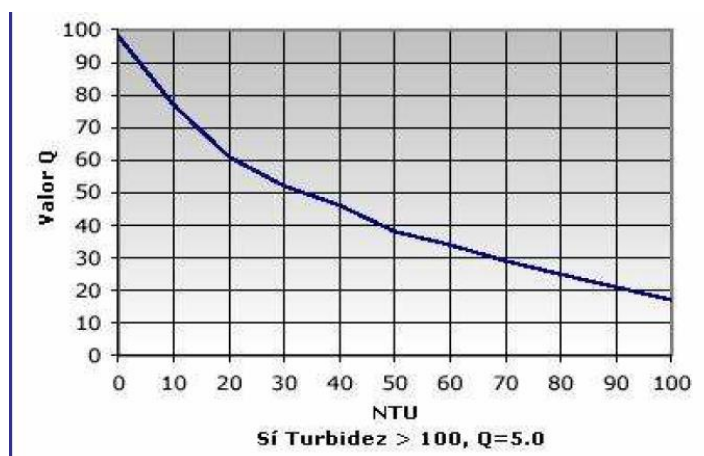


Figura 15. Función de calidad NSF Turbidez.

Anexo 7: Figura 22. Función de calidad NSF 1970 Turbidez.

Fuente: NSF 1970 (National Sanitation Foundation).

Anexo 8. Reconocimiento y delimitación de la zona de estudio.



Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 9. Realización de batimetrías en los puntos de estudio.



Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 10. Toma de muestras de agua.



Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 11. Análisis de muestras de agua para determinación de ICA.



Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 12. Pruebas de infiltración.



Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado

Anexo 13: Determinación de la textura de suelo.



Fuente: Anthony Apolo, Oliver Alvarado