



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE

#### MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Título:**

---

**“DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DEFINIR  
ÁREAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LAS RIBERAS DEL  
RÍO CUTUCHI LATACUNGA”**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión  
Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible

**Autor**

Ing. Evelyn Shervin Jiménez Molina

**Tutor**

Mg. Renán Arturo Lara Landázuri

**LATACUNGA - ECUADOR**

**2023**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Determinación de Caudales Máximos para Definir Áreas de Protección Ambiental en las Riberas del Río Cutuchi Latacunga” presentado por Evelyn Shervin Jiménez Molina para optar por el título Magister en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

### CERTIFICO

Que dicho Trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe su exposición y defensa pública.

Latacunga 16, junio de 2023

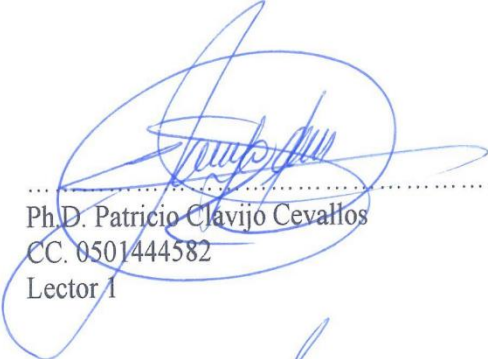


.....  
M.g. Renán Arturo Lara Landázuri  
CC. 0400488011


## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El Trabajo de Titulación: " Determinación de Caudales Máximos para Definir Áreas de Protección Ambiental en las Riberas del Río Cutuchi Latacunga", ha sido revisado, aprobado y autorizado para su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magister en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

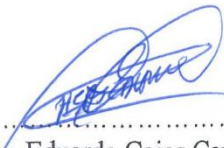
Latacunga 16, junio de 2023



.....  
Ph.D. Patricio Clavijo Cevallos  
CC. 0501444582  
Lector 1



.....  
Mg. José Luis Agreda Oña  
CC. 0401332101  
Lector 2



.....  
Mg. Eduardo Cajas Cayo  
CC. 0502205164  
Lector 3

## **DEDICATORIA**

El trabajo desarrollado, lo dedico a Dios por ser mi guía y por darme la fortaleza que me conduce por el camino del bien, y del éxito.

A mis Padres: Marco y Nancey, por ser el pilar de mi vida, por darme su amor, darme la fuerza para seguir caminando y lograr esta meta tan anhelada, que gracias a Dios y conjuntamente con ellos lo he logrado, Dios los bendiga, y les de muchos años de salud y vida.

A mis hermanos: Noemy y Marco, por su apoyo incondicional, por confiar y creer en mí, que tengan en cuenta que todo lo que nos proponemos en la vida lo podemos cumplir con esfuerzo, perseverancia y dedicación, Dios los bendiga.

Evelyn Shervin Jiménez Molina

## AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas a las que debo dar gracias por esta meta cumplida en mi vida agradecer primeramente a Dios a mis padres a mis hermanos y a las personas que supieron ayudarme y guiarme en este logro de mi meta, es poco el decir gracias, pero en el fondo de mi ser, les estaré siempre agradecida, sin las cuales no hubiese hecho realidad este sueño tan anhelado, como es la culminación de mi carrera universitaria.

Después de tantos esfuerzos, caídas, tantas cosas que he pasado durante mi formación profesional; solo Dios y las personas que me apoyaron saben el esfuerzo y sacrificio que he pasado y puesto en mis días y noches de soledad, los mismos que me dieron fuerzas para seguir adelante y seguir por el camino correcto para no desmayar.

A mis Padres: Marco y Nancey, por darme la vida, por su amor incondicional, por enseñarme principios y valores para el buen desarrollo de mi vida profesional. Además, quiero dejar mi agradecimiento, a los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que impartieron sus conocimientos, brindaron su apoyo y orientación, para poder desempeñarme en mi vida profesional, y de esta manera poder cumplir con mi meta.


Evelyn Shervin Jiménez Molina.



## RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga 16, junio de 2023



.....  
Ing. Evelyn Shervin Jiménez Molina  
CC. 0503359754

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien subscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente Trabajo de Titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga 16, junio de 2023



.....  
Ing. Evelyn Shervin Jiménez Molina  
CC. 0503359754



## AVAL DEL PRESIDENTE

Quien subscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Determinación de Caudales Máximos para Definir Áreas de Protección Ambiental en las Riberas del Río Cutuchi Latacunga”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la predefensa.

Latacunga 16, junio de 2023



Ph.D. Patricio Clavijo Cevallos  
CC. 0501444582

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN**  
**DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Título:** Determinación de Caudales Máximos para Definir Áreas de Protección Ambiental en las Riberas del Río Cutuchi Latacunga.

**Autor:** Ing. Evelyn Shervin Jiménez Molina.

**Tutor:** Mg. Renán Arturo Lara Landázuri.

**RESUMEN**

En la actualidad los cuerpos hídricos pierden el grado de importancia en su conservación por parte de la sociedad y autoridades competentes de acuerdo con la sobreexplotación, consumo y contaminación en las diferentes actividades agrícolas e industriales. Además, en las últimas décadas las actividades antropogénicas se han convertido en el principal problema de la transformación de los ecosistemas, modificándolos o destruyéndolos con el fin de desarrollar sus actividades, Por otra parte, la legislación del Ecuador obliga a mantener un caudal ecológico para preservar los ecosistemas y la biodiversidad. Sin embargo, son pocos los ríos en el país en los que se ha establecido el caudal mínimo. El objetivo de la presente investigación es determinar los caudales máximos para definir áreas de protección ambientales en las riberas del río Cutuchi. La metodología aplicada a la presente investigación se sustenta a través de un modelo cualitativo de revisión de literatura bibliográfica y artículos también se aplicó el método Gumbel que es utilizado para determinar el caudal máximo. Los resultados muestran que el coeficiente de compacidad de la microcuenca de río Cutuchi es de 1,06 con una pendiente promedio de cauce de 0,26%, una densidad de drenaje de 0,44 km. Por otro lado, el periodo de retorno investigado es de 100 años mostrando un 0.1% de que se produzca un periodo de retorno, cabe mencionar que el caudal máximo de la microcuenca es de 61.77 m<sup>3</sup>/s, por consiguiente, el caudal máximo para el punto alto es de 2,71 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de 0,38 m/s, mientras que para el punto medio el caudal es de 1,46 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de 0,36 m/s y finalmente para el punto bajo el caudal es de 0,95 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de 0,31 m/s. En conclusión, se determinó que la zona de protección hídrica de la microcuenca del río Cutuchi es de 20 m a cada lado, esta protección se analizó mediante los datos obtenidos en la estación meteorológica M004 Rumipamba y los cálculos obtenidos en la presente investigación para de esta manera conocer si puede existir una inundación a lo largo de la microcuenca de río Cutuchi.

**Palabras claves**

Antropogénicas, Biodiversidad, Caudales Máximos, Drenaje, Ecosistemas, Gumbel, Inundación, Microcuenca, Meteorología, Protección Hídrica.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Title:** Determination of Maximum Flows to Define Environmental Protection Areas on the Banks of the Cutuchi Latacunga River.

Autor: Ing. Evelyn Shervin Jiménez Molina.  
Tutor: Ph.D. Renán Arturo Lara Landázuri.

**ABSTRACT**

In nowadays, the bodies of water have lost the relevance in their conservation by society and authorities according to overexploitation, consumption and contamination in different agricultural and industrial activities. In addition, in recent decades anthropogenic activities have become the main problem of the transformation of ecosystems which have been modified or destroyed to develop their activities. On the other hand, Ecuadorian legislation requires maintaining an ecological flow in order to preserve ecosystems and biodiversity. However, in the country, there are few rivers in which the minimum flow has been established. The objective of this research is determining the maximum flows in order to define environmental protection areas on the riverbank of Cutuchi River. The methodology applied in this research is supported by a qualitative model of bibliographic literature review and articles. The Gumbel method was also applied, which is used to determine the maximum flow. The results show the compactness coefficient of the Cutuchi river micro-watershed is 1.06 with an average channel slope of 0.26%, a drainage density of 0.44 km. On the other hand, the return period investigated is 100 years, showing a 0.1% chance of a return period. It is worth mentioning that the maximum flow of the micro-watershed is 61.77m<sup>3</sup>/s therefore, the maximum flow for the high point is 2.71 m<sup>3</sup>/s with a speed of 0.38 m/s; while for the middle point the flow is 1.46 m<sup>3</sup>/s with a speed of 0.36 m/s and finally for the low point the flow rate is 0.95 m<sup>3</sup>/s with a velocity of 0.31 m/s. In conclusion, it was determined that the water protection zone of the Cutuchi river micro-basin is 20 m on each side, this protection was analyzed by using the data obtained at the M004 Rumipamba weather station and the calculation obtained in the present investigation to know if there may be a flood along the Cutuchi river micro-basin.

**Keywords**

Anthropogenic, ecosystems, biodiversity, maximum flows, Gumbel, drainage, micro-basin, water protection, meteorology, flood.

Yo **Carmen Yesenia Veintimilla Amores**, con cédula de identidad número: **0503125882** Licenciada en: **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION EN INGLES**, con número de registro de la SENESCYT: 1031-2018-2010793; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "**Determinación de Caudales Máximos para Definir Áreas de Protección Ambiental en las Riberas del Río Cutuchi Latacunga**" de Evelyn Shervin Jiménez Molina, aspirante a Magíster en Gestión Ambiental con mención en Desarrollo Sostenible.

Latacunga16, junio de 2023



Carmen Yesenia Veintimilla Amores  
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION EN INGLES  
CC. 0503125882

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Justificación.....	2
1.2 Beneficiarios del Proyecto de Investigación .....	4
1.3 Problema de Investigación .....	4
1.4 Preguntas de Investigación.....	5
1.5 Objetivos de la Investigación. ....	5
1.5.1 Objetivo General .....	5
1.5.2 Objetivos Específicos .....	5
1.6 Actividades de Sistema de Tarea.....	6
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>7</b>
<b>2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Marco Teórico .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Hidrología.....	7
2.1.2 Ciclo Hidrológico y sus Componentes .....	7
2.1.3 Subsistema Atmosférico .....	8
2.1.4 Subsistema de Agua Superficial .....	8
2.1.5 Subsistema de Agua Subterránea.....	9
2.1.6 Importancia del Ciclo Hidrológico .....	9
2.1.7 Cuenca Hidrográfica.....	9
2.1.8 División de una Cuenca Hidrográfica.....	9
2.1.9 Clasificación de una Cuenca Hidrográfica .....	10
2.1.10 Abastecimiento de una Cuenca Hidrográfica.....	10
2.1.11 Cuenca Hidrológica.....	10
2.1.12 Diferencia entre Cuenca Hidrográfica y Cuenca Hidrológica.	11
2.1.13 Caudal Ecológico.....	12

2.1.14	Caudal Ecológico y Caudal Ambiental .....	12
2.1.15	Régimen del Caudal Ecológico .....	12
2.1.16	Importancia del Caudal Ecológico .....	13
2.1.17	Biótica Acuática .....	14
2.1.18	Intervenciones en los Ecosistemas Fluviales.....	14
2.1.19	Efectos Ecológicos de las Intervenciones.....	15
2.1.20	Servicios Ecosistémicos de los Ríos.....	15
2.1.21	Gestión Ambiental.....	16
2.1.22	Características Morfométricas y Fisiográficas de la Cuenca ..	16
a)	Delimitación de una Cuenca .....	16
b)	Área de una Cuenca .....	16
c)	Parámetros de una Cuenca.....	17
d)	Factor de Forma de Horton (Kf).....	17
e)	Perímetro de la Cuenca .....	18
f)	Longitud del Río Principal (L).....	18
g)	Índice de Compacidad (Kc) .....	18
2.1.23	Estaciones Meteorológicas .....	19
2.1.24	Microcuenca Hidrográfica del Río Cutuchi .....	19
2.1.25	Factores climáticos (FC).....	20
2.1.26	Hidrología de la Microcuenca del Río Cutuchi .....	20
2.1.27	Río Cutuchi.....	20
2.1.28	Método de Gumbel.....	22
2.2	Marco Legal.....	24
2.2.1	Constitución de la República del Ecuador.....	24
2.2.2	Código Orgánico Ambiental.....	24
2.2.3	Reglamento del Código Orgánico Ambiental .....	25

2.2.4	Reglamento a la LORHUyA .....	25
<b>CAPÍTULO II</b>	.....	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>28</b>
3.1.1	Tipos de Investigación.....	28
3.1.1.1	Investigación Bibliográfica .....	28
3.1.1.2	Investigación Descriptiva .....	28
3.1.1.3	Investigación de Campo .....	28
3.1.2	Métodos .....	29
3.1.2.1	Método Inductivo-Deductivo .....	29
3.1.3	Técnicas .....	29
3.1.3.1	Técnica de Observación .....	29
3.1.3.2	Técnica Documental.....	30
3.1.3.3	Técnica de Muestreo.....	30
3.1.4	Procedimientos para cumplir con los objetivos .....	30
<b>3.2</b>	<b>Materiales.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
4.1	Resultados.....	32
4.1.1	Caracterización de la Microcuenca del Río Cutuchi .....	32
4.1.2	Precipitación .....	33
4.1.3	Temperatura.....	33
4.1.4	Evapotranspiración .....	34
4.1.5	Heliofanía.....	35
4.1.6	Humedad.....	36
4.1.7	Temperatura.....	36
4.1.8	Precipitación .....	37
4.1.9	Cobertura Vegetal .....	38

4.1.10	Estudio Hidrológico de la Microcuenca del Río Cutuchi.....	39
a)	Área.....	39
b)	Ancho de la Microcuenca (B).....	40
c)	Factor Forma (kf).....	40
d)	Coefficiente de Compacidad (kc).....	40
e)	Parámetros que Relaciona al Perfil Topográfico .....	41
f)	Pendiente Media de la Cuenca (S).....	41
g)	Pendiente Promedio del Cauce (So): .....	41
h)	Parámetros de Drenaje .....	42
4.1.11	Caudales Máximos .....	43
4.1.11.1	Método de Gumbel.....	43
4.1.12	Capacidad de Conducción de Caudales Máximos.....	45
a)	Cálculo de Caudales Máximos por el Método Racional.....	46
4.1.13	Velocidades y Áreas del Rio Cutuchi.....	47
a.	Punto Alto.....	47
b.	Punto Medio.....	52
c.	Punto Bajo.....	57
4.2	Propuesta de Implementación.....	63
4.2.1	Introducción.....	63
4.2.2	Objetivo .....	63

El principal objetivo de la propuesta es tratar de hacer un uso pleno e integrado de los recursos naturales a través de las energías renovables y las capacidades técnicas y sociales. Para ello, se utilizarán microcuencas hidrológicas como unidades de desarrollo geoeconómico y de control y restauración de áreas críticas o degradadas. Por tanto, el desarrollo de la producción agropecuaria y la protección y manejo integral de los recursos naturales renovables son necesarios para restaurar, proteger y mejorar su

capacidad productiva en beneficio de los agricultores y mejorar la calidad de vida de la población. ....	63
4.2.3 Modelo de la Propuesta .....	63
4.2.4 Alcance .....	64
El alcance geográfico de este modelo de propuestas va diseñado especialmente para la zona Urbana y Rural que se encuentra alrededor de la microcuenca del río Cutuchi en el cantón Latacunga. ....	64
4.2.5 Estrategias o Propuestas .....	64
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	66
5.2 RECOMENDACIONES .....	67
<b>6 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>71</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Beneficiarios del proyecto de investigación.	
Tabla 2 Actividades de sistema de tareas en relación a los objetivos.....	
Tabla 3 Factor Forma.....	
Tabla 4 Clases de Forma.....	
Tabla 5 Materiales usados en la investigación.....	
Tabla 6 Datos de Caudal, Media Aritmética y Desviación Estándar	
Tabla 7 Datos de Probabilidades Teóricas.....	
Tabla 8 Valores de Escorrentía.....	
Tabla 9 Modelo de Control.....	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuenca Hidrográfica.....	
Figura 2 Cuenca Hidrológica .....	
Figura 3 Influencia de la Cuenca .....	
Figura 4 Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Río Cutuchi .....	
Figura 5 Precipitación de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015.....	
Figura 6 Temperatura de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015.....	
Figura 7 Evapotranspiración de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015.....	
Figura 8 Heliofanía de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015 .....	
Figura 9 Humedad de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015 .....	
Figura 12 Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca del Río Cutuchi .....	
Figura 13 Área y Perímetro de la Microcuenca del río Cutuchi .....	
Figura 14 Perfil Topográfico de la Microcuenca del río Cutuchi .....	
Figura 15 Drenaje de la Microcuenca del Río Cutuchi.....	
Figura 16 Distribución de Gumbel.....	
Figura 17 Perfil Longitudinal de la Microcuenca del Río Cutuchi .....	
Figura 18 Cotas del Primer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca.....	
Figura 19 Velocidad del Caudal del Primer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca .....	
Figura 20 Cotas del Segundo Punto de la Parte Alta de la Microcuenca.....	
Figura 21 Velocidad del Caudal del Segundo Punto de la Parte Alta de la Microcuenca.....	
Figura 22 Cotas del Tercer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca .....	
Figura 23 Velocidad del Caudal del Tercer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca .....	
Figura 24 Velocidad y Cotas de la Parte Alta de la Microcuenca .....	
Figura 25 Cotas del Primer Punto de la Parte Media de la Microcuenca .....	

Figura 26 Velocidad del Caudal del Primer Punto de la Parte Media de la Microcuenca.....	
Figura 27 Cotas del Segundo Punto de la Parte Media de la Microcuenca .....	
Figura 28 Velocidad del Caudal del Segundo Punto de la Parte Media de la Microcuenca.....	
Figura 29 Cotas del Tercer Punto de la Parte Media de la Microcuenca.....	
Figura 30 Velocidad del Caudal del Tercer Punto de la Parte Media de la Microcuenca.....	
Figura 31 Velocidad y Cotas de la Parte Media de la Microcuenca .....	
Figura 32 Cotas del Primer Punto de la Parte Baja de la Microcuenca .....	
Figura 33 Velocidad del Caudal del Primer Punto de la Parte Baja de la Microcuenca.....	
Figura 34 Cotas del Segundo Punto de la Parte Baja de la Microcuenca .....	
Figura 35 Velocidad del Caudal del Segundo Punto de la Parte Baja de la Microcuenca.....	
Figura 36 Cotas del Tercer Punto de la Parte Baja de la Microcuenca.....	
Figura 37 Velocidad del Caudal del Tercer Punto de la Parte Media de la Microcuenca.....	
Figura 38 Velocidad y Cotas de la Parte Baja de la Microcuenca .....	

### **INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Coeficiente Gumbel.....	71
---------------------------------	----

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Coeficiente Gumbel.....	71
---------------------------------	----

## **1. INTRODUCCIÓN**

El río Cutuchi forma parte de la Subcuenca del río Patate, cuenca del río Pastaza. Esta microcuenca se ubica en la provincia de Cotopaxi, comprende los cantones de Saquisilí, Pujilí, Latacunga, Salcedo, lo cual sirve como fuente de agua para poblaciones y tierras agrícolas importantes del país. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.

En la MRC no se han realizado estudios de caudal ecológico con base a la metodología método Gumbel en la cual su función es distribuir el valor máximo aplicando el teorema del valor máximo, entonces asumiendo que hay N muestras con n eventos, se utiliza un número máximo de n eventos para cada muestra, por lo que, para la distribución de probabilidad de Gumbel, el valor de la máxima instantánea el caudal anual se utilizará para determinar el caudal de diseño para el período retorno. Es así que este método es capaz de evaluar el estado de salud del río en función de sus propios modelos y determinaciones para poder comprender la variabilidad del flujo, la importancia de la protección de la biodiversidad y el mantenimiento de los bienes y servicios que proporcionan los ríos del mismo modo el caudal ejerce un gran impacto en el hábitat acuático, la morfología del río, la vida acuática, la conectividad del río y la calidad del agua por todo esto se ha propuesto realizar este tema de investigación con la finalidad de lograr realizar una franja ecológica para su conservación del mismo.

### **1.1 Justificación**

El agua constituye un elemento imprescindible para la existencia de la vida humana, componente indispensable para el desarrollo social y económico de los pueblos y nacionalidades. Según la constitución del Ecuador en el Artículo 14 señala: “El

derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*” por ende, se declara de interés público la preservación del ambiente y conservación de los ecosistemas.

Por otra parte, las obras hidráulicas son tan abundantes en los ecosistemas fluviales que, en la actualidad, existen pocos los ríos cuyos caudales no están regulados más aun al no existir estructuras de medición y control dispuestas en las autorizaciones de uso, la gestión del agua y los recursos biológicos deben enfrentarse a la problemática que estas obras originan y en concreto cuantificar los caudales circulantes mínimos capaces de mantener los ecosistemas de los tramos de ríos regulados.

Si bien es cierto en el Ecuador, de acuerdo con el Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, uso y Aprovechamiento de Agua expedido el 13 de abril de 2015 y de conformidad con lo regulado en el Artículo 76 de la ley, el plazo máximo de un año tras la entrada en vigor del Reglamento se establecerán reglamentariamente los criterios, parámetros y metodología para la determinación del caudal ecológico de acuerdo con las condiciones y características de los cuerpos de agua, que serán considerados dentro de la planificación hídrica nacional, la cual hasta la presente fecha no existe una metodología desarrollada en función de la realidad de nuestro país, es por esta razón, el presente estudio se desarrolla con el objetivo de conocer los caudales máximos de las riberas del Río Cutuchi para definir áreas de protección ambiental y conocer la afectación debido a las diferentes actividades antropogénicas desarrolladas en el mismo.

La investigación aportará estrategias de conservación, que actualmente no se ha tomado en cuenta y permitirá generar áreas de protección hídrica/ambiental. De igual manera, permitirá guiar nuevos estudios que busquen determinar, analizar y evaluar los caudales ecológicos lo cual ayudara a efectuar técnicas y métodos que impulsen a adoptar medidas ambientales para regular el impacto hídrico que provocan las distintas actividades antropogénicas.

## 1.2 Beneficiarios del Proyecto de Investigación

**Tabla 1**

*Beneficiarios del proyecto de investigación.*

<b>Beneficios Directos Latacunga</b>		<b>Beneficios Indirectos</b>
Hombres	47,143	Hombres
Mujeres	51,212	Mujeres
<b>Total</b>	<b>98,355</b>	

*Nota:* La presente tabla muestra las cantidades de los beneficiarios los cuales se dividen en directos e indirectos, se clasifica en hombres y mujeres. **Fuente** (INEC, 2010)

## 1.3 Problema de Investigación

El agua es el elemento esencial para la vida y todos somos conscientes que esta es necesaria para el consumo de todos los seres vivos, de igual manera es requerida en los procesos de elaboración de muchos productos industriales, medio de transporte y es esencial para asegurar la integridad y sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra (Oyola, 2017).

Según Navarro (2016) menciona que, a pesar de que el agua es un recurso imprescindible para el mantenimiento de la vida, los recursos hídricos han sufrido un proceso de degradación y sobreexplotación, que ha provocado entre otros problemas, la reducción del caudal necesario para mantener la biodiversidad y los servicios que obtienen las comunidades de éstos.

Es decir, en las últimas décadas la creciente demanda social de un medio ambiente más limpio ha impuesto en la planificación de los recursos hídricos la consideración de que circule en los cauces, al menos, el caudal ecológico necesario para mantener la vida no solo en el cauce sino también las condiciones ecológicamente sanas en las riberas que permitan el desarrollo de las especies de fauna y flora que en las cuencas o microcuencas hidrográficas se desenvuelven.

De acuerdo con el análisis del marco legal existente en el Ecuador; Constitución, Leyes y Reglamentos existentes, se debe determinar el caudal ecológico. Sin embargo, no existe información sobre la determinación de un método adecuado para el cálculo del caudal ecológico en el río Cutuchi. Las concesiones que

actualmente entrega el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica se lo hacen considerando solamente el 10 % del caudal existente. Sin considerar un periodo de estudio, ni metodología que se encuentre adaptada para el río de alta montaña como es el caso del río Cutuchi. La falta de estudios sobre la cantidad y la distribución intra e interanual de caudal en los ríos del Ecuador no permite una adecuada gestión del recurso hídrico.

#### **1.4 Preguntas de Investigación**

¿Cuáles son los caudales máximos que se presentó en la investigación?

¿Las actividades antrópicas que generan efluentes al río Cutuchi influyen en los caudales máximos para identificar las áreas de protección?

#### **1.5 Objetivos de la Investigación.**

##### **1.5.1 Objetivo General**

- Determinación de caudales máximos para definir áreas de protección ambiental en las riberas del río Cutuchi, Latacunga 2022.

##### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el estudio Hidrológico del Rio Cutuchi.
- Determinar la capacidad de conducción para caudales máximos de crecida.
- Definir estrategias para la propuesta implementación de un área de protección de las riberas del rio Cutuchi.



## 1.6 Actividades de Sistema de Tarea

**Tabla 2**

*Actividades de sistema de tareas en relación a los objetivos.*

Objetivos	Actividades	Medios de Verificación	Resultados
Realizar el estudio Hidrológico del Rio Cutuchi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de la cuenca hidrográfica</li> <li>Estaciones meteorológicas e hidrológicas en la cuenca hidrográfica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relaciones de diferentes parámetros con la cota, área, etc.</li> <li>Determinación de caudales máximos</li> </ul>	Línea Base del Rio
Determinar la capacidad de conducción para caudales máximos de crecida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Topografía con cortes laterales de 5 sitios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos topográficos</li> </ul>	Capacidad de conducción de rio
Definir estrategias para implementación de un área de protección de las riberas del rio Cutuchi.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación de la lámina de crecida según la topografía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos</li> </ul>	Propuesta de implementación del área de protección

*Nota: Las actividades de os objetivos de tarea determinan la metodología y los medios de verificación del proyecto de investigación.*

# **CAPÍTULO I.**

## **2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA**

### **2.1 Marco Teórico**

#### **2.1.1 Hidrología**

Según Muñoz & González (2015) menciona que hidrología es una palabra de origen griego compuesta por dos partes: “Hidros” que significa agua y “logos” que se traduce por tratado o ciencia, por lo anterior expuesto:

“La hidrología es la ciencia que estudia las aguas de la Tierra, su aparición, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su impacto en el medio ambiente, incluida su relación con los seres vivos. El campo de la hidrología abarca toda la historia de la presencia del agua en la tierra”.

#### **2.1.2 Ciclo Hidrológico y sus Componentes**

El ciclo hidrológico es el nombre que se le da a la serie de cambios que sufre el agua en sus propiedades, incluyendo los estados sólidos, líquidos y gaseosos, así como formas como agua superficial y agua subterránea. El ciclo hidrológico es completamente irregular, y son precisamente estas irregularidades con las que luchan los humanos. Como todo ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto (Chow et al., 1988)

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (1974), el ciclo hidrológico se puede definir como: “La serie de etapas por las que el agua pasa de la atmósfera a la Tierra y de regreso a ella: evaporación del agua del suelo, océanos o continentes, condensación de nubes, precipitación, acumulación de agua en el suelo o mucha agua y re-evaporación”. El ciclo hidrológico involucra procesos de

transporte de recirculación indefinidos o permanentes. Este movimiento perpetuo del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol, que aporta la energía que hace subir el agua (evaporación), y la segunda, la gravedad de la Tierra, que provoca la caída del agua condensada (precipitación y escorrentía).

Por lo tanto, al considerar el ciclo hidrológico se denomina global debido a que este sistema se puede subdividir en tres: el subsistema atmosférico, el subsistema de aguas superficiales y el subsistema de aguas subterráneas

En cada subsistema, existirá la capacidad de retener volúmenes de agua en cualquier etapa durante intervalos de tiempo específicos. La capacidad de retención de un medio también se conoce como almacenamiento, y el tiempo que se retiene el volumen se conoce como tiempo de permanencia.

### **2.1.3 Subsistema Atmosférico**

Este subsistema se impulsado por la evaporación (un fenómeno causado por la acción de la energía del sol y la atmósfera superior), la masa de vapor de agua que ingresa a la atmósfera desde la superficie, la superficie del mar y/o el terreno. En el segundo caso, si existe cobertura vegetal, se produce un efecto compuesto denominado evapotranspiración. (Pérez & Ramírez, 2018)

De igual manera, el vapor de agua puede trasladarse a otras áreas geográficas a través de procesos de circulación atmosférica, y cuando se dan las condiciones adecuadas, el vapor de agua cambia de fase y abandona los subsistemas atmosféricos, es decir, se convierte en nieve, hielo o rocío.

### **2.1.4 Subsistema de Agua Superficial**

La precipitación en forma de nieve y lluvia se considera como un aporte a este subsistema. A medida que se elimina el agua obstruida, el volumen restante comienza a acumularse por gravedad y se mueve como un líquido, creando una corriente superficial. Suele llegar al mar a través de los sistemas de drenaje locales, mientras que otra parte se filtra a los subsistemas subterráneos (IDEAM, 2017)

### **2.1.5 Subsistema de Agua Subterránea**

Este subsistema es básicamente por infiltración. Una parte del volumen que penetra bajo tierra penetra más profundamente para llegar al depósito subterráneo. Cuando el agua filtrada circula periódicamente horizontalmente en capas cercanas a la superficie, el proceso se denomina: escurrimiento su superficial. Esta escorrentía se caracteriza por un ritmo más lento que la escorrentía superficial.

### **2.1.6 Importancia del Ciclo Hidrológico**

Legarda & Viveros (1996) mencionan que es importante estudiar el agua y la influencia que nosotros podemos tener en ella desde la precipitación sobre la tierra hasta el regreso de ésta, bien sea a la atmósfera o a los océanos. El ciclo hidrológico destaca las cinco fases básicas que nos interesan: precipitación, evaporación y transpiración, escorrentía superficial, interceptación y agua subterránea.

### **2.1.7 Cuenca Hidrográfica**

Según indica Ordoñez (2013), las cuencas hidrológicas son espacios geográficos que reciben agua de lluvia, precipitación y agua de deshielo, así como flujos naturales hacia ríos, lagos, lagunas u océanos

“Las cuencas hidrológicas están delimitadas por líneas de crestas, también conocidas como líneas divisorias de aguas. El aprovechamiento de los recursos naturales se gestiona delimitando el territorio por cuencas hidrológicas, y en el futuro las cuencas se convertirán en la parte más funcional que conecta los territorios con la sociedad real a través del agua” (Cordero, 2013, pág. 19).

### **2.1.8 División de una Cuenca Hidrográfica**

De acuerdo con Ordoñez (2011) señala que las cuencas hidrológicas se dividen en segmentos, lo que permite el análisis individual de cada segmento, caracterizando el impacto natural o antrópico que genera toda la cuenca hidrológica; dividida de la siguiente manera:

- **Cuenca alta:** corresponde a la parte superior de las áreas montañosas limitadas en su parte superior por las líneas divisorias de aguas.

- **Cuenca media**, que comprende las zonas de pie de monte y valles bajos, donde el río principal mantiene un cauce definido.
- **Cuenca baja o zonas transicionales** (como los estuarios o humedales), donde el flujo de agua desvía o desaparece.

### 2.1.9 Clasificación de una Cuenca Hidrográfica

- **Por su tamaño geográfico:** esto hace referencia a su extensión y el volumen de caudal que puede tener la cuenca.
- **Por su ecosistema:** esto es de acuerdo con su localización, en esta división se encuentran: tropicales, áridas y frías.
- **Por su objetivo:** Se refiere a la capacidad natural del recurso, que, dependiendo de sus características, es utilizada para: hidroeléctricas, actividades agrícolas, ganaderas y consumo humano.

### 2.1.10 Abastecimiento de una Cuenca Hidrográfica

Para la formación y mantenimiento de una cuenca hidrográfica esta requiere de:

- **Subcuenta.** - Es la unión de microcuencas, la misma que proporciona a la cuenca un caudal permanente y fluctuante.
- **Microcuenca.** - Es la que abastece por medio de cauce a una subcuenta; estas a su vez son pequeñas unidades originadas por las quebradas o riachuelos.
- **Quebrada.** - También se le llama arroyo porque el caudal es mucho menor que el de la subcuenta. Su función es suministrar agua a las microcuencas mediante el drenaje natural (Ordoñez, 2011).

### 2.1.11 Cuenca Hidrológica

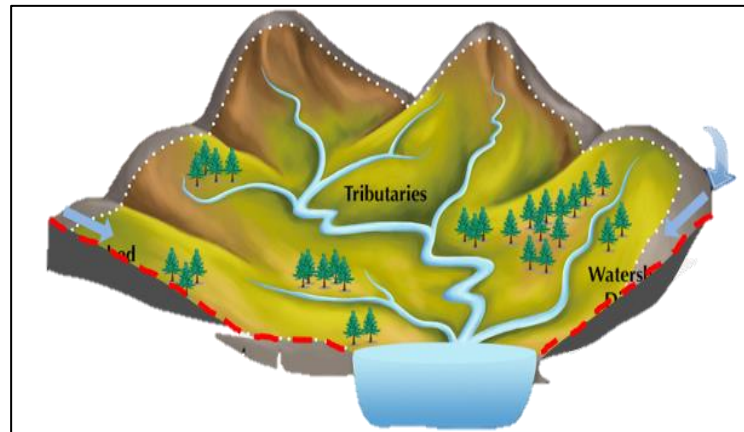
Una cuenca hidrológica es un área en la superficie de la tierra donde todas las gotas de precipitación caen hacia un solo punto de origen, generalmente el nivel o elevación más bajo de la cuenca.

### 2.1.12 Diferencia entre Cuenca Hidrográfica y Cuenca Hidrológica

Una cuenca hidrográfica es la delimitación de una cuenca de drenaje, es decir, las cotas superiores de una depresión geográfica; el cual consiste únicamente por el escurrimiento superficial que drenan en un cuerpo de agua.

**Figura 1**

*Cuenca Hidrográfica*

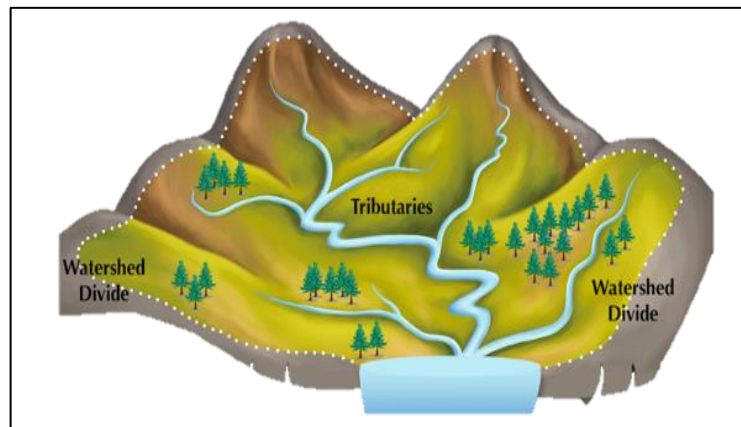


**Fuente:** (Ordoñez, 2011)

Mientras que la cuenca hidrológica abarca la cuenca hidrográfica incluyendo toda la estructura hidrogeológica, es decir está definida tanto en la superficie como en el subsuelo, dependerá de la profundidad a la que existan capas impermeables (Cotler et al., 2013).

**Figura 2**

*Cuenca Hidrológica*



**Fuente:** (Ordoñez, 2011)

### **2.1.13 Caudal Ecológico**

Para Copalita Zimatán & Ybarra (2010) consideran que el caudal ecológico es una herramienta de gestión que permite la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos mediante la determinación de la calidad, cantidad y patrones de caudal deseados del agua. Los procesos y resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proveen bienes y servicios a la sociedad.

Es por ello que Poff & Zimmerman (2010) menciona que el agua es un recurso importante y que los ríos seguirán siendo utilizados por los humanos. Sin embargo, los administradores del agua son cada vez más conscientes de que se necesita una nueva perspectiva ecológica para guiar la gestión del agua de manera que apoye la biodiversidad y la integridad del ecosistema.

### **2.1.14 Caudal Ecológico y Caudal Ambiental**

Con base a ciertos estudios Kendy et al. (2012) indica que los Caudales Ecológicos y Ambientales son herramientas de gestión de cuencas hidrográficas que se pueden utilizar en la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH). En general, el uso de esta herramienta se refiere al uso de los recursos hídricos para el beneficio humano. Por lo tanto, el objetivo es determinar cuánta agua se puede extraer del río sin exceder el límite para afectar gravemente el ecosistema acuático. Sin embargo, algunos autores argumentan que los estudios de caudal ecológico y/o ambiental deben realizarse en cualquier fuente de agua, no necesariamente en transición (King & Brown, 2003).

### **2.1.15 Régimen del Caudal Ecológico**

Según Izquierdo & Madroñero (2013) señala que el régimen del caudal ecológico se define como el conjunto de “un conjunto de cambios en el estado y propiedades de un cuerpo de agua que se repite regularmente en el tiempo y el espacio y muestra patrones estacionales o de otro tipo.”

En otras palabras, el Régimen Hidrológico está relacionado con las fluctuaciones entre el caudal máximo y mínimo (regulares e irregulares) que ocurren durante un período de tiempo.

Además, depende de factores como el clima, la geología, la hidrología, la longitud y el tamaño, la red de drenaje, el suelo, la topografía y la vegetación. Cambiar cualquiera de estos parámetros puede afectar la infiltración, el nivel freático y el flujo. Esto modifica la variación temporal del caudal según Martínez & Fernández (2018). Desde una perspectiva ecológica, el régimen hidrológico condiciona la biodiversidad.

Las corrientes altas y bajas son importantes en la formación de los diferentes hábitats, refugios, criaderos y áreas de descanso requeridas para las diferentes especies de peces y biomas subyacentes. Estos también son consistentes con las buenas condiciones de las riberas, ya que permiten que el crecimiento de la vegetación de ribera se adapte a los cambios extremos, gracias a que tiene un ciclo de vida rápido y es susceptible a la erosión. Las inundaciones movilizan las semillas y el flujo bajo permite que las semillas crezcan. El bosque de galería cumple así la función de protección contra inundaciones (Castro et al., 2006)

Por tanto, como señalan Izquierdo y Madroñero (2014), el estado hidrológico es uno de los factores más importantes a la hora de evaluar el estado de protección e integridad de un río. Por esta razón, es necesario dejar correr una fuente hídrica después de un aprovechamiento hidráulico y durante el acondicionamiento natural para preservar las funciones ecológicas y dinámicas de otras comunidades acuáticas.

#### **2.1.16 Importancia del Caudal Ecológico**

Los caudales ecológicos están relacionados con la protección, adecuación o restauración de los servicios ambientales que brindan las funciones ecológicas y los sistemas naturales (calidad del agua, mitigación de inundaciones y sequías, protección y preservación de la diversidad biológica, estética, circulación de elementos químicos naturales, etc.). Estos flujos ecológicos pueden variar según el uso de la práctica, ya que están más limitados en actividades que involucran usos intensivos de recursos, como el riego, la agricultura y el uso de agua potable, mientras que la energía hidroeléctrica tendrá impactos en diferentes partes del agua de la corriente de manera estricta para devolver el recurso al sistema más adelante (Eguía et al., 2007).



### 2.1.17 Biótica Acuática

Los ecosistemas fluviales están constituidos por complejas redes tróficas, cuyos cimientos están formados por organismos fotosintéticos a nivel de productor primario, como las algas, Gómez et al. (2009). Estos organismos de agua dulce son diversos y tienen la característica de eucariotas o procariotas, microscópicos o macroscópicos, unicelulares o filamentosos, otros se agregan para formar colonias visibles.

### 2.1.18 Intervenciones en los Ecosistemas Fluviales

Sin embargo, según Carrera (2016) esto tiene importantes consecuencias, mostrando que, como resultado de estas intervenciones, ríos importantes ya no llegan a sus estuarios naturales, pierden conexión con la planicie de inundación, se fragmentan y reducen los caudales; incluso los ríos pequeños y medianos se secan total o parcialmente.

Según Carrera Burneo (2016) señala que las principales intervenciones que se dan en los cauces hídricos están relacionadas a cambios en los siguientes aspectos (pág. 33).

- a) **El régimen de caudales:** aumento del caudal por trasvases, sustracción de una cantidad constante de agua, barreras para un almacenamiento de agua en zonas inundables, represamiento del agua en embalses o tanques, entre otros.
- b) **El cauce:** aislar las riberas de los ríos mediante estructuras artificiales, ajustar la curvatura normal de los ríos, construir embalses, drenar humedales, ocupar llanuras de inundación y riberas con infraestructura, etc.
- c) **La calidad del agua:** cambios de uso de suelo agrícola y ganadero de la cuenca, deforestación, disposición de residuos sólidos y líquidos, extracción de materiales de construcción, minería, pavimentación, urbanización, entre otros.
- d) **La biodiversidad acuática:** alto tráfico en la navegación, cambio climático, construcción de barreras que producen des conectividad y aislamiento, contaminación orgánica.

### **2.1.19 Efectos Ecológicos de las Intervenciones**

Los comportamientos que captan y regulan el caudal tienen diferentes impactos ecológicos, dependiendo de las características del río y su ubicación geográfica, ya que dependen del tipo y alcance del cambio en los constituyentes de los ecosistemas fluviales y el grado de resistencia a tal cambio. Según Diez Hernández & Burbano, (2018) argumentan que los efectos de la regulación de caudales pueden tener graves consecuencias a nivel de ecosistema. Esto afecta la biodiversidad y la abundancia de peces nativos e invertebrados acuáticos e incluso puede conducir a la muerte masiva de peces e invertebrados acuáticos.

### **2.1.20 Servicios Ecosistémicos de los Ríos**

De acuerdo con Tovilla (2016) señala que los servicios ecosistémicos son beneficios que las personas reciben de la naturaleza. La calidad de los beneficios está indisolublemente ligada a las condiciones ambientales de los ecosistemas. En otras palabras, un ecosistema con buena calidad ambiental puede brindar a los ciudadanos mejores productos y servicios (pág. 2).

Además, los servicios proporcionados por todos los ecosistemas naturales, incluidos los ecosistemas acuáticos, tienen valor no solo ecológico sino también socioeconómico. Los servicios ecosistémicos se pueden dividir en cuatro categorías: provisión, regulación, conservación y socioculturales. Por lo tanto, los servicios que brindan el flujo de agua de baja interferencia son:

- Provisión de agua dulce para uso humano
- Abastecimiento de acuíferos
- Control de inundaciones y sequías
- Creación de hábitats para peces, aves y otra vida silvestre
- Fertilización de suelos durante épocas de inundación
- Mantenimiento de los microclimas locales
- Mantenimiento de los flujos de sedimento y ciclo de nutrientes
- Producción de sedimentos y control de la salinidad de estuarios
- Producción de alimentos (ej. pesquerías)
- Purificación de las aguas

- Recreación y turismo
- Sostenimiento de la biodiversidad acuática y terrestre

### **2.1.21 Gestión Ambiental**

La gestión ambiental “es el proceso de elaboración de normas y acciones para mantener y proteger el medio ambiente; sin embargo, la gobernanza ambiental va más allá de una estricta postura regulatoria. La gestión de los recursos hídricos se basa en la oferta y demanda de recursos.

La gestión de cuencas hidrográficas es vista como una forma de proteger los recursos hídricos y brindar soluciones efectivas a muchos problemas relacionados con la tierra y la vegetación, manteniendo así la calidad del agua, regulando los regímenes hídricos y mejorando el suministro de agua. La necesidad de mantener, proteger y conservar el medio ambiente en general es una de las razones más importantes para considerar las cuencas hidrográficas como dominios de gestión en la actualidad (Stella et al., 2018).

### **2.1.22 Características Morfométricas y Fisiográficas de la Cuenca**

Para caracterizar una cuenca hidrológica se deben cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y área, con el fin de establecer la capacidad y límites de los recursos naturales e identificar los problemas que se presentan.

La caracterización de la cuenca comienza con la descripción del territorio, su forma, tamaño o superficie, la pendiente y pendiente media de los cauces principales, la red de drenaje, etc. Algunos de estos "parámetros topográficos" son la base para la evaluación de la vulnerabilidad y la consideración del riesgo de desastres (Valdiviezo et al., 2010).

#### **a) Delimitación de una Cuenca**

La delimitación de una cuenca se puede hacer a partir de la red de drenaje partiendo del cauce principal es decir todas las corrientes.

#### **b) Área de una Cuenca**

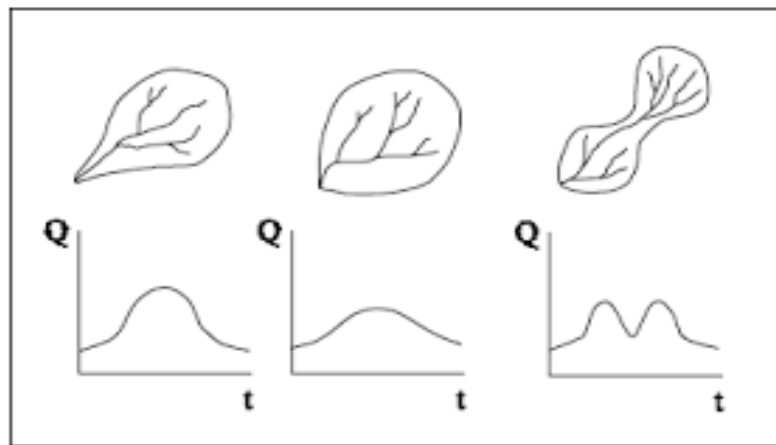
Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

### c) Parámetros de una Cuenca

Es la configuración geométrica de la cuenca tal como está proyectada sobre el plano horizontal. La forma incide en el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir, al tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje, y, por consiguiente, a la forma del hidrograma para una determinada cantidad de precipitación (Valdiviezo et al., 2010).

**Figura 3**

*Influencia de la Cuenca*



*Fuente: <http://webdelprofesor.ula.ve>*

Para determinar la forma de una cuenca se utilizan varios índices asociados a la relación área perímetro.



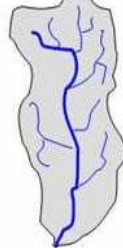
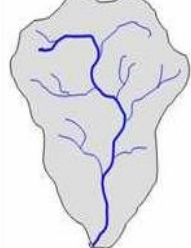
### d) Factor de Forma de Horton (Kf)

Horton, ha sugerido un factor adimensional de forma designado como “Rf” que puede deducirse a partir de la siguiente ecuación.

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

**Tabla 3**

**Factor Forma**

Factor de forma (Ff)	0 - 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1
	Estrecha	Alargada	Amplia	Ancha
$Ff = \left( \frac{A}{Lc^2} \right)$ <p>Ff= Factor de forma de Horton                      A= Área de la cuenca (m<sup>2</sup>)                      Lc= Longitud del cauce principal (m)</p>				
Producción sostenida de caudales	bajo	moderado	alto	Muy alto
Potencial a crecientes	bajo	moderado	alto	Muy alto

*Nota: El factor de forma es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.*

**e) Perímetro de la Cuenca**

Según Barrera (2012) menciona que 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. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la letra mayúscula “P”

**f) Longitud del Río Principal (L)**

Es la longitud del río principal de la cuenca, donde van a drenar todos los afluentes y quebradas. Representada con la letra “L”

**g) Índice de Compacidad (Kc)**

Para Díaz (2015) se denomina coeficiente de compacidad o de Graveliús, también definida como la relación entre el perímetro de la cuenca “P” y el perímetro de un círculo de área “A” de la cuenca hidrográfica, es decir, equivalente.

$$kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

**Donde:**

Kc = Índice de compacidad.

P = Perímetro de la cuenca en km.

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

**Tabla 4**

*Clases de Forma*

<b>Clases de forma</b>	<b>Rangos de clase</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
<b>Clase Kc -1</b>	1,0 – 1,25	Tendencia a ser redonda a oval – redonda
<b>Clase Kc -2</b>	1,25 – 1,50	Tendencia a ser Oval – redonda a oval – oblonga
<b>Clase Kc -3</b>	1,50 – 1,75	Tendencia a ser Oval – oblonga a rectangular – oblongo

### **2.1.23 Estaciones Meteorológicas**

Para Fantassi et al. (2020) una estación meteorológica es un lugar donde se realizan mediciones y observaciones específicas de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos apropiados para determinar el comportamiento atmosférico.

### **2.1.24 Microcuenca Hidrográfica del Río Cutuchi**

Según Coello & Crespo (2020) mencionan que la cuenca del río Cutuchi es más que un área de drenaje alrededor de la comunidad. Además, debemos proporcionar hábitats para las plantas y los animales, al igual que proporcionamos agua limpia para las personas, los cultivos, el ganado y la industria. La protección de los recursos naturales de nuestra cuenca es fundamental para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos.

De acuerdo con Velastegui & Quishpe (2018), la microcuenca del río Cutuchi tiene una superficie de 174,4 km<sup>2</sup> y la mayor parte de su extensión se ubica en la parroquia Mulaló de la provincia Cotopaxi, al noreste de la parroquia Machachi y por el oeste una pequeña parte en la parroquia de San Juan de Pastocalle, gracias a su ubicación, extraen agua de las nacientes de la microcuenca del río Cutuchi y son fundamentales para la protección de estas fuentes.

### **2.1.25 Factores climáticos (FC)**

La precipitación anual en la cuenca del río Cutuchi es de 753,9 mm, la temperatura es de 12,39 °C y la evaporación es de 951,13 mm por año, con un promedio de 10 años (2005-2014). Poder determinar que una cuenca se considera con escasez de agua si presenta una mayor evapotranspiración (salida) que precipitación (Tubon, 2019).

### **2.1.26 Hidrología de la Microcuenca del Río Cutuchi**

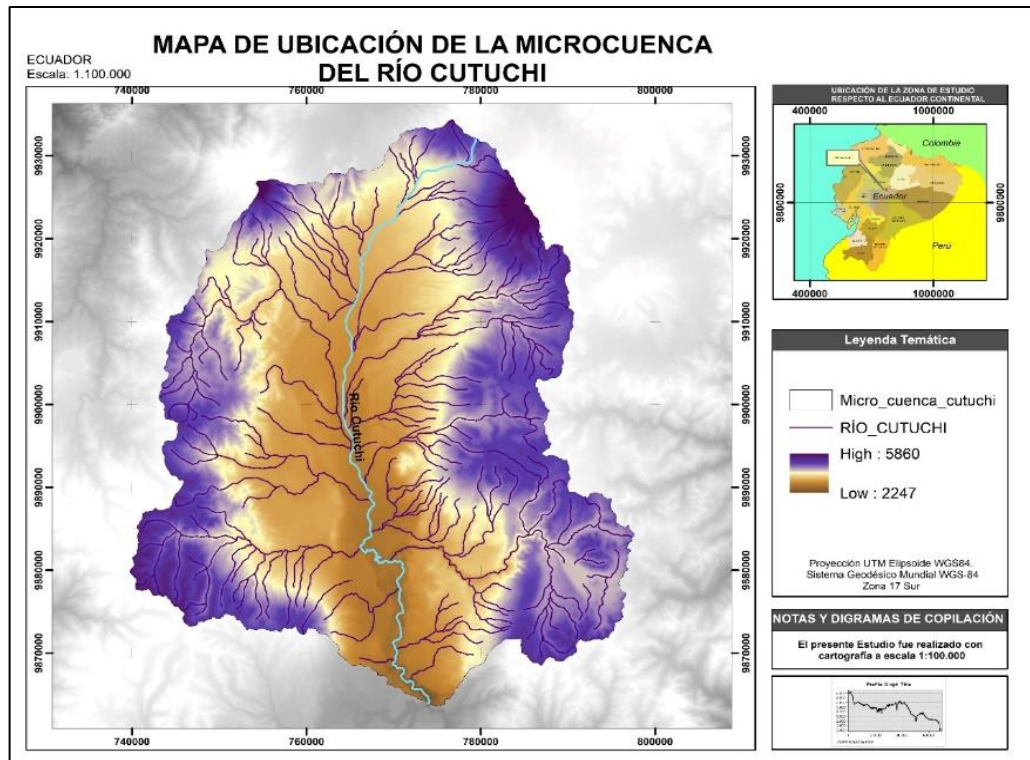
La hidrología es la ciencia que estudia los procesos que intervienen en el ciclo hidrológico global y la parte continental de este ciclo, es decir, la ciencia de la tierra que describe y predice los cambios espaciales del agua en el suelo, las fases oceánicas y la atmósfera global. El agua está por encima y por debajo de la superficie de la tierra El movimiento de un objeto, incluidos los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren a lo largo de su trayectoria. La confusión surge cuando se utilizan cuencas, subcuencas o microcuencas (Tubon, 2019, p. 23)

### **2.1.27 Río Cutuchi**

El Río Cutuchi, está ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, sus aguas provienen de los páramos del Cotopaxi, su recorrido es de norte a sur, por las ciudades, centros industriales y poblados de Latacunga, de donde se vierten todas las aguas servidas al río sin tratamiento previo continúa por los cantones de Salcedo y Ambato, hasta desembocar en el río Ambato; es decir, sus aguas riegan ambas provincias. “El área afectada es la superficie de la cuenca del Cutuchi hasta su confluencia con el río Ambato y tiene una superficie de 2.676,5 kilómetros cuadrados. Produce aproximadamente 1.000 millones de metros cúbicos por año.”

**Figura 4**

*Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Río Cutuchi*



El agua del río se encuentra contaminada, y no es un río más, sino cada vez más importante porque cubre los regadíos de dos provincias, y sus productos son los que están en la mesa de las familias ecuatorianas del centro del país.

El líquido que proviene del río Cutuchi desde hace más de cinco años el agua no se puede utilizar para riego ni para la ganadería. La contaminación de los ríos es grave. “El agua ya no sirve, las plantas mueren y los animales se enferman, se mezcla con líquidos muy contaminados de industrias, floristerías, lubricantes, Familia Sancela Ecuador (antes Tecnopapel), y todo se va al río” (Gutiérrez, 2010).

Según Ortiz & Mena (2005), señalan que esta cuenca hidrológica representa una escasez de recursos hídricos, lo que se ve agravado por la disponibilidad de agua contaminada, lo que limita su uso. Las fuentes de agua se utilizan como rellenos sanitarios para eliminar los desechos líquidos y sólidos de las áreas urbanas, los procesos industriales y agrícolas, independientemente de la capacidad de autolimpieza de la corriente.



Cabe resaltar, que la mayor fuente de contaminación del Río Cutuchi son las aguas residuales de la red de alcantarillado y constituye el 80% de la contaminación, mientras que las aguas residuales de la zona industrial representan el 20%.

De igual manera, el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE), en colaboración con varios GAD Municipales ubicados en la región de la subcuenca Cutuchi, está fortaleciendo los sistemas de control de la ciudad, uso de suelo y permisos de construcción, entre otros. Evitar la construcción de obras de ingeniería civil en la ribera del río y garantizar que todas las actividades productivas cuenten con un proceso de tratamiento de aguas residuales (Ministerio del Ambiente, 2022).

De conformidad con Tarco & Veintimilla (2010) menciona que, sus aguas son utilizadas para diversas actividades relacionadas con la agricultura, la vida animal y para facilitar el asentamiento de la población que vive en la actualidad a las orillas del río. En los últimos años, las aguas del río Cutuchi se han ido deteriorando cada vez más, particularmente en los alrededores de la ciudad debido a la contaminación. Esta área de agua es visible a simple vista debido al deterioro del flujo de agua y el nivel de deterioro, lo que conduce a un color extraño y un olor desagradable.

El flujo y la precipitación en la cuenca superior del río Patate muestran una descarga anual promedio de 9,64 m<sup>3</sup>/s para el río Cutuchi, con dos regímenes hidrológicos (alto y bajo) que responden a la distribución de la cantidad de lluvia. La comparación de medios mediante la prueba del 5 % de Tukey determinó que los métodos de referencia adoptados por Tennant eran adecuados para la supervivencia de la vida acuática en el río. Del mismo modo, la descarga nominal es superior a la descarga mínima. El análisis de tendencias utilizando la prueba estadística de Mann-Kendall mostró que las descargas anuales y estacionales mostraron cambios o tendencias significativas ( $p < 0,01$ ). Sin embargo, la precipitación no cambió durante los 20 años ( $P < 0.05 =$ ) (Yupa et al., 2020).

#### **2.1.28 Método de Gumbel**

Su función es distribuir el valor máximo aplicando el teorema del valor máximo, entonces asumiendo que hay N muestras con n eventos, se utiliza el número máximo de n eventos para cada muestra, por lo que para la distribución de probabilidad de

Gumbel, los valores del caudal máximo instantáneo anual se utilizará para determinar el caudal de diseño para un periodo de retorno (León , 2021).

Por lo que se utiliza la siguiente metodología:

$$P_{(X \leq X_i)} = e^{-e^{-y_i}}$$

**Donde:**

$(X \leq X_i)$  = Probabilidad de que un valor extremo sea menor a un cierto valor  $x_i$ .

$e$  = Base de los logaritmos neperianos.

$y_i$  = Variable reducida o coeficiente de ayuda, tal que:

$$y_i = \alpha (x_i - x_f)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma_i}$$

$$x_f = \bar{x} - \sigma_i \frac{y_n}{\sigma_n}$$

**Donde:**

$\bar{x}$  = Media aritmética.

$\sigma$  = Desviación estándar.

$x$  = Datos de la serie de caudales.

$y_n, \sigma_n$  = Coeficientes de Gumbel.

Para determinar el caudal de diseño se utilizará las fórmulas generales de Ven Te Chow utilizadas para el cálculo de frecuencia, descritas a continuación:

$$Q_t = \bar{x} + \sigma * k$$

$$k = \frac{(y_i - \bar{y}_n)}{\sigma_n}$$

Reemplazando {2} en {1}:

$$Q_t = \bar{x} + \frac{\sigma}{\sigma_n} (y_i - \bar{y}_n)$$

**Donde:**

$(T)$  = Caudal para un determinado periodo de retorno.

$y_i$  = Coeficiente de ayuda para cada valor de la serie de caudales.

$\bar{x}$  = Media aritmética.

$\sigma$  = Desviación estándar.

$y_n, \sigma_n$  = Coeficientes de Gumbel.

## **2.2 Marco Legal**

### **2.2.1 Constitución de la República del Ecuador**

Se fundamentó principalmente en la Constitución de la República del Ecuador del Registro Oficial No 449, publicada el lunes 20 de octubre de 2008. Donde, en el Título II, hace referencia a los derechos, capítulo segundo de los derechos del Buen Vivir, sección segunda del Ambiente Sano, Artículo 12, 14 y 411.

**Art.12.-** El estado dice que el derecho humano al agua es un elemento fundamental e irrenunciable. El agua constituye el patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescindible, inembargable y muy esencial para la vida.

**Art.14.-** El estado reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

**Art. 411.-** El estado garantiza en este artículo la protección, conservación, recuperación y manejo integral de todos los recursos hídricos. Además, el estado regulará todas aquellas actividades que puedan dañar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de todos los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

### **2.2.2 Código Orgánico Ambiental**

El Código Orgánico del Ambiente (2017), menciona en los siguientes artículos:

**Art.191.-** Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

**Art.209.-** La Autoridad Ambiental Nacional expedirá mediante este artículo las normas técnicas y los procedimientos que regularán el muestreo y los métodos de análisis para la caracterización de descargas, emisiones y vertidos. Los respectivos análisis se realizarán en laboratorios públicos o privados de las universidades de educación superior acreditados por la entidad nacional de acreditación.

### **2.2.3 Reglamento del Código Orgánico Ambiental**

El Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019) afirma:

**Art.482.-** El sistema de control ambiental permanente, está constituido por varias herramientas de gestión que permiten realizar seguimiento y control sistemático y permanente, continuo o periódico del cumplimiento de los requisitos legales y normativos, así como de las autorizaciones ambientales.

### **2.2.4 Reglamento a la LORHUyA**

Según el Reglamento Ley Recurso Hídricos Usos y Aprovechamientos del Agua, (2015) menciona los siguientes artículos:

**Art. 4.-** Organización central de la Secretaría del Agua. - La Secretaría del Agua estará encabezada por un secretario (a) y su organización central se fundamenta en las unidades técnicas y administrativas de dirección por áreas según lo determine su Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos, el cual recoge a los demás órganos de la secretaria y sus ámbitos de su competencia.

**Art. 8.-** Naturaleza y atribuciones generales. - La Agencia de Regulación y Control del Agua ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua.

**Art. 34.-** Principios Generales. - La planificación hídrica se orientará a la satisfacción de las demandas de agua y a la protección del recurso y de los ecosistemas en los que ésta se encuentra. Igualmente servirá para el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio y los recursos naturales.

**Art. 58.-** Riberas. - Las riberas son las fajas naturales de los álveos o cauces naturales situadas por encima del nivel de aguas bajas. Las riberas forman parte del dominio hídrico público. Se denominan márgenes a los terrenos que lindan con los cauces. La Autoridad de Demarcación Hidrográfica o el responsable Técnico del Centro de Atención al Ciudadano correspondiente, mediante un procedimiento

administrativo fijará la extensión de los márgenes de las riberas, contando con la correspondiente documentación técnica y en el que se dará audiencia por quince días plazo a los titulares de los terrenos que puedan resultar afectados para que puedan presentar alegaciones.

**Art. 64.-** Zonas de Protección Hídrica: Extensión y Modificación. - La zona de protección hídrica tendrá una extensión de 100 metros de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce o de la máxima extensión ordinaria de la lámina de agua en los embalses superficiales, pudiéndose variar por razones topográficas, hidrográficas u otras que determine la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional. La extensión indicada podrá modificarse en las siguientes circunstancias:

- a) En las zonas próximas a la desembocadura de los cursos de agua en el mar;
- b) En el entorno inmediato de los embalses; y,
- i) Cuando las condiciones topográficas o hidrográficas de los cauces y márgenes lo hagan necesario para la seguridad de personas y bienes.

**Art. 65.-** Zonas de Protección Hídrica: Régimen Jurídico. - En las zonas de protección hídrica quedarán sometidas a lo dispuesto en este artículo:

- a) Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno;
- b) Las extracciones de áridos;
- c) Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional;
- y,
- d) Cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado del dominio hídrico público o de los ecosistemas asociados.

La ejecución de cualquier obra o trabajo de los indicados exigirá autorización previa de la Autoridad de Demarcación Hidrográfica o el responsable Técnico del Centro de Atención al Ciudadano correspondiente, a solicitud del interesado, sin perjuicio de cuantas otras autorizaciones sean precisas obtener según el ordenamiento jurídico en cada caso aplicable.

**Art. 79.-** Derechos y obligaciones del titular de la servidumbre. - El titular de la servidumbre deberá abonar a los titulares de los predios sirvientes las

indemnizaciones que sean establecidas. Corresponde al titular de la servidumbre de acueducto la realización de todas las obras necesarias para su construcción, conservación y limpieza. A esos efectos, se le autorizará para ocupar temporalmente los terrenos indispensables para el depósito de materiales, ocupación que también será objeto de la correspondiente indemnización.

## CAPÍTULO II.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Metodología

Este estudio se sustenta en dos partes, la primera se basa en un modelo cualitativo de revisión de literatura bibliográfica y artículos de diversos autores que sustentan el desarrollo del tema de investigación.

La segunda parte del estudio se basa en métodos cuantitativos. El método utilizado en el estudio para determinar el caudal máximo en el área de protección ambiental a orillas del río Cutuchi se realizó por el método Gumbel.

##### 3.1.1 Tipos de Investigación

**3.1.1.1 Investigación Bibliográfica:** La investigación bibliográfica es una introducción a otros tipos de investigación científica, ya que busca a través del análisis bibliográfico del tema de investigación obtener los resultados requeridos para el proyecto, ya que detalla las situaciones ocurridas en años anteriores.

**3.1.1.2 Investigación Descriptiva:** También se le llama estudio de diagnóstico porque describe los datos obtenidos de la estación meteorológica M0004 ubicada cerca del área de estudio, y la mayor parte del estudio se procesará manualmente para ingresarlo en el software Excel para realizar diferentes simulaciones para diferentes escenarios y lograr resultados casi realistas.

**3.1.1.3 Investigación de Campo:** Es el proceso de utilizar el método científico para obtener nuevos conocimientos en terreno, a partir de

tres puntos de muestreo en la parte alta, media y baja de la cuenca hidrográfica del Río Cutuchi.

En base al registro de las estaciones meteorológicas M0004 que poseen información sobre precipitaciones, caudales, datos de niveles de agua y con la modelación numérica se pretende dar a conocer los posibles bancos de inundación y las posibles estructuras afectadas por eventos pluviales extremos, por medio de mapas generados en ArcGIS.

### **3.1.2 Métodos**

#### **3.1.2.1 Método Inductivo-Deductivo**

El método inductivo permitió un análisis ordenado, coherente y lógico que brindo información sobre datos de precipitación, caudales temperatura y evapotranspiración, para el diagnóstico de la cuenca hidrográfica del río Cutuchi.

El método deductivo, facilitó realizar un análisis explicativo de cada uno de los datos obtenidos a partir del muestro realizado mediante los datos obtenidos en el laboratorio.

#### **3.1.2.2 Método de Recolección de Datos**

Se utilizaron cuadernos de campo, y archivos GIS como: modelo de elevación Digital (DEM), tipo de uso de suelo, isotermas, Isoyetas y cobertura vegetal disponibles por la secretaria nacional de Planificación (Información Geográfica) para recolectar los datos del micro río Cutuchi.

Para recolectar datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, se apoyó de la estación M0004, la cual brindó información sobre precipitaciones, caudal, temperatura y evapotranspiración.

### **3.1.3 Técnicas**

En el estudio se utilizó como herramientas de apoyo las siguientes técnicas:

#### **3.1.3.1 Técnica de Observación**

Permitió tener una mayor visión de la realidad. Al realizar el reconocimiento del área de estudio evidencio las actividades que se desarrollan en cada uno de los sitios de muestreo.



### 3.1.3.2 Técnica Documental

Esta técnica se utiliza para recopilar información bibliográfica a través de la lectura de documentos, libros, revistas, artículos científicos, etc. para obtener información sobre el tema de investigación y poder plantear teorías que sustenten esta investigación.

### 3.1.3.3 Técnica de Muestreo

La técnica de muestreo fue aplicada mediante una visita in situ, donde se realizó la toma de muestras en época de estiaje, en los diferentes puntos (Afloramiento, cauce intermedio y desembocadura) y análisis de laboratorio.

## 3.1.4 Procedimientos para cumplir con los objetivos

### 3.1.4.1 Para el Cumplimiento del Primer Objetivo: Realizar el estudio Hidrológico del Rio Cutuchi

Se realizó un análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas, el cual se determinó que la estación M0004 se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del rio Cutuchi, en base a los resultados se estableció un periodo de 10 años (2006 – 2015) con ello se determinó las precipitaciones y temperaturas máximas, mínimas y medias.

A partir de los resultados obtenidos de precipitación se determinó los caudales máximos mediante el método de Gumbel con la siguiente formula:

$$Q_t = \bar{x} + \frac{\sigma}{\sigma_n} (y_i - \bar{y}_n)$$

**Donde:**

**(T)** = Caudal para un determinado periodo de retorno.

**y<sub>i</sub>** = Coeficiente de ayuda para cada valor de la serie de caudales.

**$\bar{x}$**  = Media aritmética.

**$\sigma$**  = Desviación estándar.

**y<sub>n</sub>,  $\sigma_n$**  = Coeficientes de Gumbel.

### 3.1.4.2 Para el Cumplimiento del Segundo Objetivo: Determinación de la capacidad de conducción para caudales máximos de crecida

A partir de los datos obtenidos, se realizó una caracterización ambiental de la cuenca hidrológica del rio Cutuchi, la cual se desarrolló a partir de cartográfica

temática y análisis espaciales que permitieron el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) para conocer mejor la condición y características de la cuenca, complementando con una revisión de documentos existentes que refuerzan los resultados de los análisis espaciales.

**3.1.4.3 Para el cumplimiento del tercer objetivo: Definir estrategias para implementación de un área de protección de las riberas del río Cutuchi**

Finalmente se realizó el análisis de los resultados obtenido en el proyecto, el cual permitió elaborar una propuesta de implementación del área de protección según la crecida máxima.

**3.2 Materiales**

Los materiales utilizados en el presente proyecto de campo al igual que los de laboratorio y oficina, se detallan a continuación en la tabla 5:

**Tabla 5**

*Materiales usados en la investigación*

<b>De Campo</b>	<b>De Oficina</b>	<b>Instrumentos</b>
Libreta de campo	Computadora	GPS
Ficha de Registro	Registro de estaciones	Cámara digital
Transporte	meteorológicas	
	Archivos Gis (Ortofotos)	
	Libros de consulta	

*Nota: Los materiales que se utilizaron en la investigación*

## **CAPÍTULO III.**

### **4 RESULTADO Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Resultados**

##### **4.1.1 Caracterización de la Microcuenca del Río Cutuchi**

La subcuenca del río Cutuchi comprende la parte más alta del sistema fluvial “Pastaza-Marañón-Amazonas”. Es parte del sistema hidrográfico mayor de la cuenca del río Pastaza. Esta bordeada al oeste y este por las primeras elevaciones de la Cordillera Occidental y Cordillera Oriental del Ecuador.

El río Cutuchi es uno de los principales ejes hidrográficos de la zona central de la Sierra ecuatoriana. Recibe, aguas arriba las aguas de los ríos Tomacuntze, Pumacunchi, Yanayacu, Cunuyacu, Illuchi, y Alaquez, y es alimentado en la parte sureste por el río Isinche.

El río Cutuchi nace desde una altura de 5897 m.s.n.m., que corresponde a las cumbres del volcán Cotopaxi, hasta los 2400 m.s.n.m. correspondiente a la confluencia con el río Ambato. El área de la subcuenca es de 2677 km<sup>2</sup>, con una longitud aproximada de 60 km. El origen morfoestructural de la subcuenca es volcánico, producto de eventos ocurridos en la historia.

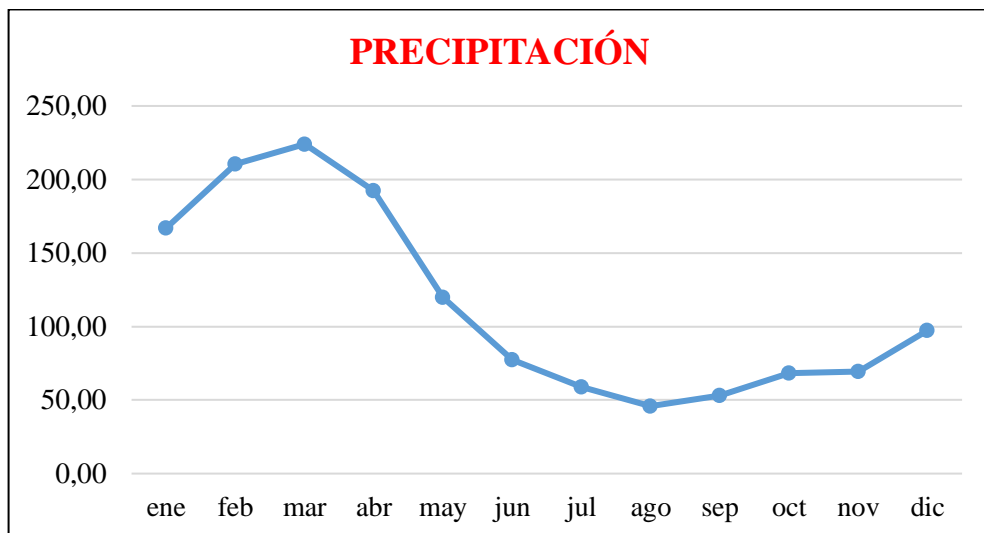
Las aguas del río Cutuchi escurren en dirección norte-sur, con una pendiente de 8.8%. Llegan hasta Latacunga engargantándose paulatinamente a partir de aquí hasta la confluencia con el río Ambato. Alberga al 70 % de la población de la provincia de Cotopaxi.

### 4.1.2 Precipitación

La precipitación es un fenómeno que ocurre en la superficie terrestre en forma de lluvia, rocío, nieve, granizo y se mide en milímetros. Durante este período (2006-2015), la precipitación media anual en la estación meteorológica M0004 de Rumipamba fue de 110,87 mm. Como se puede ver en la siguiente figura 5, la precipitación máxima en marzo es de 224,5 mm y la precipitación mínima en agosto es de 45,88 mm.

**Figura 5**

*Precipitación de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015*

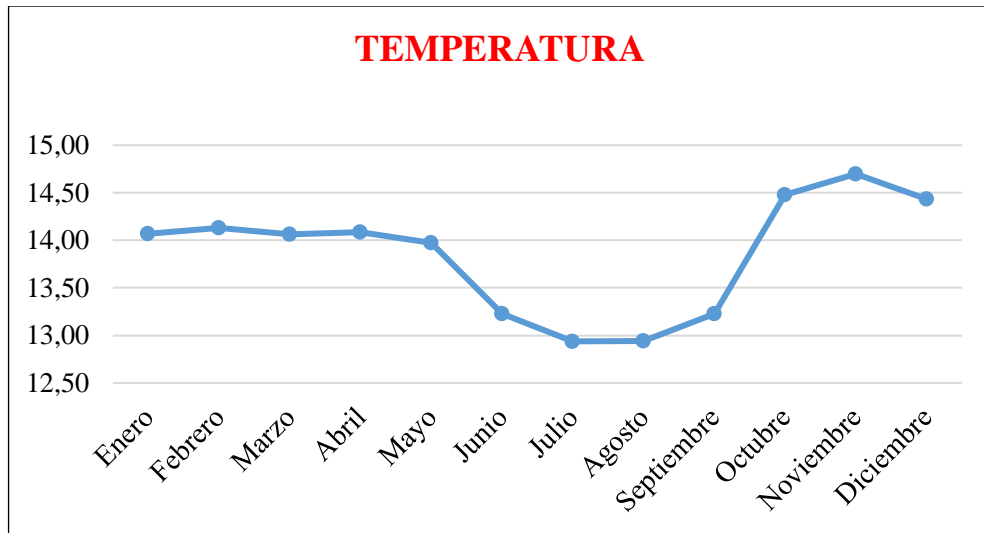


### 4.1.3 Temperatura

La temperatura es un factor climático importante que afecta el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos. Para ello, es necesario analizar la temperatura de la piscina o de la obra, y es muy importante saber: la temperatura media del mes; temperatura media anual; fluctuaciones de la temperatura media anual; altitud y variación espacial de la temperatura. Para esta variable se tomó los datos de la estación M0004 durante el periodo (2006 – 2015). Se puede observar que el valor de la temperatura máxima es de 14,70 °C en el mes de noviembre, la temperatura mínima es de 12,91 °C en el mes de agosto y su temperatura media anual durante este periodo fue de 13,85 °C como se muestra en la figura 6.

**Figura 6**

**Temperatura de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015**

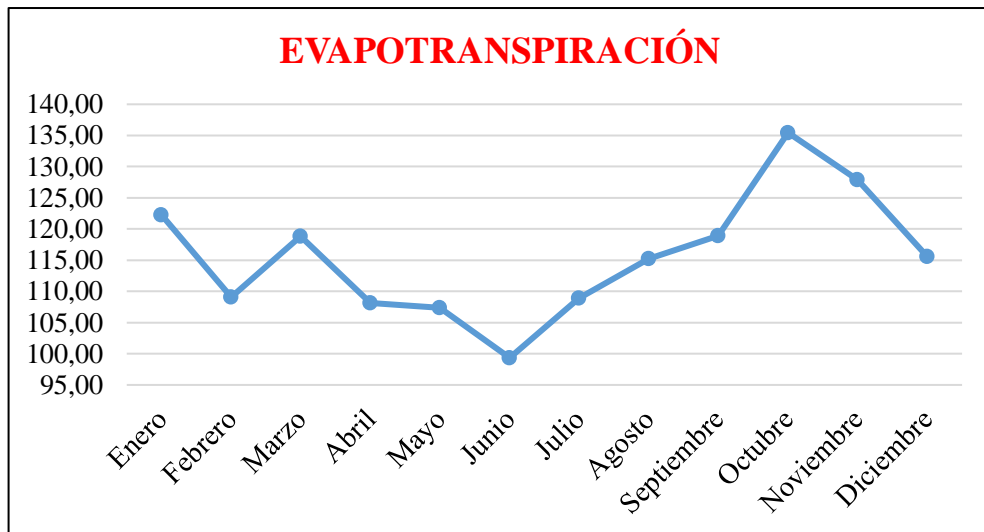


#### **4.1.4 Evapotranspiración**

Este parámetro se define como una combinación de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas y depende de factores ambientales, condiciones de uso del suelo, disponibilidad de agua y capacidad del suelo. Actualmente se han desarrollado modelos matemáticos que nos permiten obtener una estimación, en lo cual se trabajó con una estación diferente para el cálculo donde se tomó en cuenta la M0004 se obtuvo datos donde el valor de evapotranspiración anual es de 115,58mmm, la máxima evaporación fue de 135,45mm y la mínima de 99,35 durante el periodo 2006- 2015.

**Figura 7**

*Evapotranspiración de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015*

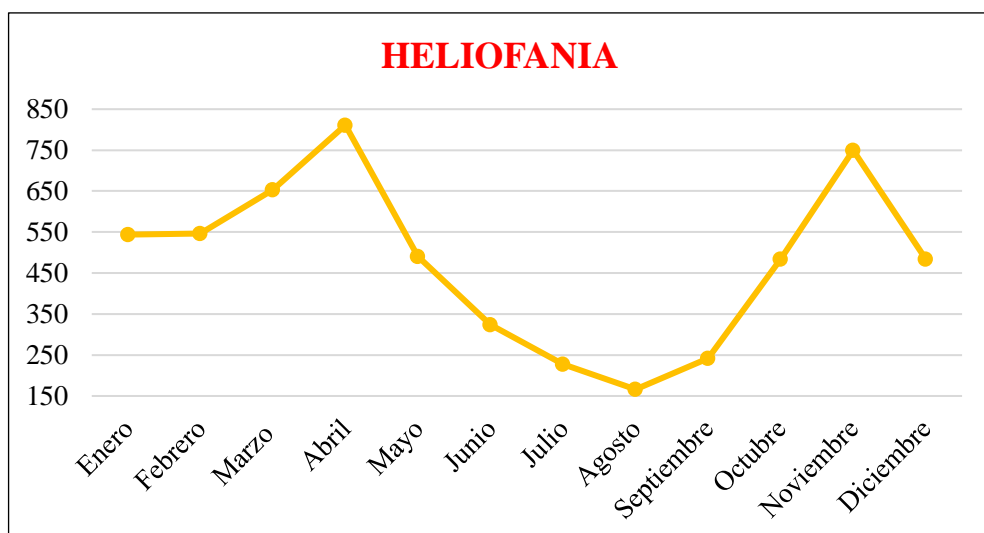


#### **4.1.5 Heliofanía**

Los datos que se disponen de heliofanía están en términos porcentuales de horas de brillo del sol en relación con las horas teóricas de permanencia del sol en el horizonte. En la cuenca del río Cutuchi como se observa en la figura 8 el promedio de heliofanía es de 476,74 el valor máximo es de 811,1 y la mínima de 166,1.

**Figura 8**

*Heliofanía de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015*

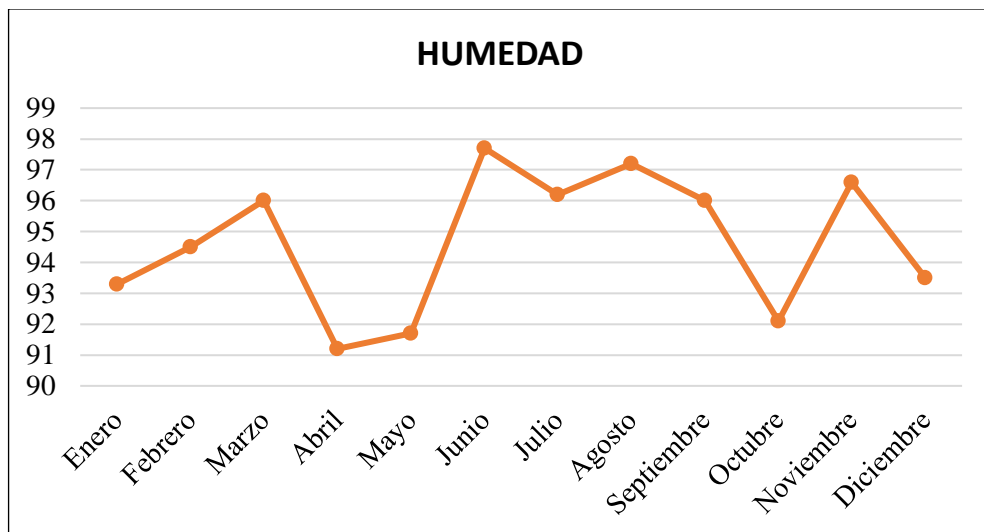


#### 4.1.6 Humedad

La humedad atmosférica se puede definir como la cantidad de vapor de agua en el aire donde a mayor porcentaje de humedad relativa mayor grado de saturación atmosférica. Para la obtención de datos de humedad relativa se emplearon datos de la estación M004 comprendidos en los años 2006- 2015. Como se puede observar en el grafico el promedio de la humedad en la Microcuenca del rio Cutuchi es de 94.67% el valor máximo es de 97.7 % y el mínimo de 91.2%.

**Figura 9**

*Humedad de la Estación Meteorológica M004 desde el año 2006 al 2015*

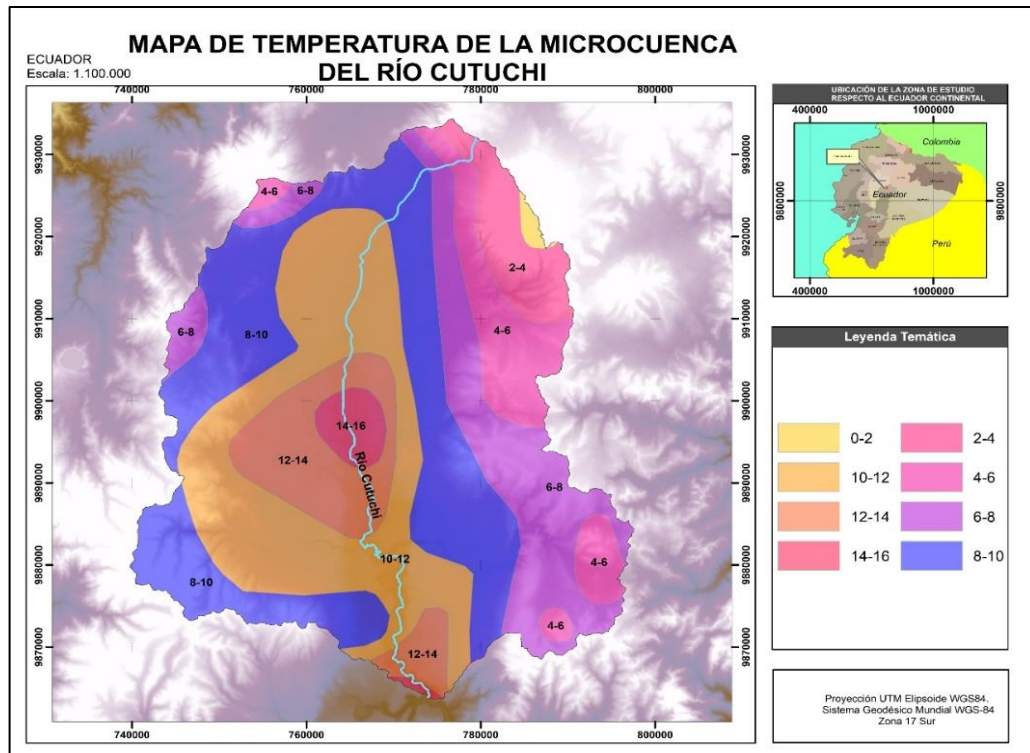


#### 4.1.7 Temperatura

El clima más característico de la zona es el clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo, el cual es el clima más encontrado en la zona interandina del Ecuador. Las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 6 y 10°C, pero pueden en ocasiones ser inferiores en las vertientes menos expuestas al sol; las temperaturas mínimas descienden rara vez a menos de 0°C y las máximas no superan los 16°C.

**Figura 10**

*Mapa de Temperatura de la Microcuenca del Río Cutuchi*



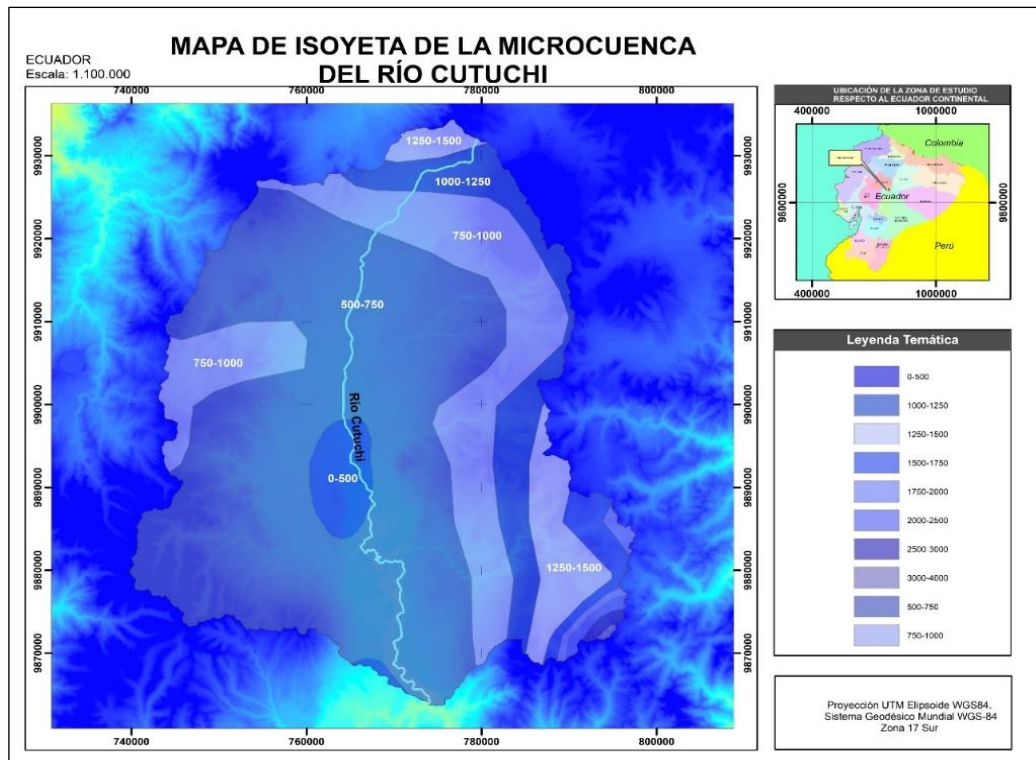
#### 4.1.8 Precipitación

La estación seca principal, de junio a septiembre, es generalmente muy marcada; en cuanto a la segunda, su duración y localización en el tiempo mucho más aleatorias, aunque se puede adelantar que es por lo general inferior a tres semanas y se sitúa a fines de diciembre, razón por la que se llama “veranillo del Niño”. En la microcuenca podemos determinar que la mayor precipitación se da en la parte baja de la misma con valores de 3000 mm a 4000 mm anuales, en la parte media de las precipitaciones van desde 500 mm y en la parte alta de la microcuenca cuenta con precipitaciones desde los 1000 mm hasta los 1500 mm.



**Figura 11**

**Mapa de Precipitación de la Microcuenca del Río Cutuchi**



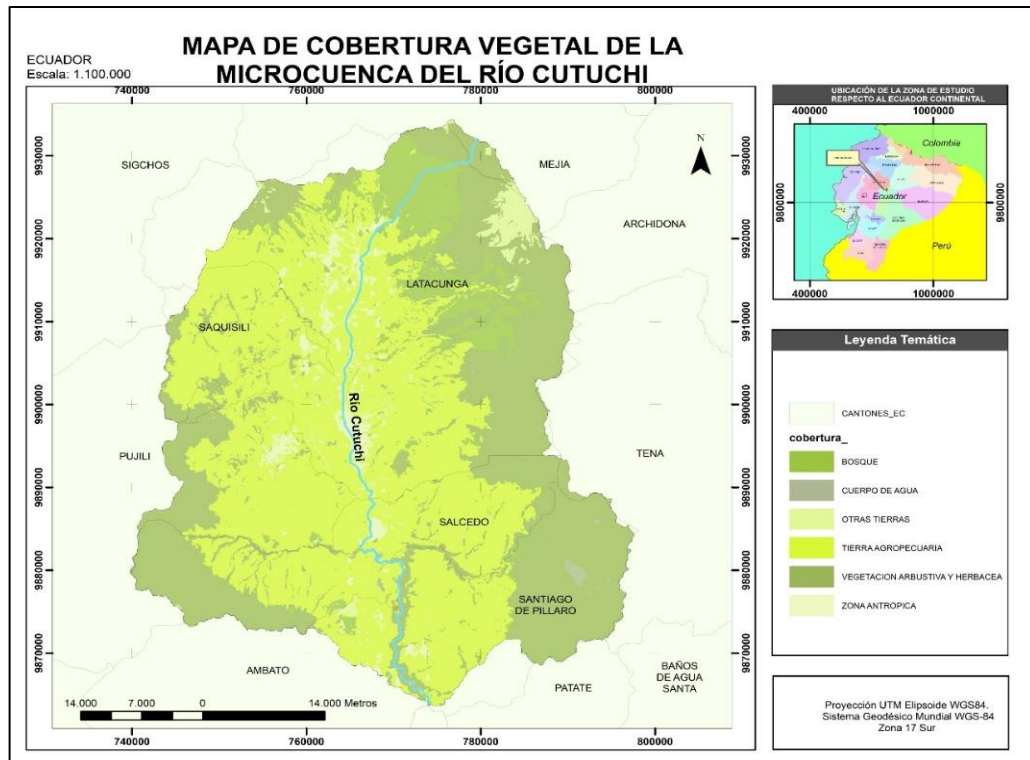
#### 4.1.9 Cobertura Vegetal

En la zona donde desemboca el río Cutuchi, encontramos terrenos francos derivado de material piroclástico con textura fértil, tiene un pH neutro ligeramente ácido y un color negro. También podemos encontrar arcilla y margas, los cuales son poco profundos, erosionados sobre una capa de cangahua que se encuentra a menos de 1m de profundidad.

El conocimiento de la capacidad de uso del suelo es fundamental para hacer uso de éste, basado en sus condiciones o características y, además, para conservar esta capacidad, evitar su degradación y obtener así el máximo rendimiento en la producción. La cobertura vegetal que presenta la microcuenca del río Cutuchi son áreas de tierra agropecuaria las cuales predominan en la misma, en la parte alta presenta vegetación arbustiva y herbácea también tiene presencia de bosques como se muestra en el siguiente mapa.

**Figura 12**

**Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca del Río Cutuchi**



#### 4.1.10 Estudio Hidrológico de la Microcuenca del Río Cutuchi

Para determinar las características físicas principales de la microcuenca de Río Cutuchi, se calculó los siguientes parámetros.

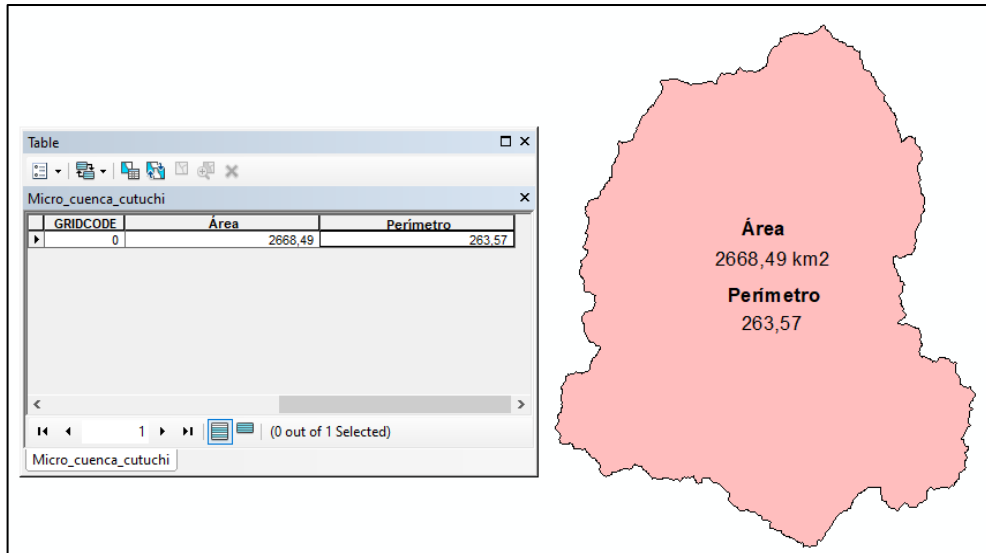
##### a) Área

El área se logró calcular mediante la proyección horizontal de la superficie establecida entre los límites topográficos de la limitación de la microcuenca del Río Cutuchi.

- Área real (**A**) = 2668,49 km<sup>2</sup>
- Perímetro (**P**) = 263,57 km
- Longitud (**L**) = 79,16 km

**Figura 13**

**Área y Perímetro de la Microcuenca del Río Cutuchi**



**b) Ancho de la Microcuenca (B)**

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

$$B = \frac{2668,49}{79,16} = 33.69 \text{ km}$$

**c) Factor Forma (kf)**

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

$$kf = \frac{2668,49}{(79,16)^2} = 0.42$$

**d) Coeficiente de Compacidad (kc)**

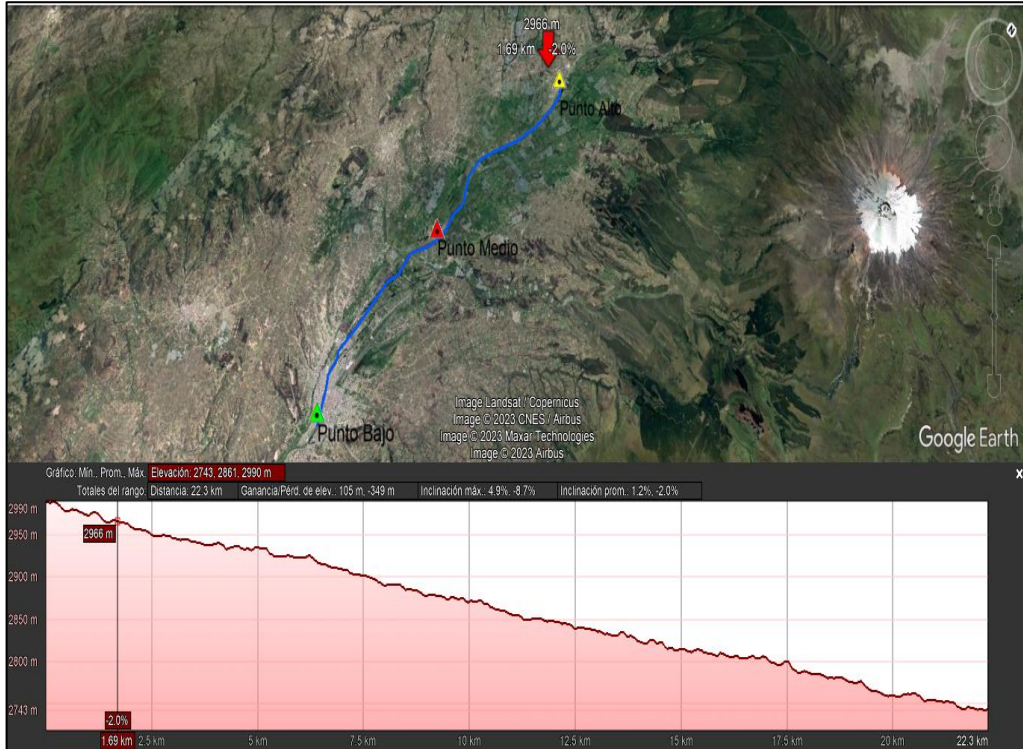
$$kc = \frac{P}{2\pi R}$$

$$kc = \frac{263,57}{2\pi\left(\frac{79,16}{2}\right)} = 1.06$$

e) **Parámetros que Relaciona al Perfil Topográfico**

**Figura 14**

*Perfil Topográfico de la Microcuenca del Río Cutuchi*



- **Cota mayor (CM) = 2990**
- **Cota menor (Cm) = 2743**

f) **Pendiente Media de la Cuenca (S)**

$$S = \frac{CM - Cm}{L} * 100$$
$$S = \frac{2990 - 2743}{79160} * 100$$
$$S = 0.31 \%$$

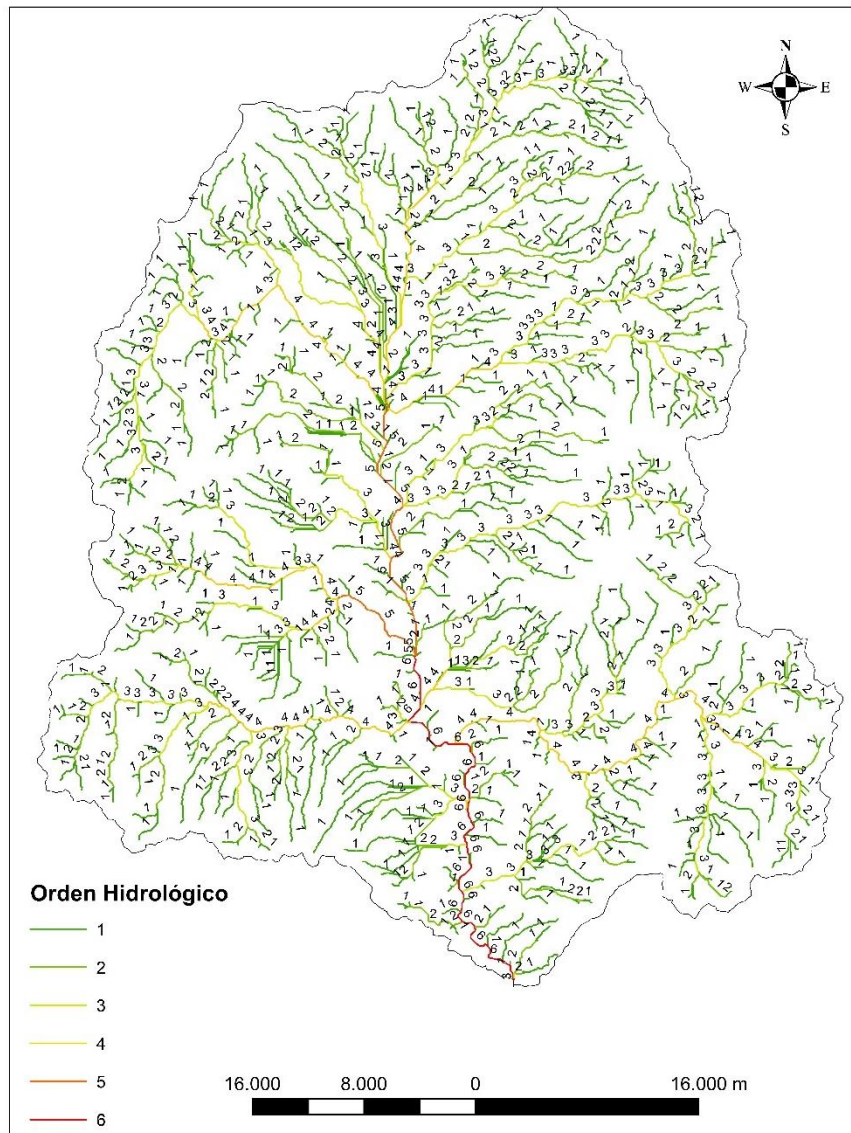
g) **Pendiente Promedio del Cauce (So):**

$$S = \frac{2950 - 2743}{79160} * 100$$
$$S = 0.26 \%$$

## h) Parámetros de Drenaje

Figura 15

*Drenaje de la Microcuenca del Río Cutuchi*



- Longitud de los cauces de orden (L1) = 50,03 km
- Densidad de drenaje (Dd)

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

$$Dd = \frac{91.75 \text{ km}}{219.02 \text{ km}^2}$$

$$Dd = 0,44 \text{ km}$$

#### 4.1.11 Caudales Máximos

##### 4.1.11.1 Método de Gumbel

Para un período de retorno de 140 años

$$Tr = 100 \text{ años}$$

Calcular la probabilidad de que se produzca una avenida dentro del período de retorno de diseño

$$P_{(x)} = \frac{1}{100}$$

$$P_{(x)} = 0,01$$

La probabilidad es de 0,1%

A continuación, se calcula el coeficiente de ayuda:

$$y_i = \ln (-\ln (1 - 0,0071))$$

$$y_i = 4,6$$

**Tabla 6**

*Datos de Caudal, Media Aritmética y Desviación Estándar*

<b>Año</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>2006</b>	99,034
<b>2007</b>	37,368
<b>2008</b>	34,451
<b>2009</b>	29,063
<b>2010</b>	26,456
<b>2011</b>	33,824
<b>2012</b>	33,994
<b>2013</b>	32,178
<b>2014</b>	15,442
<b>2015</b>	16,300
<b>Suma (m<sup>3</sup>/S)</b>	28.16
<b>Desviación estándar</b>	7,78

Del anexo 1, se escogerán los coeficientes de Gumbel dependiendo el número de datos

$$\#datos = 10$$

$$\sigma_n = 0,9497$$

$$\bar{Y}_n = 0,4952$$

Finalmente se reemplaza todos los valores en la formula general del caudal de Ven Te Chow de la siguiente manera:

$$Q_t = \bar{x} + \frac{\sigma}{\sigma_n} (y_i - \bar{Y}_n)$$

$$Q_{100} = 28,16 + \frac{7,78}{0,9497} (4,60 - 0,4952)$$

$$Q_{100} = 61,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dando como resultado la siguiente tabla de probabilidades para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 7**

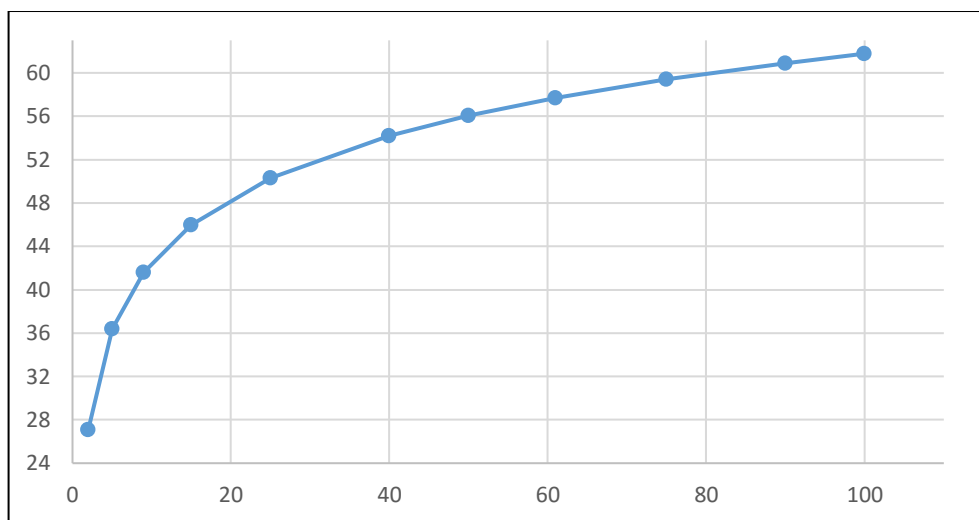
*Datos de Probabilidades Teóricas*

Tr (años)	Probabilidad %	yi	QTr(m3/s)
100	1.00	4.60	61.77
90	1.11	4.49	60.91
75	1.33	4.31	59.40
61	1.64	4.10	57.70
50	2.00	3.90	56.06
40	2.50	3.68	54.21
25	4.00	3.20	50.30
15	6.67	2.67	46.00
9	11.11	2.14	41.62
5	20.00	1.50	36.39
2	50.00	0.37	27.11

A continuación, se presenta la distribución de Gumbel:

**Figura 16**

*Distribución de Gumbel*



En la figura 16 se observa que el caudal aumenta en medida que pasan los años, en dos años el caudal aproximadamente sería de 27,11 m<sup>3</sup>/s en la microcuenca, en 50 años sería de 56,06 m<sup>3</sup>/s y en 100 años el caudal aumentaría a 61,77 m<sup>3</sup>/s en la misma.

#### **4.1.12 Capacidad de Conducción de Caudales Máximos**

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica grado de compactación, pendiente, micro relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración de aguacero, horas, días, meses, un año) etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre 0 y 1.

**Tabla 8**

*Valores de Escorrentía*

Naturaleza de la superficie	Valores de escorrentía	
	Ondulada S de 5 a 10%	Inclinada S de 10 a 30%
<b>Cultivos Generales</b>	0.60	0.72
<b>Cultivos de pasto</b>	0.36	0.42
<b>Cultivo de bosque</b>	0.18	0.21
<b>Áreas desnudas</b>	0.80	0.90



a) **Cálculo de Caudales Máximos por el Método Racional**

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

**Donde:**

**Q** = Caudal máximo.

**C** = Coeficiente de escorrentía.

**I** = Intensidad de precipitación.

**A** = Área de cuenca.

• **Punto Alto**

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

$$Q = \frac{0.21 \times 0.01986 \times 266849}{360}$$

$$Q = 2,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

• **Punto Medio**

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

$$Q = \frac{0.36 \times 0.00550 \times 266849}{360}$$

$$Q = 1,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

• **Punto Bajo**

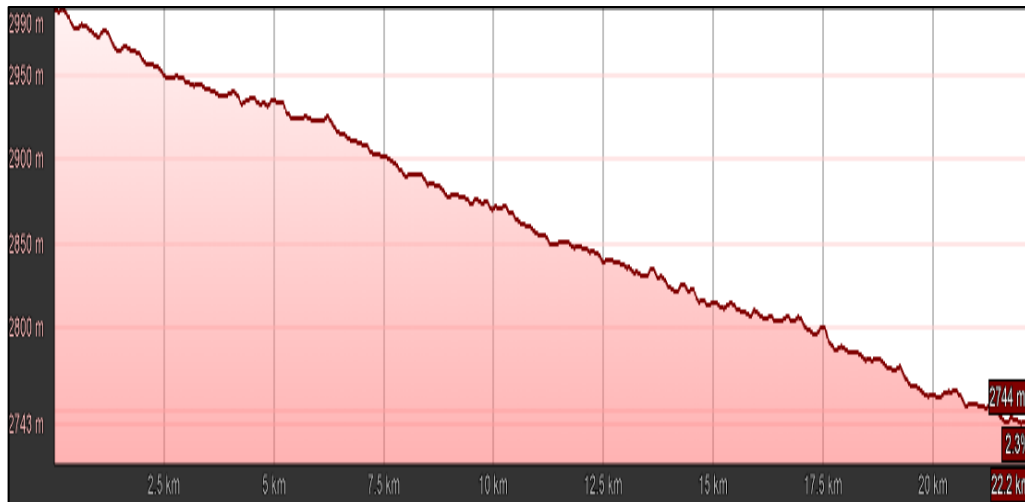
$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

$$Q = \frac{0.60 \times 0.00214 \times 266849}{360}$$

$$Q = 0,95 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Figura 17**

**Perfil Longitudinal de la Microcuenca del Rio Cutuchi**



A continuación, se muestra los perfiles transversales que va desde el punto Alto al Punto Medio, desde los 2990 m.s.n.m. a los 2833 m.s.n.m. con una distancia de los 11 km mientras que la siguiente grafica muestra los perfiles transversales que va desde el punto Medio al Punto Bajo es decir desde los 28833 al 2733 m.s.n.m. con una distancia de 12 km.

#### 4.1.13 Velocidades y Áreas del Rio Cutuchi

Fórmula para determinar las velocidades:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{A_H \times L}{t} = A_H \times v$$

##### a. Punto Alto

- **Primer Punto**

**Caudal en Q1 = 2,71 m<sup>3</sup>/s**

**Altura en Q1 = 3004 m.s.n.m.**

**Área en Q1 = 6,92 m<sup>2</sup>**

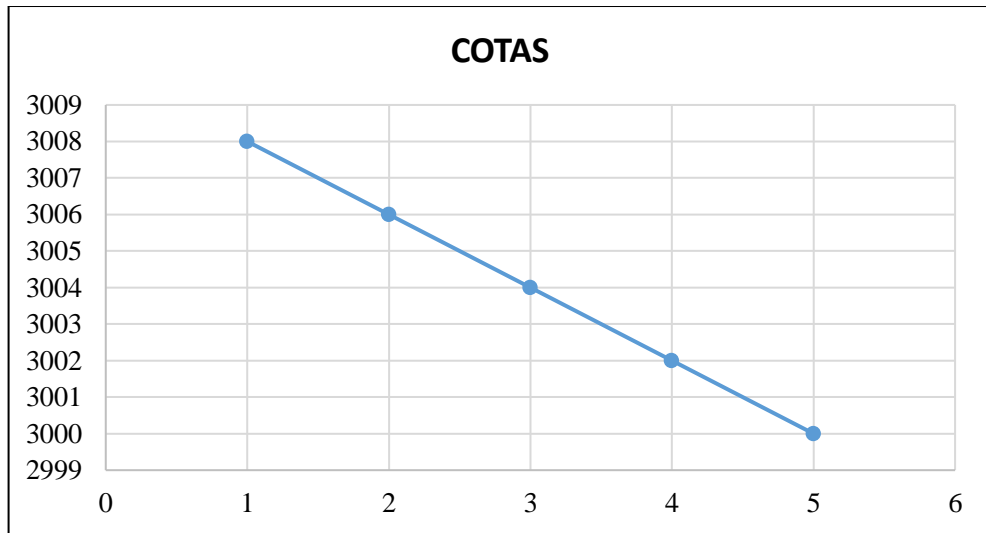
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q1 = A_H \times v$$

$$V_1 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{2,71 \text{ m}^3/\text{s}}{6,92 \text{ m}^2} = 0.39 \text{ m/s}$$

**Figura 18**

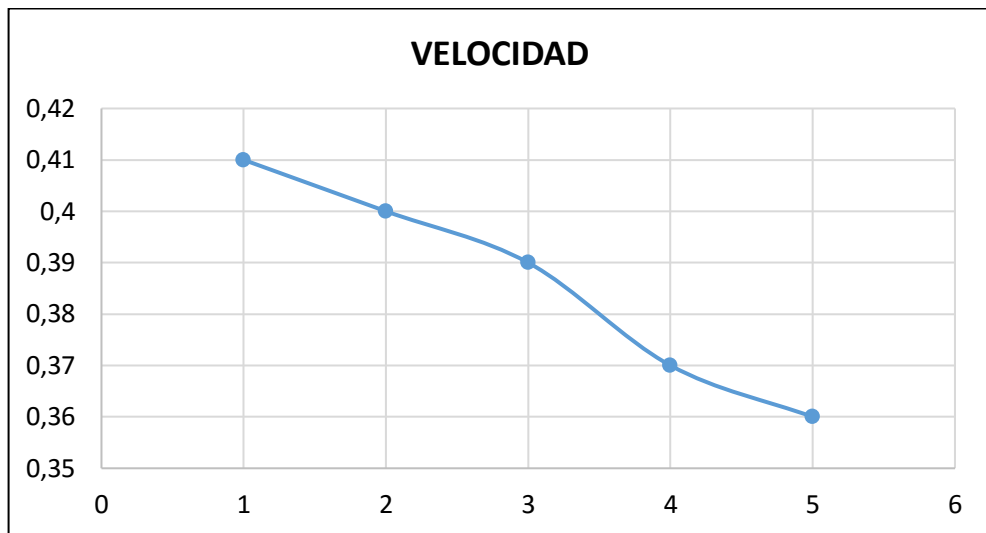
*Cotas del Primer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca del Rio Cutuchi*



En la siguiente figura 18 se observa las cotas de la parte alta de la microcuenca que es al nivel en el que se encuentra el río, la cota máxima en el primer punto es de 3008 m.s.n.m. mientras que la media es 3004 m.s.n.m. y la cota mínima es de 3000 m.s.n.m.

**Figura 19**

*Velocidad del Caudal del Primer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca*



La figura 19, representa la velocidad del caudal en la parte alta de la microcuenca, la velocidad máxima del caudal en el primer punto de la parte alta es de 0,41 m/s y la velocidad media es de 0,39 m/s y la velocidad mínima es de 0,35 m/s.

- **Segundo Punto**

**Caudal en Q1 = 2,52 m<sup>3</sup>/s**

**Altura en Q1 = 2994 m.s.n.m.**

**Área en Q1 = 6,92 m<sup>2</sup>**

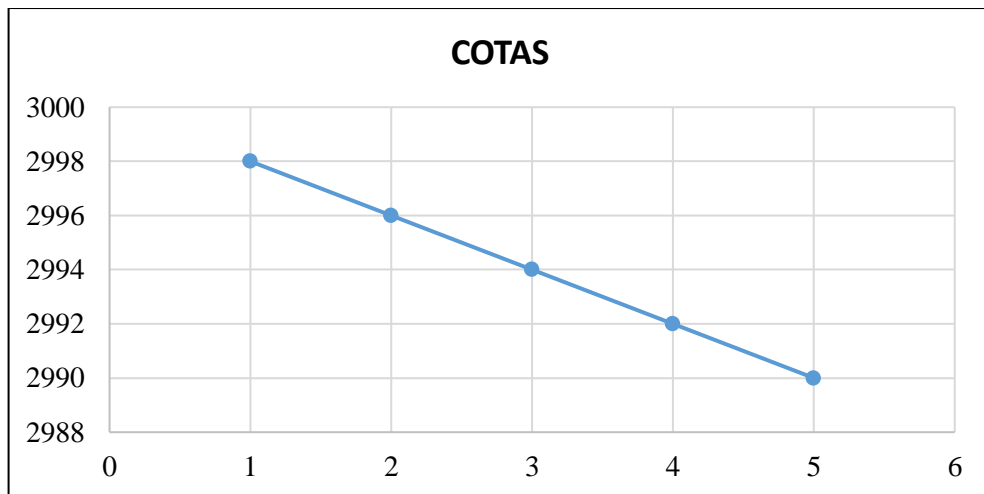
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q1 = A_H \times v$$

$$V_1 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{2,52 \text{ m}^3/s}{6,92 \text{ m}^2} = 0.36 \text{ m/s}$$

**Figura 20**

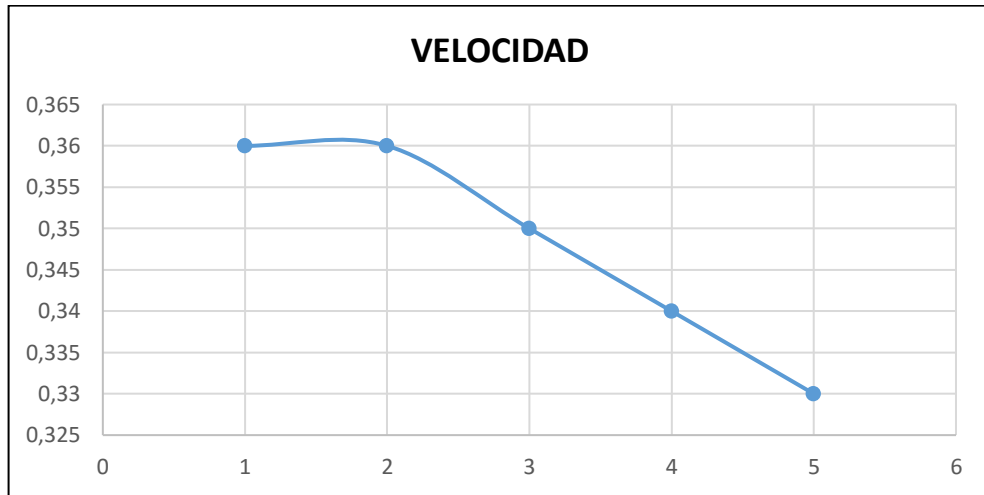
*Cotas del Segundo Punto de la Parte Alta de la Microcuenca del Rio Cutuchi*



En la figura 20, se representa el nivel en el que se encuentra el segundo punto de muestreo en la parte alta y la cota máxima en el segundo punto es de 2998 .s.n.m. mientras que la media es 2994 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2990 m.s.n.m.

**Figura 21**

*Velocidad del Caudal del Segundo Punto de la Parte Alta de la Microcuenca*



Se observa en la figura 21, la velocidad máxima del caudal en la parte alta del segundo punto de muestreo es de 0.36 m/s y la velocidad mínima es de 0,33 m/s.

- **Tercer Punto**

**Caudal en Q1 = 2,15 m<sup>3</sup>/s**

**Altura en Q1 = 2984 m.s.n.m.**

**Área en Q1 = 6,92 m<sup>2</sup>**

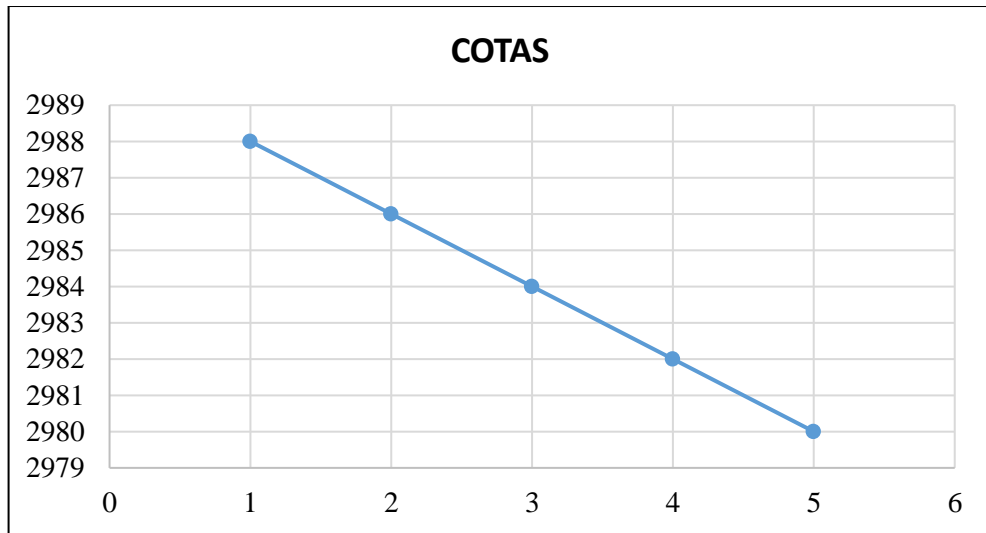
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q1 = A_H \times v$$

$$V_1 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{2,15 \text{ m}^3/\text{s}}{6,92 \text{ m}^2} = 0.31 \text{ m/s}$$

**Figura 22**

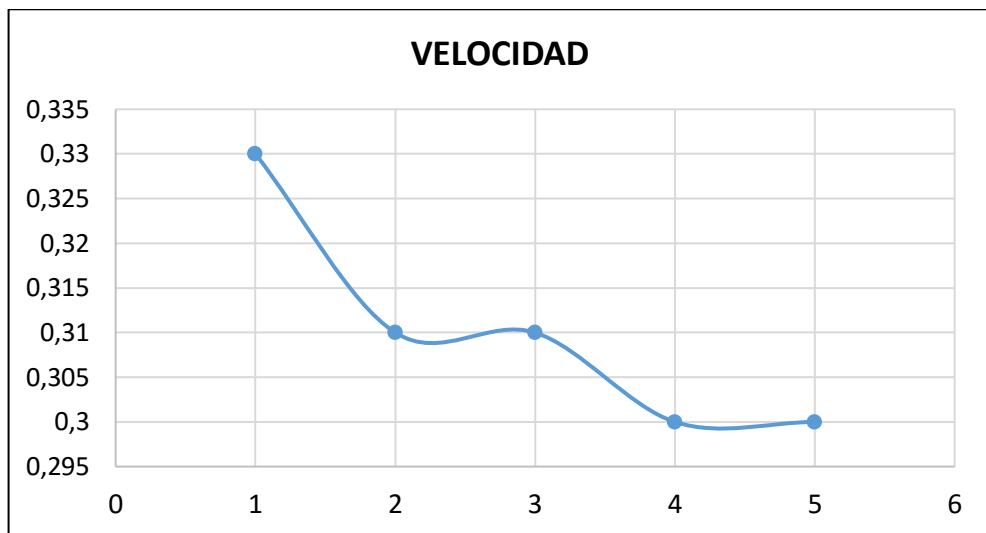
*Cotas del Tercer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca*



Se puede observar en la figura 22, el nivel del río que se encuentra en el tercer punto de muestreo de la parte alta, la cota máxima es de 2988 m.s.n.m mientras que la media es 2984 msnm y la cota mínima es de 2980 m.s.n.m.

**Figura 23**

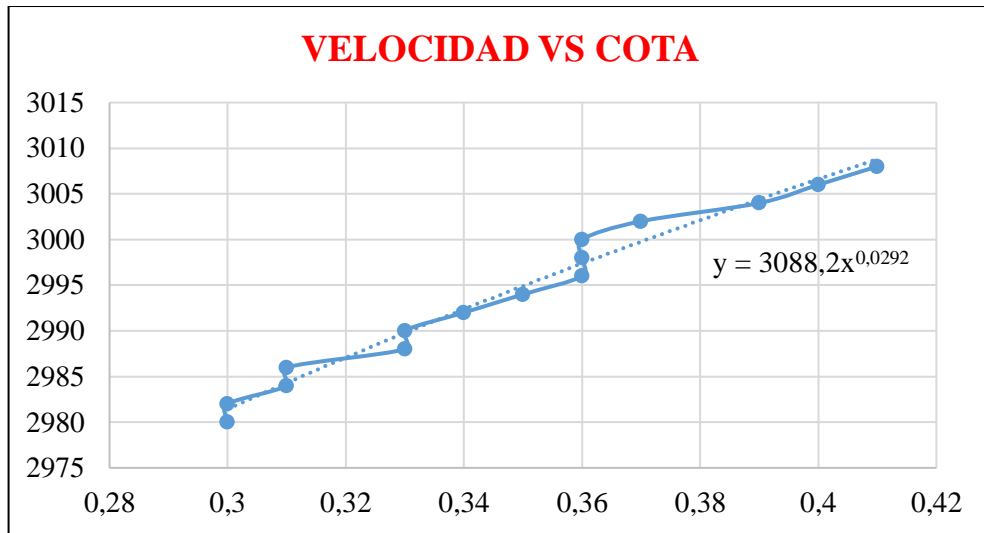
*Velocidad del Caudal del Tercer Punto de la Parte Alta de la Microcuenca*



En la figura 23, representa la velocidad máxima del caudal del tercer punto de la parte alta es de 0.33 m/s y la velocidad mínima es de 0,30 m/s.

**Figura 24**

*Velocidad y Cotas de la Parte Alta de la Microcuenca*



En la siguiente figura 24 se observa la relación que tiene las velocidades con las cotas a medida que la cota es mayor la velocidad del caudal aumenta teniendo en cuenta que a 2980 m.s.n.m. la velocidad es de 0,3 m/s, a 2994 m.s.n.m. la velocidad es de 0,35 m/s y finalmente a 2008 m.s.n.m. la velocidad es de 0,41 m/s en la parte alta de la microcuenca del río Cutuchi.

**b. Punto Medio**

• **Primer Punto**

**Caudal en Q2 = 1,46 m<sup>3</sup>/s**

**Punto en Q2 = 2942 m.s.n.m.**

**Área en Q2 = 5,12 m<sup>2</sup>**

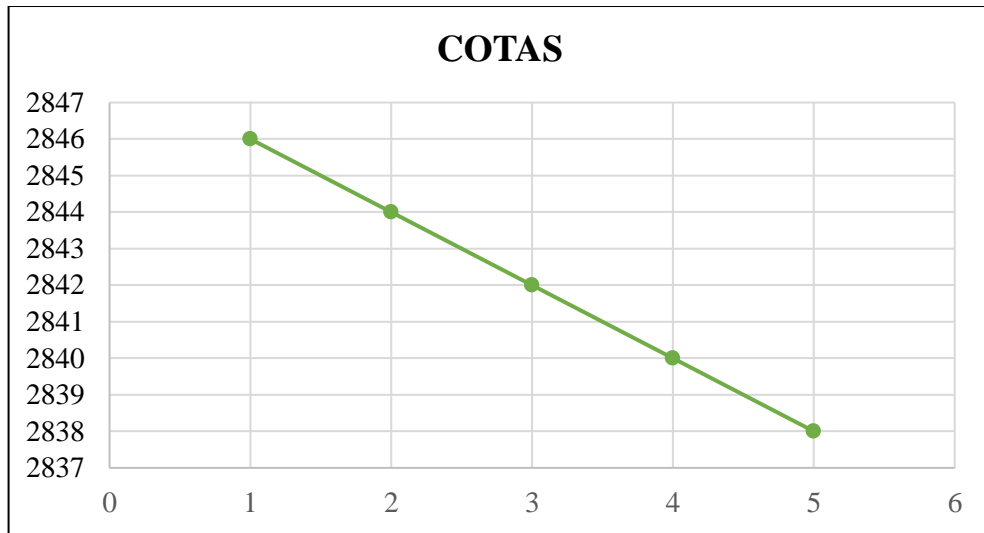
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q_2 = A_H \times v$$

$$V_2 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{1,46 \text{ m}^3/\text{s}}{5,12 \text{ m}^2} = 0,28 \text{ m/s}$$

**Figura 25**

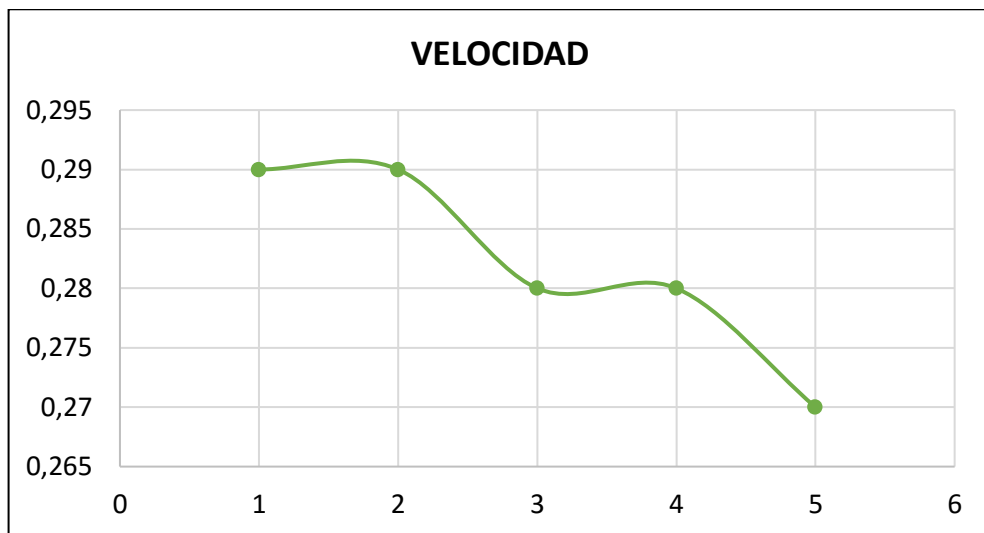
*Cotas del Primer Punto de la Parte Media de la Microcuenca*



Se puede observar en la figura 25 que la cota máxima en el primer punto de la parte media de la microcuenca es de 28846 m.s.n.m. mientras que la media es 28432 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2838 m.s.n.m.

**Figura 26**

*Velocidad del Caudal del Primer Punto de la Parte Media de la Microcuenca*



En la figura 26, se observa la velocidad que tiene el caudal en la parte media de la microcuenca, la velocidad máxima del caudal del primer punto de la parte media es de 0.29 m/s y la velocidad mínima es de 0,27 m/s.



- **Segundo Punto**

**Caudal en Q2** = 1,28 m<sup>3</sup>/s

**Punto en Q2** = 2815 m.s.n.m.

**Área en Q2** = 5,12 m<sup>2</sup>

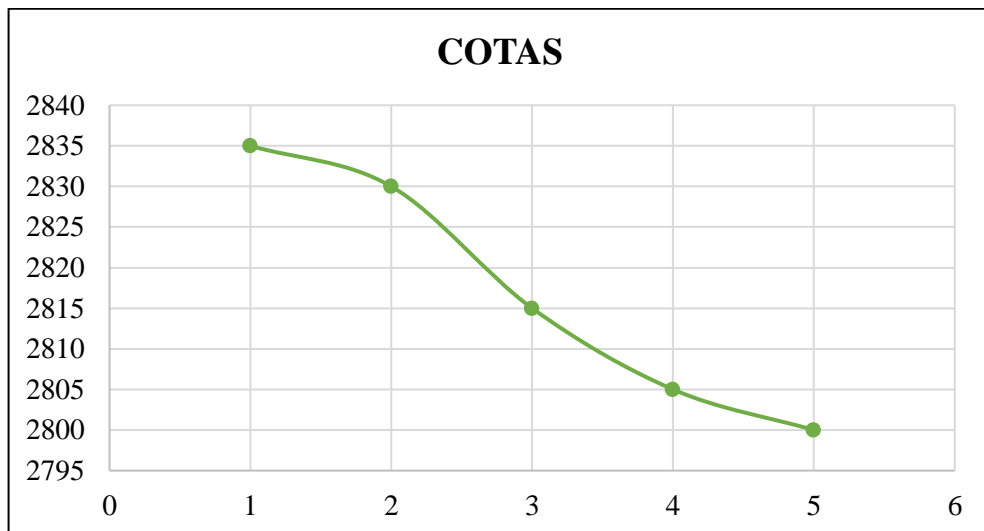
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q_2 = A_H \times v$$

$$V_2 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{1,28 \text{ m}^3/\text{s}}{5,12 \text{ m}^2} = 0.25 \text{ m/s}$$

**Figura 27**

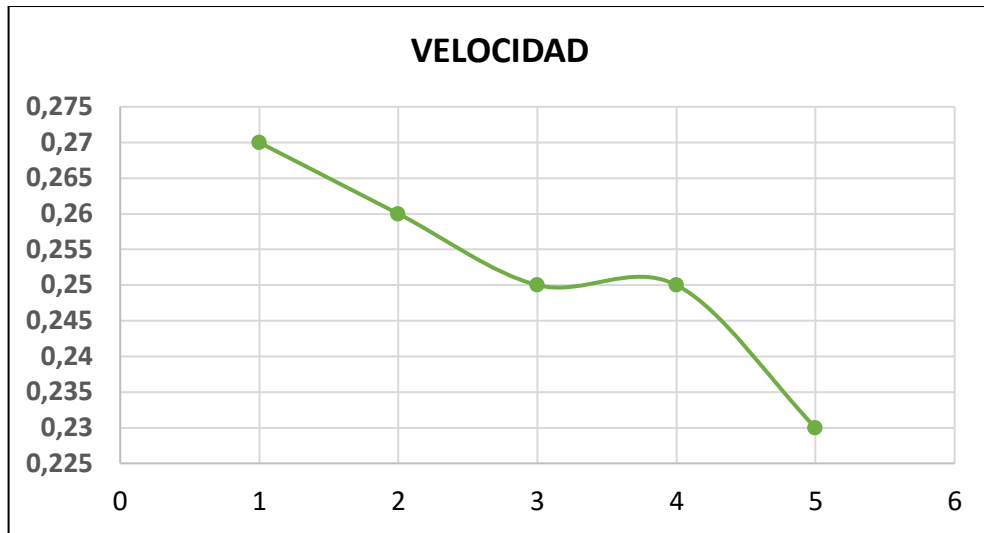
*Cotas del Segundo Punto de la Parte Media de la Microcuenca*



Se puede observar en la figura 27, representa el nivel del río en el segundo punto de parte media de la microcuenca la cota máxima es de 2835 m.s.n.m. mientras que la media es 2815 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2800 m.s.n.m.

**Figura 28**

*Velocidad del Caudal del Segundo Punto de la Parte Media de la Microcuenca*



La velocidad máxima del caudal del segundo punto de la parte media es de 0,27 m/s y la velocidad mínima es de 0,23 m/s.

- **Tercer Punto**

**Caudal en Q2 = 1,11 m<sup>3</sup>/s**

**Punto en Q2 = 2780 m.s.n.m.**

**Área en Q2 = 5,12 m<sup>2</sup>**

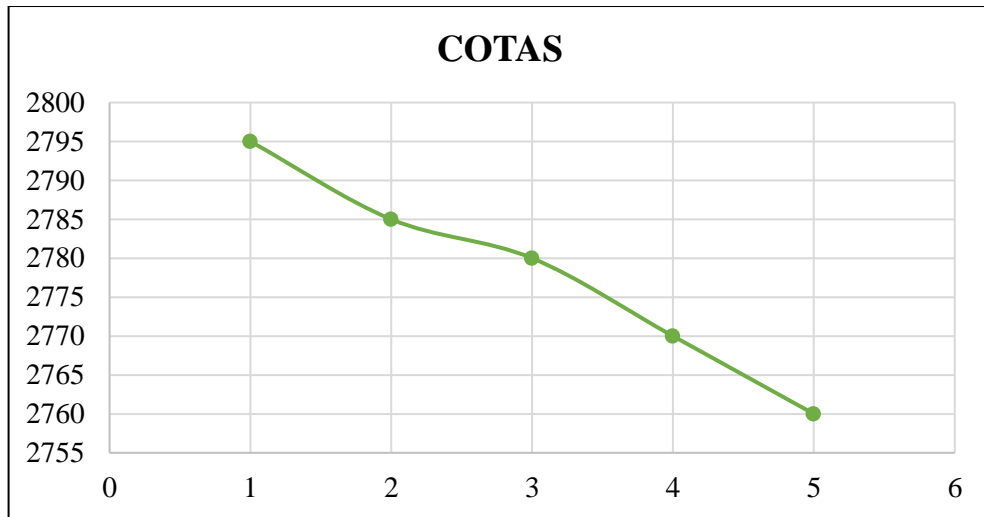
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q2 = A_H \times v$$

$$V_2 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{1,11 \text{ m}^3/\text{s}}{5,12 \text{ m}^2} = 0,21 \text{ m/s}$$

**Figura 29**

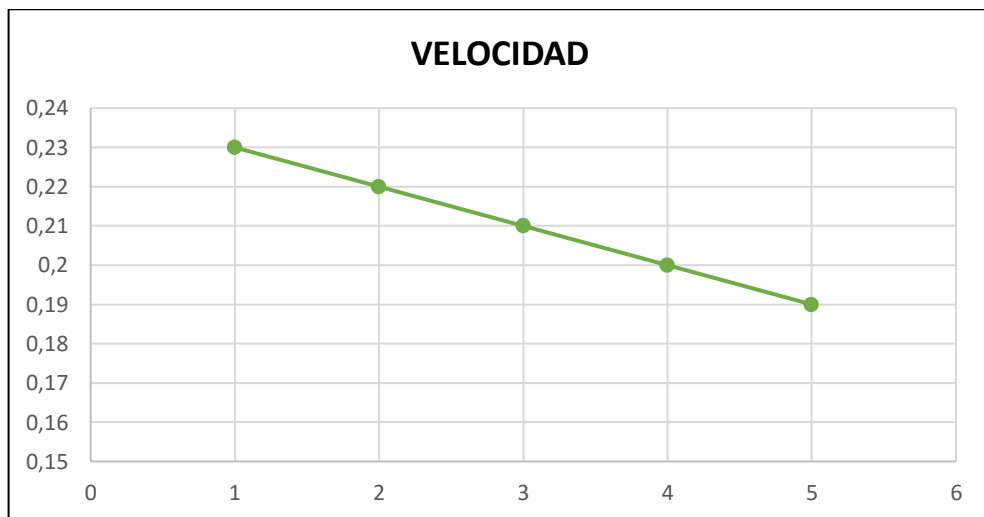
*Cotas del Tercer Punto de la Parte Media de la Microcuenca*



Se puede observar en la gráfica que la cota máxima en el tercer punto de la parte media de la microcuenca es de 2795 m.s.n.m. mientras que la media es 2780 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2760 m.s.n.m.

**Figura 30**

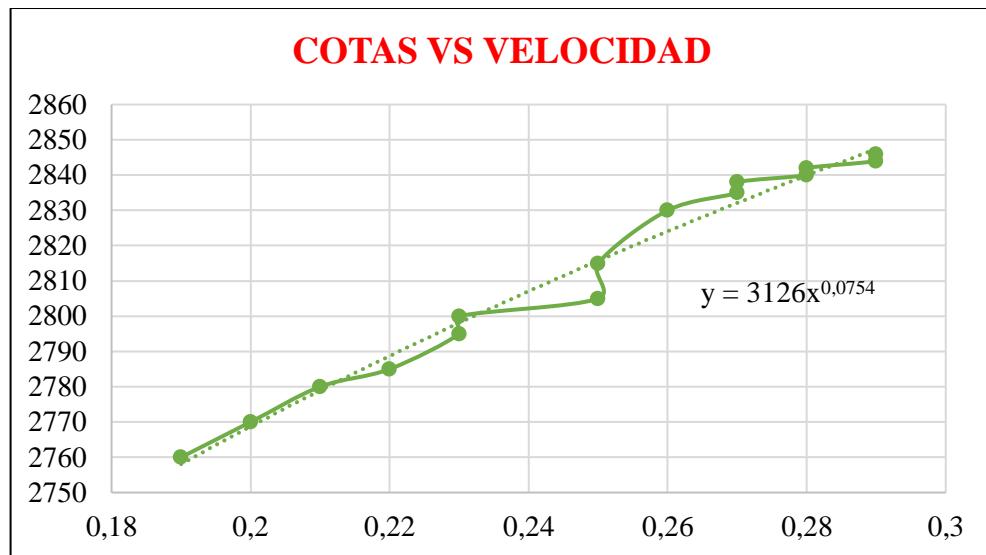
*Velocidad del Caudal del Tercer Punto de la Parte Media de la Microcuenca*



La velocidad máxima del caudal del tercer punto de la parte media es de 0,23 m/s y la velocidad mínima es de 0,19 m/s.

**Figura 31**

*Velocidad y Cotas de la Parte Media de la Microcuenca*



En la figura 31, representa el nivel que se encuentra el río y la velocidad del caudal respectivamente en la parte media de la microcuenca, a medida que la cota es mayor la velocidad del caudal aumenta teniendo en cuenta que a 2760 m.s.n.m. la velocidad es de 0,19 m/s, a 2815 m.s.n.m. la velocidad es de 0,25m/s y finalmente a 2846 m.s.n.m. la velocidad es de 0,29 m/s en la parte media de la microcuenca del río Cutuchi.

**c. Punto Bajo**

**• Primer Punto**

**Caudal en Q3 = 0,95 m<sup>3</sup>/s**

**Punto en Q3 = 2740 m.s.n.m.**

**Área en Q3 = 6,02 m<sup>2</sup>**

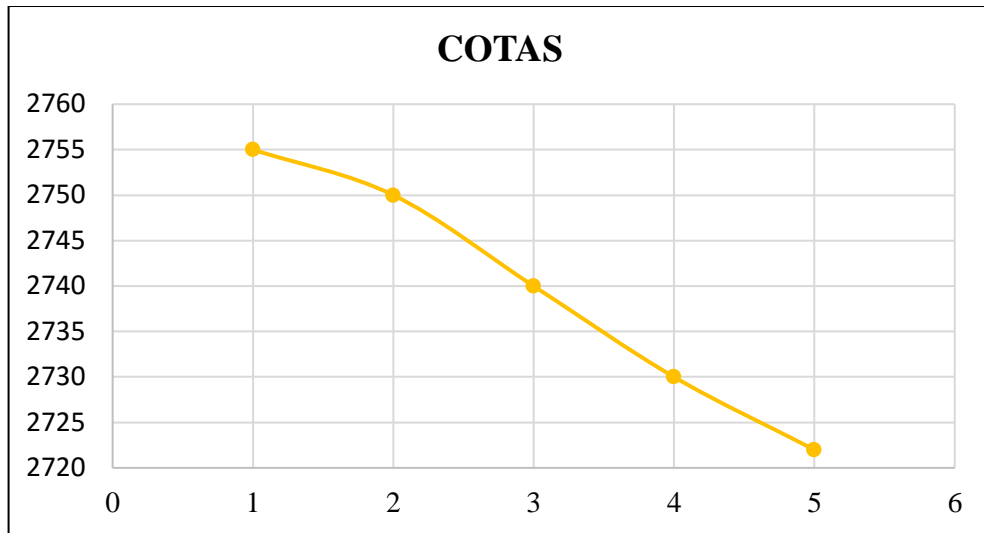
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q_2 = A_H \times v$$

$$V_2 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{0,95 \text{ m}^3/\text{s}}{6,02 \text{ m}^2} = 0.16 \text{ m/s}$$

**Figura 32**

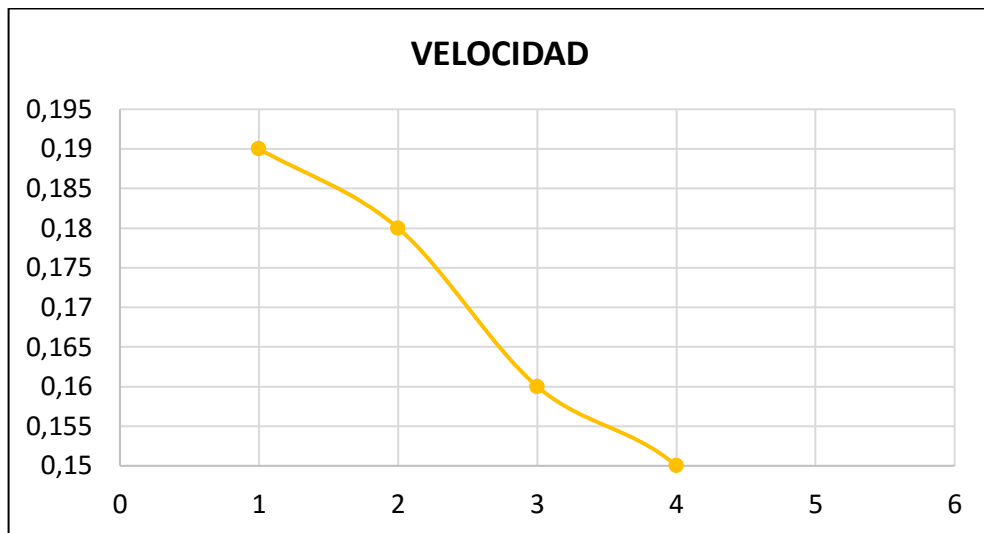
*Cotas del Primer Punto de la Parte Baja de la Microcuenca*



Se puede observar en la figura 32, representa el nivel del río en la parte baja de la microcuenca, la cota máxima en el primer punto de la baja media de la microcuenca es de 2755 m.s.n.m. mientras que la media es 2740 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2722 m.s.n.m.

**Figura 33**

*Velocidad del Caudal del Primer Punto de la Parte Baja de la Microcuenca*



La figura 33, representa la velocidad del caudal en la parte baja de la microcuenca, la velocidad máxima del caudal del primer punto de la parte baja es de 0.19 m/s y la velocidad mínima es de 0,15 m/s.

- **Segundo Punto**

**Caudal en Q3** =  $0,64 \text{ m}^3/\text{s}$

**Punto en Q3** = 2718 m.s.n.m.

**Área en Q3** =  $6,02 \text{ m}^2$

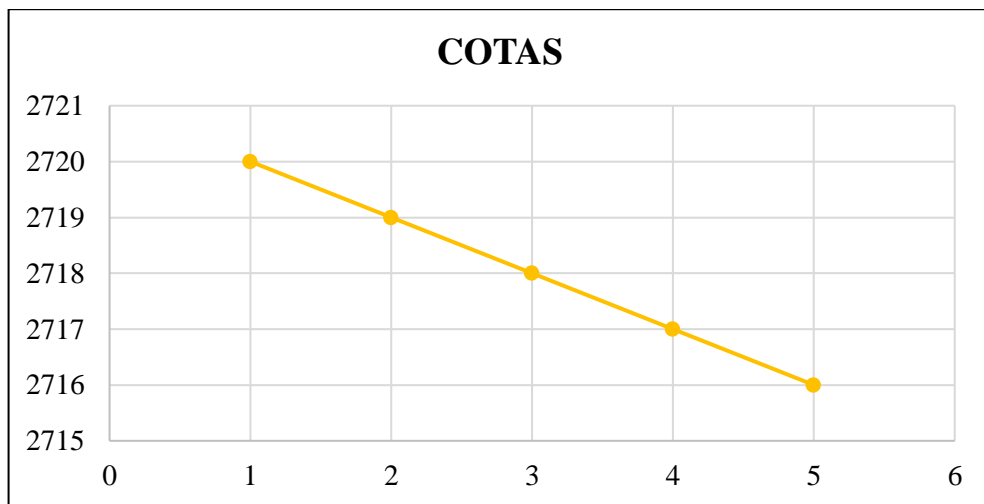
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q_2 = A_H \times v$$

$$V_2 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{0,72 \text{ m}^3/\text{s}}{6,02 \text{ m}^2} = 0.12 \text{ m/s}$$

**Figura 34**

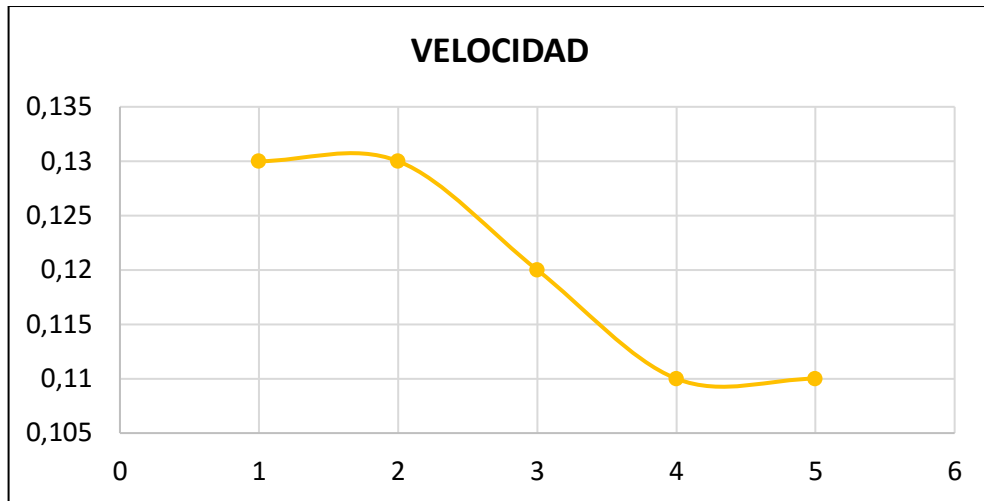
*Cotas del Segundo Punto de la Parte Baja de la Microcuenca*



Se puede observar en la figura 34, la altitud a la que se encuentra el río en el segundo punto es de 2720 m.s.n.m. mientras que la media es 2718 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2716 m.s.n.m.

**Figura 35**

**Velocidad del Caudal del Segundo Punto de la Parte Baja de la Microcuenca**



En la figura 35, representa la velocidad del caudal del río de la microcuenca, la velocidad máxima del caudal del segundo punto de la parte baja es de 0,13 m/s y la velocidad mínima es de 0,11 m/s.

- **Tercer Punto**

**Caudal en Q3 = 0,58 m<sup>3</sup>/s**

**Punto en Q3 = 2700 m.s.n.m.**

**Área en Q3 = 6,02 m<sup>2</sup>**

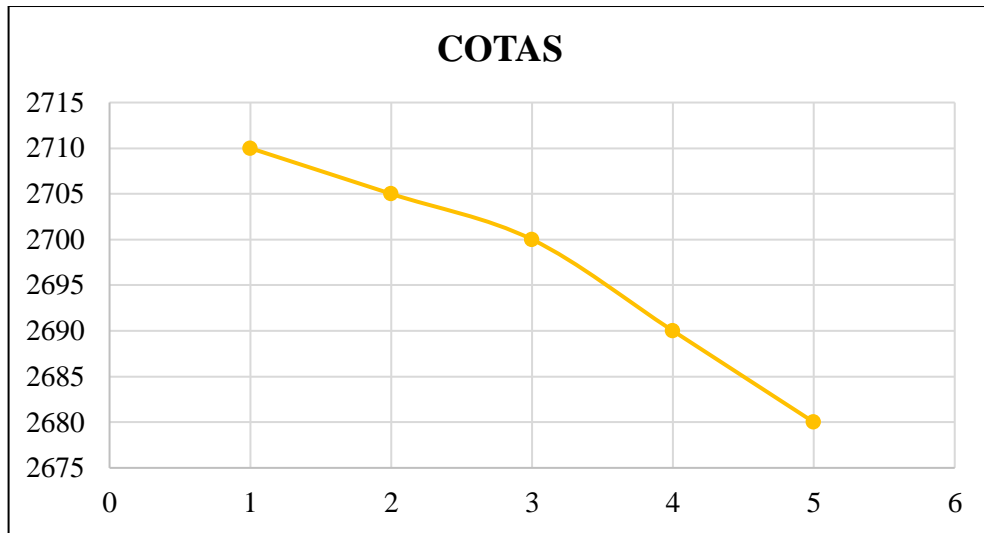
Despejando la fórmula para encontrar la velocidad:

$$Q_2 = A_H \times v$$

$$V_2 = \frac{Q_{max}}{A_H} = \frac{0,58 \text{ m}^3/\text{s}}{6,02 \text{ m}^2} = 0,09 \text{ m/s}$$

**Figura 36**

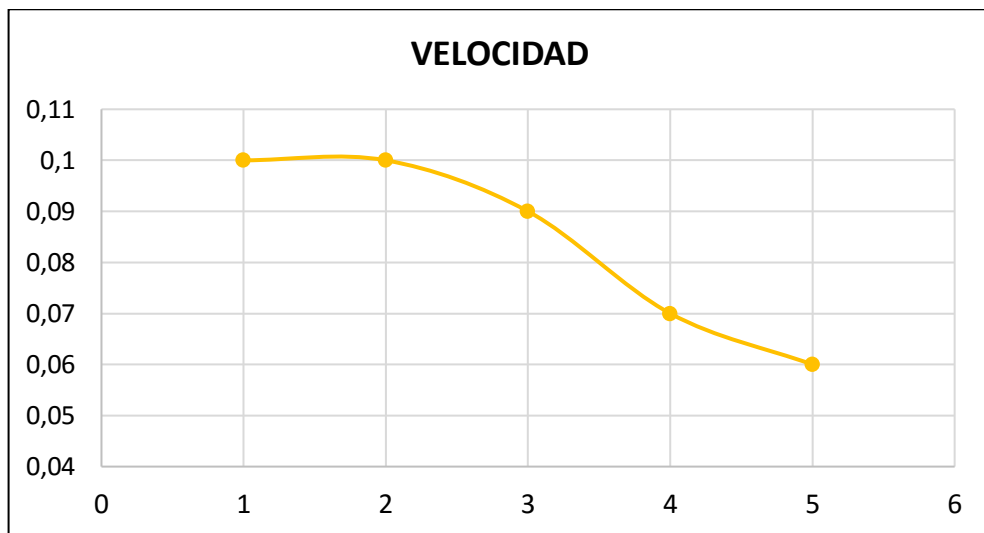
*Cotas del Tercer Punto de la Parte Baja de la Microcuenca*



Se puede observar en la figura 36, la altitud del tercer punto de muestreo, la cota máxima es de 2710 m.s.n.m. mientras que la media es 2700 m.s.n.m. y la cota mínima es de 2680 m.s.n.m.

**Figura 37**

*Velocidad del Caudal del Tercer Punto de la Parte Media de la Microcuenca*

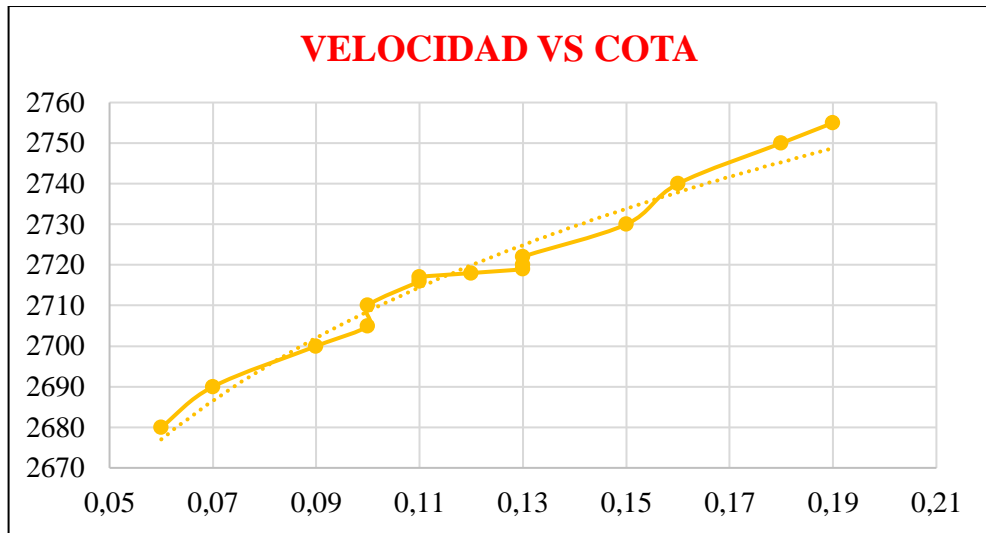


En la figura 37, se observa la velocidad del caudal del río del tercer punto de muestreo de la parte baja, la velocidad máxima del tercer punto es de 0,1 m/s y la velocidad mínima es de 0,06 m/s.



**Figura 38**

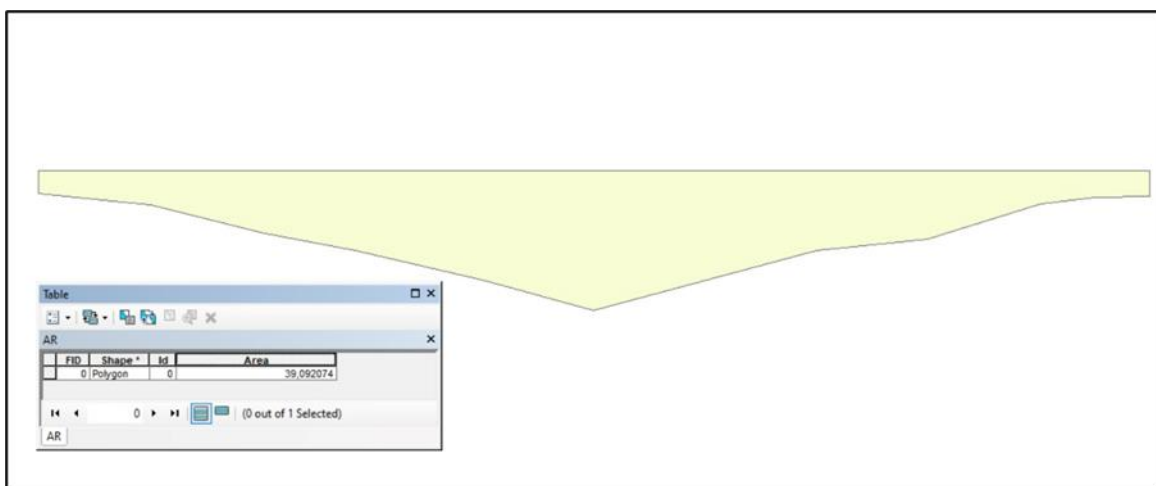
*Velocidad y Cotas de la Parte Baja de la Microcuenca*



En la siguiente figura 38, representa el nivel que se encuentra el rio y la velocidad del caudal respectivamente en la parte baja de la microcuenca a medida que la cota es mayor la velocidad del caudal aumenta teniendo en cuenta que a 2680 m.s.n.m. la velocidad es de 0,06 m/s, a 2718 m.s.n.m. la velocidad es de 0,12 m/s y finalmente a 2755 m.s.n.m. la velocidad es de 0,19 m/s en la parte baja de la microcuenca del rio Cutuchi.

**Figura 9**

*Área de Protección Hídrica*



En la gráfica se observa que el área de protección total es de 20 m a cada lado para evitar una crecida del caudal y posibles inundaciones que pueden provocar la pérdida de ecosistemas.

## **4.2 Propuesta de Implementación**

### **4.2.1 Introducción**

El desarrollo de la investigación actual tiene como objetivo crear un modelo de propuesta para las áreas de protección a las riberas del río, para reducir el nivel de contaminación generado por las diferentes actividades que realiza la población provocando la contaminación de la zona de estudio. Es necesario utilizar tecnologías avanzadas conjuntamente con la administración pública y la ciudadanía en temas de educación ambiental. Mediante los distintos puntos monitoreados se propone áreas prioritarias para proteger la biodiversidad y las riberas de la microcuenca del río Cutuchi.

### **4.2.2 Objetivo**

El principal objetivo de la propuesta es tratar de hacer un uso pleno e integrado de los recursos naturales a través de las energías renovables y las capacidades técnicas y sociales. Para ello, se utilizarán microcuencas hidrológicas como unidades de desarrollo geoeconómico y de control y restauración de áreas críticas o degradadas. Por tanto, el desarrollo de la producción agropecuaria y la protección y manejo integral de los recursos naturales renovables son necesarios para restaurar, proteger y mejorar su capacidad productiva en beneficio de los agricultores y mejorar la calidad de vida de la población.

### **4.2.3 Modelo de la Propuesta**

Dados los resultados generados anteriormente y los mapas respectivamente, de acuerdo la línea de investigación se ha sugerido las siguientes propuestas las cuales definen prioridades, responsabilidades y medidas de prevención, seguimiento y control de las condiciones o problemas de contaminación que se generan.

#### **4.2.4 Alcance**

El alcance geográfico de este modelo de propuestas va diseñado especialmente para la zona Urbana y Rural que se encuentra alrededor de la microcuenca del río Cutuchi en el cantón Latacunga.

#### **4.2.5 Estrategias o Propuestas**

Con la finalidad de alcanzar el objetivo se propone las siguientes estrategias que permiten orientar a la implementación de las mismas:

- a) El reordenamiento del uso de los recursos naturales renovables determinando alternativas de uso y manejo.
- b) La zonificación ecológica u ordenamiento físico ambiental, a fin de tener mejores elementos para programar la explotación de los recursos.
- c) La búsqueda del mejoramiento de las características físicas y capacidad productiva del suelo.
- d) Planes detallados y proyectos de conservación, manejo, control y rehabilitación de áreas degradadas.
- e) El proceso erosivo en zonas fuertemente degradadas, así como en tierras agropecuarias, mediante la forestación con especies autóctonas de rápido crecimiento.
- f) Uso en forma muy selectiva las tecnologías mecánicas, evitando el uso indiscriminado del tractor; de la misma forma, se evitará el uso de implementos no compatibles con las características físicas de los suelos.
- g) No contaminar el del medio ambiente.
- h) Se debe realizar programas de educación y concientización de la población urbana y rural.

**Tabla 9****Modelo de Control**

<b>N.º</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
<b>1</b>	Localización de los recursos naturales	Se deberá gestionar una planificación donde se dé prioridad a los recursos naturales que se encuentren.	Departamento Ambiental para el control de la contaminación.
<b>2</b>	Uso de fertilizantes químicos	Reducir el uso de fertilizantes agrícolas y utilizar abonos orgánicos para minimizar la contaminación	Departamento Ambiental para el control de la contaminación.
<b>3</b>	Conservación del suelo	Desarrollar métodos de conservación para evitar el desgaste de la cobertura vegetal	Departamento Ambiental para el control de la contaminación.
<b>4</b>	Clasificación de residuos	Desarrollar programas conjuntos para la clasificación de residuos generados por la población con la finalidad de evitar la contaminación	Departamento Ambiental para el control de la contaminación.
<b>5</b>	Campaña de sensibilización ambiental	Se deberá dictar charlas y seminarios, afiches en donde se abarque toda la problemática de la contaminación a la microcuenca, en este punto se deberá realizar un análisis general con la finalidad de identificar posibles efectos relacionados con la contaminación a la microcuenca del río Cutuchi	Departamento Ambiental para el control de la contaminación.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Para determinar el caudal instantáneo máximo final, se utilizó los registros de la estación M004 Rumipamba desde el año 2006 hasta el 2015. El período máximo de retorno se calculó en 140 años, los datos se predijeron utilizando la distribución de probabilidad de Gumbel y se obtuvo un caudal máximo de diseño de 64,65 m<sup>3</sup>/s utilizando la fórmula general de Ven Te Chow. Mientras que para un periodo de retorno de 2 años el caudal será de 27,11 m<sup>3</sup>/s y finalmente para un periodo de retorno de 75 años será de 59,49 m<sup>3</sup>/s.
- Mediante los datos obtenido se realizó el trazo del perfil transversal con ello se determinó que el área de protección será de 50m a cada lado del río, se determinó que puede existir una inundación a lo largo del río la cual podría afectar principalmente a los cultivos que existen y a las diferentes industrias, existen pocos tramos los cuales no serán afectados.
- Se concluyó que, en ausencia de legislación específica que establezca normas para el manejo y protección de las cuencas hidrológicas, la amplitud de la legislación ecuatoriana existente permite que las acciones que se emprendan dentro del plan de conservación son un sustento legal para realizar las actividades planificadas en la cuenca del río Cutuchi
- Con la presente investigación, se realizó una propuesta de implementación donde se plantea estrategias con la finalidad que se ejecuten en la gestión de la microcuenca del río Cutuchi para alcanzar el desarrollo sostenible de la misma.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores desarrollar temas relacionadas con protección ambiental se considera razonable analizar las principales fuentes bibliográficas disponibles las cuales permitirán dar un mayor enfoque para la administración eficiente y eficaz de las microcuencas que estas influenciadas por las actividades antrópicas desarrolladas por el ser humano. Desarrollar un estudio que bajo la elaboración de planes ambientales ayudaran a mantener la sostenibilidad ambiental en la microcuenca del río Cutuchi el cual será aprovechado por la misma población.
- Se recomienda a las entidades pertinentes prioricen obras de protección a lo largo del río principalmente en los 3 puntos de muestreo con la finalidad de mantener encauzado el río en caso de una crecida extraordinaria, a partir de esta información se puedan adoptar medidas para mitigar, corregir y controlar la degradación del entorno natural.
- Se recomienda a las autoridades de las zonas rurales y urbanas que se encuentran alrededor de la microcuenca del río Cutuchi tener un manejo adecuad, para ello se deberá utilizar la información sobre el uso recomendable de los suelos y las áreas identificadas en la planificación de la conservación de la microcuenca, debido a que existe un gran desgaste del suelo por pérdida de la cobertura vegetal y a su vez la contaminación del río que se da por las aguas residuales que son vertidas por las diferentes industrias que se encuentran alrededor del río Cutuchi estos problemas contribuyen a la degradación de los recursos naturales.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Barrera, D. F. (2012). *El perímetro de una cuenca hídrica: su tratamiento objetivo en la definición de índices geomorfológicos*. 18, 13.
- Castro Heredia, L. M., Carbajal Escobar, Y., & Molsalve Durango, E. A. (2006). *ENFOQUES TEÓRICOS PARA DEFINIR EL CAUDAL AMBIENTAL*. <https://www.redalyc.org/pdf/477/47710203.pdf>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Cotler, H., Galindo, Iberto, & Gónzales, I. (2013). *Cuencas Hidrográficas*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>
- Díaz Delgado, C. (2015). *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT*. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401504.pdf>
- Carrera Burneo, N. P. (2016). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS*. <https://docplayer.es/85990433-Pontificia-universidad-catolica-del-ecuador-facultad-de-ciencias-exactas-y-naturales-escuela-de-ciencias-biologicas.html>
- Copalita Zimatán, C., & Ybarra, G. (2010). *Salud al ambiente, agua para la gente*. 4.
- Eguía Lis, P. E., Gómez Balandra, A., & Saldaña Fabela, P. (2007). *Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México*. [https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones\\_conagua/Archivos%20de%20la%20SEMARNAT/Investiga](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/Archivos%20de%20la%20SEMARNAT/Investiga)

cion%20y%20tecnologia%20del%20Agua-  
PENDIENTET/Requerimientos%20para%20implementar%202007.pdf

Diez Hernández, J. M., & Burbano, L. (2018). *Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas*.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092006000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000100008)

Izquierdo Santacruz, M. L., & Madroñero Palacios, S. M. (2013). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(2), 77.  
<https://doi.org/10.18359/rcin.224>

Martínez, F., & Fernández, D. (2018). *EL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS*.  
<https://www.senado.es/web/expedientappendixblobservelet?legis=10&id1=23672&id2=1>

Muñoz Guayanay, J. F., & González, Ing. R. (2015). Estudio hidrológico correspondiente a las microcuencas del río Malacatos y las quebradas Amanda, Mónica y santa URCU para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja.

Ordoñez, I. M. (2013). AUTOR: AMBULUDI PACHECO FABIAN APARICIO. 99.

Poff, N., & Zimmerman, J. (2010). Ecological Responses to Altered Flow Regimes: A Literature Review to Inform the Science and Management of Environmental Flows. *Freshwater Biology*, 55, 194-205.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>

Stella, J. M., Anagnostou, E. N., & University of Connecticut, Storrs, USA. (2018). Modeling the flood response for a sub-tropical urban basin in south Florida. *Tecnología y ciencias del agua*, 09(3), 128-141. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2018-03-05>



- Tovilla, C. (2016). Servicios ecosistémicos de una cuenca. 5.
- Valdiviezo, R., Hernández, R., & Romero, A. (2010). *CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA DE LA CUENCA*.  
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20338/Capitulo6.pdf>
- Fantassi, T., Torres, H., & Ybarra, C. (2020). *Estaciones meteorológicas*.  
<https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- IDEAM. (2017). *AGUAS SUPERFICIALES - IDEAM*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-superficiales>
- King, J., & Brown, K. (2003). *A Scenario-Based Holistic Approach to Environmental Flow Assessments for Rivers*.  
[https://www.researchgate.net/publication/227614962\\_A\\_Scenario-Based\\_Holistic\\_Approach\\_to\\_Environmental\\_Flow\\_Assessments\\_for\\_Rivers](https://www.researchgate.net/publication/227614962_A_Scenario-Based_Holistic_Approach_to_Environmental_Flow_Assessments_for_Rivers)
- Legarda, L., & Viveros. (1996). *LA IMPORTANCIA DE LA HIDROLOGIA EN EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS | Revista de Ciencias Agrícolas*. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1163>
- Ordoñez, J. (2011). *QUE ES CUENCA HIDROLOGICA*. yumpu.com.  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/63069920/que-es-cuenca-hidrologica>
- Ordoñez, J. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA?* Perú.
- Pérez, A., & Ramírez, F. (2018). *Subsistemas del agua*.  
[https://aquabook.irrigacion.gov.ar/1019\\_0](https://aquabook.irrigacion.gov.ar/1019_0)

## 7 ANEXOS

### Anexo 1

#### *Coefficiente Gumbel*

N	yn	an	N	yn	an	N	yn	an
1	0.36651	0	35	0.54034	1.12847	69	0.55453	0.1844
2	0.40434	0.49838	36	0.54105	1.13126	70	0.55477	1.18535
3	0.42859	0.64348	37	0.54174	1.13394	71	0.555	1.18629
4	0.4458	0.73147	38	0.54239	1.13394	72	0.55523	1.1872
5	0.45879	0.79278	39	0.54302	1.1365	73	0.55546	1.18809
6	0.46903	0.83877	40	0.54362	1.13896	74	0.55567	1.18896
7	0.47735	0.87493	41	0.5442	1.14358	75	0.55589	1.18982
8	0.48428	0.90432	42	0.54475	1.14576	76	0.5561	1.19065
9	0.49015	0.92882	43	0.54529	1.14787	77	0.5563	1.19147
10	0.49521	0.94963	44	0.5458	1.14989	78	0.5565	1.19227
11	0.49961	0.96758	45	0.5463	1.15184	79	0.55669	1.19306
12	0.5035	0.98327	46	0.54678	1.15555	80	0.55689	1.19382
13	0.50695	0.99713	47	0.54724	1.15731	81	0.55707	1.19458
14	0.51004	1.00948	48	0.54769	1.15901	82	0.55726	1.19531
15	0.51284	1.02057	49	0.54812	1.16066	83	0.55744	1.19604
16	0.51537	1.0306	50	0.54854	1.16226	84	0.55761	1.19675
17	0.51768	1.03973	51	0.54895	1.1638	85	0.55779	1.19744
18	0.5198	1.04808	52	0.54934	1.1653	86	0.55796	1.19813
19	0.52175	1.05575	53	0.54972	1.16676	87	0.55812	1.1988
20	0.52355	1.06282	54	0.55009	1.16817	88	0.55828	1.19945
21	0.52522	1.06938	55	0.55044	1.16817	89	0.55844	1.2001
22	0.52678	1.07547	56	0.55079	1.16955	90	0.5586	1.20073
23	0.52823	1.08115	57	0.55113	1.17088	91	0.55876	1.20135
24	0.52959	1.08646	58	0.55146	1.17218	92	0.55891	1.20196
25	0.53086	1.09145	59	0.55177	1.17344	93	0.55905	1.20256
26	0.53206	1.09613	60	0.55208	1.17467	94	0.5592	1.20315
27	0.53319	1.10054	61	0.55238	1.17586	95	0.55934	1.20373
28	0.53426	1.1047	62	0.55268	1.17702	96	0.55948	1.2043
29	0.53527	1.10864	63	0.55296	1.17816	97	0.55962	1.20486
30	0.53622	1.11237	64	0.55324	1.17926	98	0.55976	1.20541
31	0.53713	1.11592	65	0.55351	1.18034	99	0.55989	1.20596
32	0.53799	1.11929	66	0.55378	1.18139	100	0.56002	1.20649
33	0.53881	1.12249	67	0.55403	1.18242	101	0.56015	1.20701
34	0.53959	1.12555	68	0.55429	1.18342			

N	yn	an	N	yn	an	N	yn	an
1	0.36651	0	35	0.54034	1.12847	69	0.55453	0.1844
2	0.40434	0.49838	36	0.54105	1.13126	70	0.55477	1.18535
3	0.42859	0.64348	37	0.54174	1.13394	71	0.555	1.18629
4	0.4458	0.73147	38	0.54239	1.13394	72	0.55523	1.1872
5	0.45879	0.79278	39	0.54302	1.1365	73	0.55546	1.18809
6	0.46903	0.83877	40	0.54362	1.13896	74	0.55567	1.18896
7	0.47735	0.87493	41	0.5442	1.14358	75	0.55589	1.18982
8	0.48428	0.90432	42	0.54475	1.14576	76	0.5561	1.19065
9	0.49015	0.92882	43	0.54529	1.14787	77	0.5563	1.19147
10	0.49521	0.94963	44	0.5458	1.14989	78	0.5565	1.19227
11	0.49961	0.96758	45	0.5463	1.15184	79	0.55669	1.19306
12	0.5035	0.98327	46	0.54678	1.15555	80	0.55689	1.19382
13	0.50695	0.99713	47	0.54724	1.15731	81	0.55707	1.19458
14	0.51004	1.00948	48	0.54769	1.15901	82	0.55726	1.19531
15	0.51284	1.02057	49	0.54812	1.16066	83	0.55744	1.19604
16	0.51537	1.0306	50	0.54854	1.16226	84	0.55761	1.19675
17	0.51768	1.03973	51	0.54895	1.1638	85	0.55779	1.19744
18	0.5198	1.04808	52	0.54934	1.1653	86	0.55796	1.19813
19	0.52175	1.05575	53	0.54972	1.16676	87	0.55812	1.1988
20	0.52355	1.06282	54	0.55009	1.16817	88	0.55828	1.19945
21	0.52522	1.06938	55	0.55044	1.16817	89	0.55844	1.2001
22	0.52678	1.07547	56	0.55079	1.16955	90	0.5586	1.20073
23	0.52823	1.08115	57	0.55113	1.17088	91	0.55876	1.20135
24	0.52959	1.08646	58	0.55146	1.17218	92	0.55891	1.20196
25	0.53086	1.09145	59	0.55177	1.17344	93	0.55905	1.20256
26	0.53206	1.09613	60	0.55208	1.17467	94	0.5592	1.20315
27	0.53319	1.10054	61	0.55238	1.17586	95	0.55934	1.20373
28	0.53426	1.1047	62	0.55268	1.17702	96	0.55948	1.2043
29	0.53527	1.10864	63	0.55296	1.17816	97	0.55962	1.20486
30	0.53622	1.11237	64	0.55324	1.17926	98	0.55976	1.20541
31	0.53713	1.11592	65	0.55351	1.18034	99	0.55989	1.20596
32	0.53799	1.11929	66	0.55378	1.18139	100	0.56002	1.20649
33	0.53881	1.12249	67	0.55403	1.18242	101	0.56015	1.20701
34	0.53959	1.12555	68	0.55429	1.18342			