



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS Y DEGRADACIÓN DE LA
SUBCUENCA MEDIA DEL RIO PUYO.”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: FEDERICO LEONARDO TSAMARAINT TIMIAS

DIRECTOR: MSC. ING. MARCO MASABANDA

Puyo – Ecuador

Diciembre de 2012

PRESENTACIÓN DEL TEMA

**“MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS Y DEGRADACIÓN DE LA
SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO PUYO.”**

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

MSc. Edison Segura

MSc. Oscar Navarrete

MSc. Angélica Tasambay

AGRADECIMIENTO

A esa fuerza divina que me permite ver la luz cada día y por permitirme disfrutar lo hermoso de la naturaleza y la vida.

A toda mi familia a pesar de la distancia, en especial a la mujer que me brindó todo su apoyo incondicional en los triunfos y en las derrotas, por haberme permitido realizar mis estudios y estar junto a mí en todo momento, por apoyarme e impulsarme a seguir siempre adelante para cumplir con mis objetivos, creo no haber defraudado la confianza depositada en mí. Gracias Solania.

Agradezco a la Universidad Estatal Amazónica, en especial a la Escuela de Ingeniería Ambiental y sus autoridades, por haberme acogido en sus aulas y permitirme adquirir los conocimientos técnicos, científicos y humanos, que los pondré en práctica en el campo profesional y el diario vivir.

A mis profesores y compañeros que en el transcurso del tiempo se convirtieron en verdaderos amigos y me permitieron compartir experiencias y conocimientos dentro y fuera de las aulas.

A mis hijas Yanua y Nantar por haber soportado inmerecidamente la falta de recursos económicos en el período que duró mis estudios.

Y por último agradezco a todas esas personas que de una u otra manera estuvieron brindándome su apoyo y sus consejos en todo momento.

Federico Tsamaraint

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico especialmente a mis padres, Ernesto Tsamaraint y Evangelina Timias, quienes a pesar de las adversidades supieron guiarme moral y espiritual para ser un hombre de bien, por ese cariño y entero sacrificio, por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia nos lleva a cumplir objetivos.

A mi esposa Solania como muestra de cumplir con un objetivo más en la vida.

A mis hijas Nantar y Yanua como ejemplo de superación que ellas sabrán llevarlo.

A mis queridos hermanos Teresa, Rebeca, Camilo, Bonifacio, Evangelina, Hermenegildo y Mauricio, una promesa cumplida.

Federico Tsamaraint.

RESPONSABLE

Yo, Federico Leonardo Tsamaraint Timias, declaro que los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación, así como también los contenidos, cuadros, anexos, diseño y la propuesta expuesta son de exclusiva responsabilidad del autor, y no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, excepto donde se ha hecho reconocimiento debido en el texto.

La Universidad Estatal Amazónica puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Federico Leonardo Tsamaraint Timias

C.I. 140039297-1

Egresado de Ing. Ambiental

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Federico Leonardo Tsamaraint Timias, egresado de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica, bajo mi supervisión.

MSc. Marco Masabanda
DIRECTOR DE TESIS

ÍNDICE DE APÉNDICE

PRESENTACIÓN DEL TEMA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESPONSABLE	v
CERTIFICACIÓN.....	vi
ÍNDICE DE APÉNDICE	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	2
1.2. Objetivo General.....	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.5. Hipótesis Específicas.....	2
1.6 Variables	3
1.6.1 Variable independiente	3
1.6.2 Variables dependientes	3
CAPÍTULO II.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. MARCO LEGAL.....	4
2.1.1. Constitución de la República del Ecuador	4
2.1.2. Ley de aguas	6
2.1.3. Texto unificado de legislación ambiental.....	7
2.1.4. Legislación ambiental	7
2.1.5. Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización.....	8
2.2. MARCO TEORICO	11
2.2.1. El agua.....	11
2.2.2. Propiedades físicas y químicas del agua.....	12
2.2.3. Conceptos de hidrología	14
2.2.4. Importancia y aplicación de la hidrología	15

2.2.5. División teórica de la hidrología.....	15
2.2.6. El ciclo hidrológico	16
2.2.7. Formas de agua en el suelo.....	17
2.2.7.1. Agua de constitución.....	17
2.2.7.2. Agua gravitacional	17
2.2.7.3. Agua de condensación.....	18
2.3. Geomorfología de la cuenca	19
2.3.1. La cuenca hidrográfica	19
2.3.2. Subcuenca hidrográfica.....	19
2.3.3. Características de una cuenca hidrográfica.....	20
2.3.4. Elementos de una cuenca.....	23
2.3.4.1. Divisoria de aguas	23
2.3.4.2. El río principal	23
2.3.4.3. Curso de un río	23
2.3.4.4. Longitud del río	24
2.3.4.5. Pendiente media del cause	24
2.3.5. Partes de una cuenca	25
2.3.6. Tipos de cuenca	25
2.3.7. División de las cuencas por su tamaño	26
2.4. Red de drenaje	26
2.4.1. Clasificación de los ríos.....	26
2.4.2. Parámetros para caracterizar el sistema de drenaje de una cuenca.....	28
2.4.3. Características hidrográficas más importantes de un río	29
3. Materiales y métodos.....	34
3.1. Localización y duración de la investigación	34
3.1.1. Condiciones meteorológicas.....	35
3.2. Materiales y equipos	35
3.3. Factores de estudio.....	36
3.3.1. Características hidrológicas	36
3.3.2. Caudal	36
3.3.3. Área de una cuenca	39
3.3.4. Subcuenca hidrográfica.....	39
3.4. Diseño y manejo de la investigación.....	44
3.4.1. Recopilación de la información	44

3.4.3. Análisis estadístico	49
3.4.4. Variables o indicadores.....	49
CAPÍTULO IV	51
4. Análisis y discusión de resultados.....	51
4.1. Cálculo de áreas	51
4.1.1. Área de la subcuenca media.....	51
4.1.2. Longitud de la subcuenca media del río Puyo.....	52
4.1.3. Perímetro de la subcuenca media del río Puyo.....	52
4.1.4. Forma de la subcuenca media del río Puyo	52
4.1.5. Relación de circularidad (Rci)	53
4.1.6. Relación de elongación (Re).....	53
4.1.7. Pendiente media del cauce principal.....	54
4.1.8. Pendiente media de la subcuenca media del río Puyo	54
4.1.9. Red de drenaje	55
4.1.9.1. Clasificación del río principal.....	55
4.1.10. Medición de caudales en cada sección.....	57
4.1.11. Principales afluentes donde se midieron los caudales	58
4.1.12. Caudal promedio medido en las diferentes secciones del río Puyo	59
4.2. Área y perímetro mojado promedio de las secciones donde se realizaron las mediciones	60
4.2.1. Fátima alto.....	60
4.2.2. Fátima bajo.....	61
4.2.3. Gasolinera las américas	63
4.2.4. Sector puente de las américas.....	64
4.2.5. Sector puente Km 2 ^{1/2}	65
4.2.6. Sector del paseo turístico.....	66
4.2.7. Sector del puente el obrero.....	67
4.2.8. Sector la isla	69
4.2.9. El estadio.....	70
4.2.10. Sector chilcayacu.....	71
4.2.11. Puente el paico	73
4.2.12. Los ángeles	74
4.2.13. Sector sandalias	75
4.2.14. Unión base alto.....	77

4.2.15. Unión base bajo	78
4.3. Principales afluentes donde se realizó el cálculo de variables hidrológicas	
79	
4.3.1. El pantano	79
4.3.2. Churoyacu	80
4.3.3. Pambay	81
4.3.4. Citayacu.....	82
4.3.5. Chilcayacu	84
4.3.6. Jatunyacu	85
4.3.7. Río sandalias	86
4.4. Datos de precipitación mensual de los años 1974 – 2012	88
4.5. Cálculo de velocidades.....	89
4.6. Balance hídrico de la subcuenca media del río Puyo	92
4.7. Cálculo de balance hídrico: 16 de mayo de 2012	93
4.8. Cálculo de balance hídrico: 18 de mayo de 2012	95
4.9. Cálculo de balance hídrico: 23 de mayo de 2012	98
4.10. Cálculo de balance hídrico: 08 de junio de 2012	100
4.11. Cálculo de caudal máximo del río utilizando el método racional modificado.....	103
CAPITULO V	106
5. CONCLUSIONES.....	106
6. RECOMENDACIONES.....	107
8. ANEXOS	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Gráfico 1: Diseño para las mediciones de variables hidrológicas	48
Gráfico 2: Diseño de medición de pendiente en una sección	49
Gráfico 3: Pendiente media del cauce principal	54
Gráfico 4: Forma de la cuenca con relación a su altitud.....	58
Gráfico 5: Variación de caudal en las secciones	59
Gráfico 6: Fátima alto entrada.....	60
Gráfico 7: Fátima alto salida.....	61
Gráfico 8: Entrada Fátima bajo	62
Gráfico 9: Salida fátima bajo	62
Gráfico 10: Entrada sección las américas.....	63

Gráfico 11: Salida sección gasolinera las américas	63
Gráfico 12: Entrada a la sección puente las américas.....	64
Gráfico 13: Salida de la sección puente las américas.....	64
Gráfico 14: Entrada sección puente 2 ½	65
Gráfico 15: Salida sección puente Km 2 1/2.....	66
Gráfico 16: Entrada sección paseo turístico	67
Gráfico 17: Salida sección paseo turístico	67
Gráfico 18: Entrada sección puente el obrero	68
Gráfico 19: Salida sección puente el obrero	68
Gráfico 20: Entrada sección la isla	69
Gráfico 21: Salida sección la isla.....	70
Gráfico 22: Entrada sección del estadio.....	70
Gráfico 23: Salida sección del estadio.....	71
Gráfico 24: Entrada sección Chilcayacu.....	72
Gráfico 25: Salida sección Chilcayacu.....	72
Gráfico 26: Entrada sección puente el paico	73
Gráfico 27: Salida sección puente el paico	73
Gráfico 28: Entrada sección los ángeles	74
Gráfico 29: Salida sección los ángeles.....	75
Gráfico 30: Entrada sección sandalias	76
Gráfico 31: Salida sección sandalias	76
Gráfico 32: Entrada sección unión base alto	77
Gráfico 33: Salida sección unión base alto	77
Gráfico 34: Entrada sección unión base bajo	78
Gráfico 35: Salida sección unión base bajo.....	79
Gráfico 36: Entrada sección el pantano.....	80
Gráfico 37: Salida sección el pantano	80
Gráfico 38: Entrada sección churuyacu.....	81
Gráfico 39: Salida sección churuyacu.....	81
Gráfico 40: Entrada sección río Pambay.....	82
Gráfico 41: Salida sección río Pambay.....	82
Gráfico 42: Entrada sección río Citayacu	83
Gráfico 43: Salida sección del río Citayacu	83
Gráfico 44: Entrada sección río chilcayacu.....	84
Gráfico 45: Salida sección río Chilcayacu	85
Gráfico 46: Entrada sección río Jatunyaku	85
Gráfico 47: Salida sección río Jatunyaku	86
Gráfico 48: Entrada sección río Sandalias	86
Gráfico 49: Salida sección río Sandalias.....	87
Gráfico 50: precipitación año 1974 -2012	89
Gráfico 51: Movimiento de corriente	90
Gráfico 52: movimiento de corriente en los afluentes	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: División de las cuencas	26
Tabla 2: Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos	33
Tabla 3: Coeficiente de escorrentía y periodo de retorno.....	38
Tabla 4: Determinación de Kc propuesta por Gravelius	53
Tabla 5: Precipitación años 1974 - 2012.....	88
Tabla 6: Velocidad promedio en las secciones	90
Tabla 7: Velocidad promedio en los afluentes.....	91
Tabla 8: datos climáticos de las fechas en que se realizaron los cálculos	92

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Datos Meteorológicos de la ciudad de Puyo	35
Cuadro 2: Datos meteorológicos de 10-junio-1990	38
Cuadro 3: Coordenadas de los puntos medidos.....	57
Cuadro 4: Coordenadas de los afluentes.....	58
Cuadro 5: Caudales promedios de las secciones medidos.....	59
Cuadro 6: Caudal promedio de los afluentes	60

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Subcuenca media del río Puyo.....	34
Mapa 2: Área de la subcuenca media del río Puyo	51
Mapa 3: Orden de corrientes.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Hoja de registro de datos en la medición de las secciones...109	
ANEXO 2. Fotos.....	110

ABREVIATURAS

COOTAD	Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización
d	Distancia medida en la carta en cm.
D	Distancia recta
Ds	Densidad de corriente
E	Denominador de la escala
GADMPz.	Gobierno Autónomo Municipal de Pastaza
GADPPz.	Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza.
IGM	Instituto Geográfico Militar
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
Kc	Coeficiente de compacidad
mc	pendiente media del cauce principal
n	Coeficiente de rugosidad
Q	Caudal
Qmax	Caudal máximo en la sección del cálculo
Rci	Relación de circularidad
Re	Relación de elongación
S	Pendiente de la línea de agua
Sc	Pendiente media con criterio de Alvord
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.
x	Distancia horizontal
ym	Profundidad media

RESUMEN

En el presente estudio se midieron las variables hidrológicas, para lo cual se tomó la subcuenca media del río Puyo, desde el sector del dique de Fátima hasta la comunidad de Unión Base, abarcando un área de 87 Km², una longitud del río principal de 15.845m. y pendiente media de 0,012 m., además se dividió esta zona en 15 secciones para la medición de caudal, variación de velocidad, área de la sección y profundidad de las secciones en 4 fechas distintas: 16, 18, 23 de mayo y 8 de junio de 2012. También se midieron a 7 afluentes principales realizando las mismas mediciones en las secciones tomadas 10m. antes de su desembocadura. Se tomó como mapa base la subcuenca hidrográfica del río Puyo, lo cual facilitó realizar la delimitación del área de estudio, la red de drenaje, orden de corrientes, pendiente media de la cuenca, altura en msnm de la entrada y salida de la subcuenca media.

Finalmente para el cálculo del balance hídrico y caudal máximo, se utilizó información de la estación meteorológica de la estación Puyo, ubicada en la parroquia Veracruz. Los resultados del balance hídrico para las fechas subsiguientes del 16 de mayo dan como resultado que existió más salidas que entradas de caudal en la subcuenca. Para el cálculo de caudal máximo con que aporta la subcuenca media del río Puyo, se tomó un periodo de retorno de 20 años dando como resultado $Q=38,19 \text{ m}^3/\text{s}$ de aporte con precipitación más alta.

Palabras claves: subcuenca media, área, caudal, precipitación, periodo de retorno, evaporación, evapotranspiración, infiltración, escorrentía, velocidad.

SUMMARY

In the present study measured the hydrological variables, for which it took the average of the subbasin Puyo river, from the sector of the dam of Fatima to the community of Union Base, covering an area of 87 km², a length of the main river of 15.845m and average gradient of 0.012 m., also this area is divided into 15 sections for the measurement of flow, speed variation, area of the section and depth of the sections in 4 different dates: 16, 18, may 23 and june 8 of 2012.

Also were measured at 7 main tributaries by performing the same measurements in sections taken 10m before his mouth. Was taken as the base map sub-basin of the rio Puyo, which has helped make the delimitation of the area of study, the drainage network, order of corrientes, average slope of the basin, height in meters above sea level of the input and output of the subbasin media.

Finally, for the calculation of the water balance and maximum flow, information was used in the meteorological station of the Puyo station, located in the parish Veracruz. The results of the water balance for the subsequent dates of May 16 result that existed more outputs that entries of flow in the basin. For the calculation of maximum flow with that brings the average river subbasin Puyo, took a return period of 20 years, and as a result $Q=38.19 \text{ m}^3/\text{s}$ of contribution with higher precipitation.

Keywords: half sub, area, flow, rainfall return period, evaporation, evapotranspiration, infiltration, runoff, speed.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmosfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre, constituyendo el ciclo hidrológico.

El cálculo de la cantidad total de agua en la Tierra y en los numerosos procesos del ciclo hidrológico ha sido tema de exploración científica desde la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo la información cuantitativa es escasa, particularmente en los océanos, lo cual significa que la cantidad de agua en varios componentes del ciclo hidrológico global todavía no se conoce en forma precisa.

La hidrología que cubre todas las fases del agua en la tierra, es una materia de gran importancia para el ser humano y su ambiente. Aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en labores tales como diseño y operación de estructuras hidráulicas, abastecimientos de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, navegación, erosión y control de sedimentos, control de salinidad, disminución de la contaminación, uso recreacional del agua y protección de la vida terrestre y acuática.¹

Las cuencas hidrográficas en mal estado causan muchos problemas al medio ambiente y a la población, tanto en cuenca alta, media y baja. Las consecuencias de este impacto se perciben en la erosión del suelo, los deslaves, la disminución de la cantidad y la calidad del agua, la pérdida de biodiversidad y graves desequilibrios ecológicos que en si se convierten en uno de los obstáculos para el desarrollo sostenible.

¹ Ven Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994.

1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.2. Objetivo General

Establecer un inventario de los recursos hídricos de la subcuenca media del río Puyo.

1.3. Objetivos Específicos

- Zonificar y delimitar la subcuenca media del río Puyo.
- Determinar el movimiento de corriente.
- Determinar e interrelacionar los parámetros físicos y las variables de la red hidrográfica principal de la subcuenca del río Puyo.
- Caracterizar la subcuenca del río Puyo, identificando sus principales afluentes y presencia humana.
- Estimar los caudales máximos y mínimos en los puntos de interés del río principal.

1.4. Hipótesis General

El inventario hidrológico de la subcuenca media del río Puyo en base a la evolución del régimen de flujo y las interrelaciones entre los parámetros físicos permitirá realizar un proceso de autodepuración del río y ofertar su agua.

1.5. Hipótesis Específicas

- La zonificación y delimitación de la subcuenca media del río Puyo facilitarán el levantamiento del inventario hidrológico.
- El régimen de flujos permitirá definir el tipo de flujo del cauce principal de la subcuenca media del río Puyo.
- La identificación de los afluentes y la presencia humana permitirá establecer el estado actual de la subcuenca media del río Puyo.

- La determinación de los parámetros físicos especialmente de la red hidrológica principal permitirá tomar medidas correctivas en el manejo futuro de la subcuenca media del río Puyo.
- La estimación de flujo de caudal máximos y mínimos nos brindará información del deterioro de la subcuenca media del río Puyo.

1.6 Variables

1.6.1 Variable independiente

La cuenca Hidrográfica

1.6.2 Variables dependientes

Variación de las características Hidrológicas (área, caudal, velocidad, movimiento de corriente, etc.)

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO LEGAL

Se establecen las normativas legales de la legislación ecuatoriana lo cual nos manda y permite cumplir, proteger y respetar a la naturaleza sobre todo en las actividades antrópicas que en este caso se desarrollen dentro de la subcuenca media del río Puyo, para sentar las bases de un desarrollo sostenible, asegurar un futuro armónico, promisorio y digno a las futuras generaciones.

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador

Publicada en el registro Oficial N° 449 del lunes 20 de Octubre de 2008, tenemos los siguientes artículos:

Capítulo Segundo

Derechos del Buen Vivir

Sección Primera

Agua y Alimentación

Art. 12.- El agua es un derecho humano irrenunciable, y constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Sección Segunda

Ambiente Sano

Art. 14.- Se 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*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Capítulo séptimo

Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pachamama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo, o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración integral. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado, y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos, material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado

2.1.2. Ley de aguas

Codificación 16, Registro Oficial 339 de 20 de Mayo del 2004

Título II

De la conservación y contaminación de las aguas

Capítulo I

De la conservación

Art. 20.- A fin de lograr las mejores disponibilidades de las aguas, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, prevendrá, en lo posible, la disminución de ellas, protegiendo y desarrollando las cuencas hidrográficas y efectuando los estudios de investigación correspondientes.

Las concesiones y planes de manejo de las fuentes y cuencas hídricas deben contemplar los aspectos culturales relacionados a ellas, de las poblaciones indígenas y locales.

Capítulo II

De la contaminación

Art. 22.- Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.

El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.

Se concede acción popular para denunciar los hechos que se relacionan con contaminación de agua. La denuncia se presentará en la Defensoría del Pueblo.

2.1.3. Texto unificado de legislación ambiental

Suplemento publicado en el Registro Oficial No. 2 del 31 de marzo de 2003.

Libro VI

Anexo I

Recurso agua

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

Tabla 9: criterios de calidad de aguas destinadas para fines recreativos.

2.1.4. Legislación ambiental

Codificación 2004-019

Título I

Ámbito y principios de la gestión ambiental

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de

participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 3.- El proceso de Gestión Ambiental, se orientará según los principios universales del Desarrollo Sustentable, contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de 1992, sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Art. 4.- Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda: desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos.

Art. 5.- Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales.

En el sistema participará la sociedad civil de conformidad con esta Ley.

Art. 6.- El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro" del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económico y de evaluación de impactos ambientales.

2.1.5. Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización

Publicado en el Suplemento del Registro Oficial N° 303 de martes 19 de octubre del 2010.

Artículo 11.- Ecosistema amazónico.- El territorio de las provincias amazónicas forma parte de un ecosistema necesario para el equilibrio

ambiental del planeta. Este territorio constituirá una circunscripción territorial especial regida por una ley especial conforme con una planificación integral participativa que incluirá aspectos sociales, educativos, económicos, ambientales y culturales, con un ordenamiento territorial que garantice la conservación y protección de sus ecosistemas y el principio del *sumak kawsay*.

En la propuesta de la ley especial amazónica deberán participar personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos urbanos y rurales. Se respetará la integralidad de los territorios de las comunidades, pueblos y nacionalidades amazónicas, los derechos colectivos y los instrumentos internacionales.

Artículo 12.- Biodiversidad amazónica.- Con la finalidad de precautelar la biodiversidad del territorio amazónico, el gobierno central y los gobiernos autónomos descentralizados, de manera concurrente, adoptarán políticas para el desarrollo sustentable y medidas de compensación para corregir las inequidades.

En el ámbito de su gestión ambiental, se aplicarán políticas de preservación, conservación y remediación, acordes con su diversidad ecológica.

Artículo 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- De acuerdo con lo dispuesto en la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de las competencias de este sector, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley.

Corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales gobernar, dirigir, ordenar, disponer, u organizar la gestión ambiental, la defensoría del ambiente y la naturaleza, en el ámbito de su territorio; estas acciones se realizarán en el marco del sistema nacional

descentralizado de gestión ambiental y en concordancia con las políticas emitidas por la autoridad ambiental nacional. Para el otorgamiento de licencias ambientales deberán acreditarse obligatoriamente como autoridad ambiental de aplicación responsable en su circunscripción.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.

Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; protección de las fuentes y cursos de agua; prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; y, educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza.

Estas actividades serán coordinadas con las políticas, programas y proyectos ambientales de todos los demás niveles de gobierno, sobre conservación y uso sustentable de los recursos naturales.

Los gobiernos autónomos descentralizados regionales y provinciales, en coordinación con los consejos de cuencas hidrográficas podrán establecer tasas vinculadas a la obtención de recursos destinados a la conservación de las cuencas hidrográficas y la gestión ambiental; cuyos recursos se utilizarán, con la participación de los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales y las comunidades rurales, para la conservación y recuperación de los ecosistemas donde se encuentran las fuentes y cursos de agua.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. El agua

El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor.²

El volumen total de agua existente en la naturaleza en los tres estados sólido, líquido y gaseoso, se estima entre 1.3 a 1.4 x 10¹⁸ m³ (trillones de metros cúbicos). El hidrólogo norteamericano (Raymond L. Nace, 1969), realizó importantes estudios sobre la distribución de las reservas de agua en la naturaleza.

El agua superficial para cuyo aprovechamiento se han destinado fabulosas cantidades de dinero y que constituye en la actualidad la principal fuente de aprovisionamiento de agua para la humanidad es, en cualquier momento, apenas 0.0091 % del volumen total del agua que existe en el mundo. Este porcentaje tan bajo y el aumento siempre creciente de las necesidades de este tipo de agua por el aumento continuo de la población de la tierra, conducen a la necesidad de un aprovechamiento técnico y adecuado de este recurso, precisamente a base de los conocimientos que la Hidrología nos proporciona.³

De los estudios de Nace, se desprende que aproximadamente el 97.208 % de los recursos hídricos del mundo están en los mares como agua salada y el 2.792 % corresponde a agua dulce, con la siguiente distribución general:

² Philip Ball A Biography of Water (1999).

³ Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, 1994

Hielo Perpetuo	75 %
Ríos y Lagos	11 %
Agua subterránea	10 %
Agua atmosférica	4 %
Total	100 %

Cabe resaltar también que el agua subterránea ubicada en los primeros 800 metros de la corteza terrestre alcanza aproximadamente a 4 millones de kilómetros cúbicos, que es un volumen equivalente al que todos los ríos de la tierra transportarían a los océanos durante 123 años seguidos. Posiblemente estas reservas hídricas subterráneas constituyen la solución para el abastecimiento, no muy lejano de la humanidad.

La distribución porcentual del agua en los tres estados en promedio es aproximadamente:

Sólido	2.1500 %
Líquido	97.8491 %
Gaseoso	0.0009 %
Total	100 %

La ocurrencia del agua en cualquier lugar y momento, así como los porcentajes de distribución en los varios estados físicos del agua, están regulados por dos tipos de factores básicos.⁴

2.2.2. Propiedades físicas y químicas del agua

a. Calor específico

El agua presenta un elevado calor específico igual a 1 Kcal/Kg/C, lo que implica que el agua en estado líquido de los océanos y lagos necesita absorber grandes cantidades de energía para sufrir pequeñas variaciones de temperatura. Esta propiedad tiene enorme trascendencia

⁴ Raymond L. Nace, El Agua y el Hombre, 1969

como la Tierra tiene calor específico bien menor que el agua, durante el día, por la acción de la energía solar, la tierra se calienta mucho más que el agua de los mares y de los lagos, produciéndose un gradiente de temperatura entre tierra y agua, que ocasiona el desplazamiento de las grandes masas de aire caliente de la tierra hacia las áreas oceánicas y viceversa, esto es, aire frío desde los océanos hacia la tierra, son las llamadas brisas de mar. Durante la noche ocurre precisamente lo contrario con las llamadas brisas de tierra.⁵

Este fenómeno impide en buena proporción, el calentamiento desmedido de la tierra durante el día y así mismo el enfriamiento exagerado durante la noche. De esta forma el alto calor específico del agua permite que actúe como un verdadero regulador térmico del medio ambiente, especialmente en las áreas más cercanas al mar y por tanto, participa activamente en el Ciclo Hidrológico.

b. Coeficiente transmisión térmica

El agua presenta un bajo coeficiente de transmisión térmica, lo que le permite conservar su calor y resistir a las variaciones de temperatura por pérdidas de su energía.

Se ha verificado que las variaciones de temperatura en las grandes masas líquidas se producen solamente en una capa superficial. Esta propiedad favorece a la existencia de la vida en el agua, como la conocemos actualmente.⁶

c. Calor de fusión

Para pasar del estado sólido al líquido, el agua necesita 80 Kcal/Kg. que es un valor bastante alto; se requieren grandes cantidades de energía para fundir el hielo. Esta característica del agua hace que los deshielos se produzcan en forma lenta, evitando de esta forma el peligro de

⁵ Resnik, Halliday & Krane, Física Volumen 1 2002

⁶ Resnik, Halliday & Krane, *Física Volumen 1* 2002

inundaciones; si bien es cierto que en nuestro país no ocurren precipitaciones de mayor importancia, en los países en donde esto sucede, esta propiedad del agua tiene fundamental trascendencia, ya que la nieve acumulada durante muchos días de precipitación y si se fundiera rápidamente en un día de sol, produciría efectos catastróficos. Por otro lado, si consideramos el volumen de agua acumulada en los cascos polares, se puede concluir que sin esta propiedad del agua, la forma de vida de la tierra podría ser muy diferente de la que conocemos.⁷

d. Calor de solidificación

Es igual al calor de fusión, se requieren de 80 Kcal/Kg para solidificar el agua a 0 grados centígrados, igualmente en el caso anterior, es un valor alto. Esta otra propiedad del agua tiene como consecuencia que la solidificación ocurre lentamente y en las grandes masas de agua, se reduzcan a capas superficiales, permitiendo de esta forma la vida subacuática en los lagos y mares.

Además de estas propiedades físico-químicas del agua, que por sí solas permiten la existencia de la vida, cabe resaltar que su presencia en la atmósfera impide la incidencia directa de los rayos solares con toda su potencia en la tierra, vimos que el 60% de la energía solar se reflejaba y se absorbía en la atmósfera por efecto de la presencia del agua. Por otro lado la presencia del agua en la atmósfera, en el mismo sentido, impide la fuga de la energía de la tierra, durante la noche, hacia los espacios siderales. Concluimos que de no existir el agua en la atmósfera, la temperatura en la tierra sería tan elevada durante el día y tan baja durante la noche que no permitiría la existencia de la vida.⁸

2.2.3. Conceptos de hidrología

A. Meyer define a la Hidrología como la ciencia natural que trata de los fenómenos relativos al agua en todos sus estados, de su distribución y

⁷ Lide, David R., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Ed.90ª 2009.

⁸ Lide, David R., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Ed.90ª 2009.

ocurrencia en la atmósfera, en la superficie terrestre, en el subsuelo y de la relación de esos fenómenos con la vida y las actividades del hombre.

En forma general puede decirse que la hidrología estudia la distribución del agua en el globo terrestre o que se ocupa del transporte del agua en el aire, en la superficie terrestre y en el subsuelo.

La Hidrología como ciencia natural es la que se ocupa del estudio de las fases del Ciclo Hidrológico.⁹

2.2.4. Importancia y aplicación de la hidrología

Los conocimientos de la Hidrología proporcionan al Ingeniero un instrumento fundamental para el aprovechamiento de los recursos hídricos, cualquiera que sea su finalidad; como ciencia está íntimamente ligada a la Silvicultura y a la Agricultura de las que depende el sustento de la humanidad.¹⁰

2.2.5. División teórica de la hidrología

Desde el punto de vista teórico, podemos dividir a la Hidrología en:

- Fluviología: que estudia las corrientes de agua.
- Limnología: que estudia los lagos.
- Pluviología: que estudia las precipitaciones.
- Criología: que estudia el agua en estado sólido.
- Hidrografía: que estudia las condiciones físicas de las cuencas.
- Sedimentología: que estudia los sedimentos hídricos y la erosión hídrica en general.
- Evaporología: que estudia los fenómenos que intervienen en la evaporación del agua.

Cada uno de estos capítulos de la Hidrología puede a su vez subdividirse en tres partes al aumentarles la terminación:

- Morfología (origen)
- Metría (medida)

⁹ Meyer-Peter, E; Muller, R. FORMULAS FOR BED-LOAD TRANSPORT. Report on Second Meeting of International Association for Hydraulics Research. Stockholm. 1948.

¹⁰ Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, 1994

- Analítica (análisis)

Así por ejemplo: La Pluviología trata de los fenómenos que originan las precipitaciones; la Pluviometría trata de la medida de las precipitaciones y la Pluviología Analítica es el conjunto de conocimientos o procesos analíticos empleados para resolver problemas relativos a las precipitaciones.¹¹

2.2.6. El ciclo hidrológico

Es un término descriptivo aplicable a la circulación del agua (figura 1). Este ciclo puede empezar con la evaporación de los océanos. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa, formando nubes que, a su vez, pueden ocasionar precipitaciones. De la precipitación sobre el terreno, una parte es retenida por la superficie, otra escurre sobre ella y la restante penetra en el suelo.

El agua retenida es devuelta a la atmósfera por evaporación por la transpiración de las plantas. La parte que escurre sobre la superficie es drenada por arroyos y ríos hasta el océano; aunque parte se pierde por evaporación. El agua que se infiltra, satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde puede fluir hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar en los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmósfera por transpiración.¹²

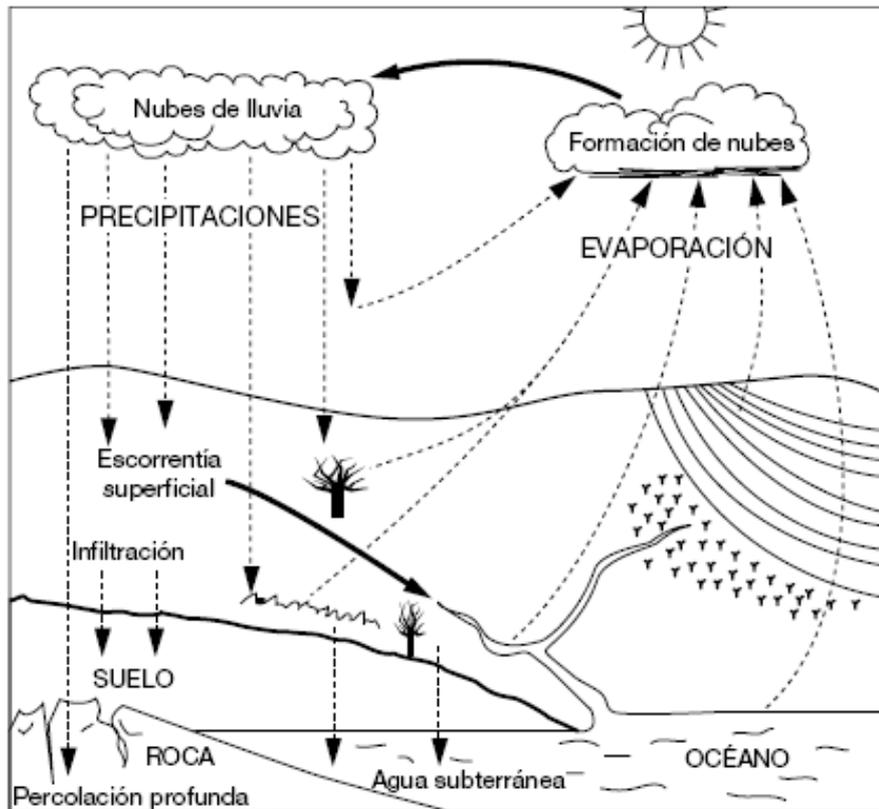
Esta descripción simplificada del Ciclo Hidrológico es de tipo cualitativo y en ella no se ha incluido el Tiempo. Por ejemplo, después de ocurrida una tormenta, el efecto inmediato en un río se deja sentir por el escurrimiento superficial, además de existir recarga del agua subterránea. Puede decirse también que no hay evaporación durante la tormenta, y que toda el agua de lluvia se intercepta, infiltra y escurre superficialmente.¹³

¹¹ Francisco J. Aparicio Mijares, fundamentos de hidrología de superficie 1992

¹² Francisco J. Aparicio Mijares, fundamentos de hidrología de superficie 1992

¹³ Vent Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994

Figura 1: Esquema del Ciclo Hidrológico



Fuente: <http://www.vidaecologica.info/ciclo-del-agua-en-la-naturaleza/>

2.2.7. Formas de agua en el suelo

El agua que existe en el suelo puede clasificarse en los siguientes tipos:¹⁴

2.2.7.1. Agua de constitución

Es el agua que hace parte constitutiva de las moléculas de las partículas sólidas de la tierra, como en los cristales, minerales y elementos hidratados, etc.¹⁵

2.2.7.2. Agua gravitacional

Es el agua en movimiento descendente hasta encontrar los niveles freáticos (capas subterráneas), que proceden no solamente de agua que

¹⁴ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

¹⁵ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

se infiltra durante o inmediatamente después de las precipitaciones, sino en general toda el agua que tiene movimiento descendente por acción de la gravedad.

2.2.7.3. Agua de condensación

Es el agua que se condensa en forma de vapor, de la humedad contenida en el suelo.¹⁶

2.2.7.4. Agua capilar

Es el agua que se mantiene entre los intersticios formados por las partículas del suelo contrariando la fuerza gravitacional, por acción del esfuerzo resultante de la tensión superficial. El agua capilar puede o no saturar los vacíos del suelo; en los niveles inmediatos a la capa freática los vacíos está generalmente saturado de agua.¹⁷

2.2.7.5. Agua de absorción

Es el agua que envuelve todas y cada una de las partículas del suelo, formando una fina película, cualquiera que sea la ubicación de la partícula dentro del suelo. Esta película de agua absorbida tiene propiedades a los otros tipos de agua de la tierra, en virtud de las grandes presiones a que están sujetas, causadas por las fuerzas electrostáticas de absorción. Las partículas del suelo constituidas por cristales atraen las moléculas del agua quedando fuertemente adheridas unas a otras.¹⁸

2.2.7.6. Agua de contacto

Es también una consecuencia del fenómeno de tensión superficial, se diferencia del agua capilar por su falta de continuidad; se presenta en cualquier nivel de la zona de creación (donde se siente la acción de la atmósfera y la vida vegetal).¹⁹

¹⁶ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

¹⁷ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

¹⁸ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

¹⁹ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

2.2.7.7. Agua magmática

Es de origen interna, proviene del magma terrestre y se presenta especialmente en áreas volcánicas.²⁰

2.2.7.8. Agua nativa

Es también de origen interna y proviene de la deshidratación de las rocas.²¹

2.3. Geomorfología de la cuenca

2.3.1. La cuenca hidrográfica

La cuenca es la unidad territorial más adecuada para la gestión de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular. Con la finalidad de establecer las bases para una gestión adecuada de los recursos hídricos naturales en el nivel nacional y transfronterizo se hace necesaria la elaboración de una carta hidrológica bajo un sistema estándar de delimitación y codificación de unidades hidrográficas en el nivel nacional y continental.²²

La hidrografía es una ciencia o rama de las Ciencias de la Tierra que se ocupa de la descripción y estudio sistemático de los diferentes cuerpos de agua planetarios, en especial, de las aguas continentales. Por su campo de estudio, la hidrografía tiene vinculaciones con otras ciencias, en particular con la geología.

En el estudio de las aguas continentales, las características hidrográficas más importantes de los ríos, son el caudal, cuenca, vertiente hidrográfica, cauce o lecho, régimen fluvial, régimen, dinámica fluvial, erosión, sedimentación fluvial, tipos de valles y pendientes.²³

2.3.2. Subcuenca hidrográfica

La micro cuenca hidrográfica es la unidad mínima de planificación, la cual además de dar una visión global de los recursos disponibles (financieros,

²⁰ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

²¹ Horton, R.E. Erosional Development of Streams 1945

²² García & Campos, 2005

²³ Bateman, 2007

técnicos y socioeconómicos) permite realizar una planificación integral del aprovechamiento agrícola con bases sólidas para la obtención y mantenimiento del desarrollo sostenido. Por otra parte, permite que se realice efectivamente la conservación de los recursos naturales y la preservación ambiental.²⁴

2.3.3. Características de una cuenca hidrográfica

a. Ecuación de balance hídrico

El agua, aunque se encuentra en un movimiento cíclico continuo, es cuantificable y debido a los requerimientos actuales del hombre, es necesario conocer con exactitud ese movimiento y definirlo, para aprovechar de forma racional los recursos hídricos y que no se modifiquen de forma irreversible, los componentes que intervienen en el ciclo del agua.

El balance hídrico tiene por objeto cuantificar los recursos y volúmenes de agua del ciclo hidrológico de acuerdo con el axioma de Lavoisier: "nada se crea ni se destruye, sólo se transforma". Este axioma en dinámica de fluidos se conoce como la Ecuación Continuidad. También permite establecer relaciones entre las distintas variables hidrológicas.²⁵

El establecimiento del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre:

- El volumen anual de escurrimiento o excedentes.
- El período en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero.
- Período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua para riego en ese período.

El establecimiento de un balance supone la medición de flujos de agua (caudales) y almacenamientos de la misma (niveles). Se pueden establecer balances de forma general, incluyendo aguas superficiales y

²⁴ IICA, 2004

²⁵ Claudio Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, 1993

subterráneas y parciales de sólo aguas superficiales, de un acuífero, del agua del suelo, etc. En cualquier caso, a la hora de establecer el balance se examinarán las entradas y las salidas al sistema analizado.

La propia idea de balance supone la medida independiente de los términos que intervienen en la ecuación de balance. Como toda medida física, está sujeta a error, que, en algunos casos es grande debido a diversas circunstancias. Por ello ha de actuarse con gran prudencia a la hora de obtener datos del balance.

Por medio de las precipitaciones atmosféricas (P), llega agua a la superficie de la Tierra. Parte de estas precipitaciones se evapora en contacto con el aire o es absorbida por las plantas y después transpirada por las mismas, fenómenos que denominaremos de forma general como evapotranspiración (E). El agua entonces sigue dos caminos: una parte fluye por la superficie de la corteza terrestre y otra parte se infiltra en el terreno. El agua de infiltración aún puede ser captada por el suelo y las plantas, sufriendo entonces fenómenos de evapotranspiración o puede circular hipodérmicamente junto con las aguas que circulan en superficie, denominándose el conjunto aguas de escurrimiento (R). La parte de agua infiltrada que alcanza una zona más profunda constituye la verdadera agua de infiltración (I) que se junta con las aguas subterráneas alimentando el acuífero.

La Ecuación de Continuidad se basa en que la diferencia que se produce entre las entradas y las salidas de agua se traduce en el agua que queda almacenada.²⁶

Entradas - Salidas = Variación del Almacenamiento

Aplicando estos conceptos, se expresa la precipitación como:

$$P = E + R + I + e$$

Siendo:

²⁶ Ven Te Chow, Hidrología Aplicada 1994

e = el error cometido en las estimaciones o error de cierre

E = la evapotranspiración

R = el escurrimiento e

I = la infiltración.

Calculamos la evapotranspiración (E), utilizando el método del tanque evaporímetro mediante la siguiente ecuación.

$$ET_o = K_p * E_p$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración en mm/día

K_p = coeficiente del tanque evaporímetro

E_p = evaporación mm/día

Fórmula para calcular K_p cuando el tanque está rodeado de pasto:

$$K_p = 0,108 - 0,000331 * U_2 + 0,0422 \ln(\text{entorno}) + 0,1434 \ln(\text{HR}_{\text{prom}}) - 0,000631 [(\ln(\text{entorno}))^2 \ln(\text{HR}_{\text{prom}})]^{27}$$

Donde:

Entorno = distancia del tanque evaporímetro hacia el cultivo más cercano

U₂ = velocidad diaria promedio del viento a 2 m de altura (Km/día)

$$\text{HR}_{\text{prom}} = \text{humedad relativa promedio } HR_{\text{prom}} = \frac{\text{HR}_{\text{min}} + \text{HR}_{\text{max}}}{2}$$

El escurrimiento

Calculamos el escurrimiento de entrada y salida en un día, (Q_{entrada} y Q_{salida})

Infiltración

La tasa de infiltración de acuerdo a la tabla es de 8Lm²/día por el área de la cuenca.

²⁷ Allen y Pruitt, 1991

2.3.4. Elementos de una cuenca

2.3.4.1. Divisoria de aguas

La divisoria de aguas o divortium aquarum es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También llamado Divortium aquarum. Otro término utilizado para esta línea se denomina parte aguas.²⁸

El divortium aquarum o línea divisoria de vertientes, es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.²⁹

2.3.4.2. El río principal

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura.³⁰

2.3.4.3. Curso de un río

En el curso de un río se distinguen tres partes:³¹

1. curso superior, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce.
2. curso medio, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle.

curso inferior, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.³²

²⁸ González, 2003

²⁹ Ven Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994.

³⁰ Londoño, C. 2001

³¹ Londoño C, 2001

³² Londoño C, 2001

2.3.4.4. Longitud del río

La longitud de un río es realmente difícil de determinar y, por ello, las medidas de muchos ríos son sólo aproximaciones. La longitud depende de tres factores.³³

1. Identificación de la fuente. Puede ser difícil afirmar exactamente donde comienza un río, ya que a menudo están formados por arroyos estacionales, pantanos, o lagos cambiantes.
2. Identificación de la boca o desembocadura También puede ser difícil de determinar en casos de grandes rías, que se va ensanchando poco a poco y se abren al océano; ejemplos de esto son el Río de la Plata y el río San Lorenzo. Algunos ríos, como el Okavango, no tienen una boca, sino que se reducen hasta un pequeño caudal de agua y finalmente se evaporan, o hunden en un acuífero, o son desviados con fines de regadío.

Medición de la longitud entre la fuente y la boca Puede ser difícil de determinar debido a la falta de precisión en los mapas ya que la medición depende de la escala del mapa, y en general, debido a la calidad fractal de un río, cuanto más afinada sea la escala, mayor resultará su longitud.³⁴

2.3.4.5. Pendiente media del cauce

Relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.³⁵

$$m_c = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Donde:

m_c = pendiente media del cauce principal

H_{max} = Cota del cauce al inicio del mismo

$H_{mín}$ = Cota del cauce a la salida de la cuenca

L = Longitud del cauce principal

³³ Londoño C, 2001

³⁴ Londoño C, 2001

³⁵ Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie, 1992

2.3.5. Partes de una cuenca

Una cuenca tiene tres partes:

1. Cuenca alta: que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.
2. Cuenca media: la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

Cuenca baja: la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.³⁶

2.3.6. Tipos de cuenca

Existen tres tipos de cuencas:

1. Exorreicas: drenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Plata, en Sudamérica.
2. Endorreicas: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar. Por ejemplo, la cuenca del río Desaguadero, en Bolivia.

Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. También son frecuentes en áreas del desierto del Sáhara y en muchas otras partes.³⁷

³⁶ García & Campos, 2005

³⁷ García & Campos, 2005

2.3.7. División de las cuencas por su tamaño

Tabla 1: División de las cuencas

ÁREA en Km ²	NOMBRE
< 5	Unidad
5 – 20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
> 300	Cuenca

Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

2.4. Red de drenaje

Una red de drenaje es una red de transporte superficial de agua y sedimento, como ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia o de la nieve fundida. La mayor parte de esta agua no cae directamente en los cauces fluviales y los lagos, sino que se infiltra en las capas superiores del terreno y desde éstas aparece constituyendo arroyos.³⁸

2.4.1. Clasificación de los ríos

a) A partir de su posición topográfica o edad geológica las corrientes pueden clasificarse en:

1. Corriente joven.- Son aquellas corrientes que erosionan rápidamente las riberas, creando secciones en forma de “v”; no cuentan con planicie de inundación, o ésta es muy poco extensa. Las pendientes del cauce son pronunciadas y es común encontrar en su desarrollo cascadas, rápidos y pocos tributarios de longitudes pequeñas.
2. Corriente madura.- El potencial erosivo disminuye, suavizando la pendiente del cauce y eliminando las cascadas y rápidos; las extensiones de las planicies de inundación son mucho mayores y

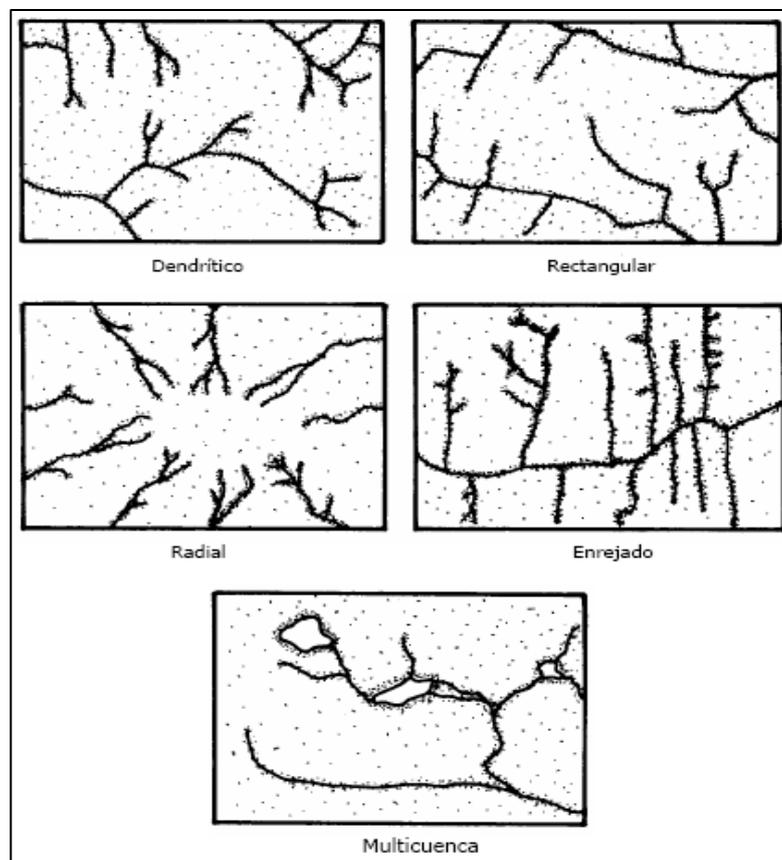
³⁸ Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

se inicia la formación de meandros, alcanzando así sus profundidades máximas.

3. Corriente senil.- El proceso de ensanchamiento de la planicie de inundación es más importante que el de la profundización.³⁹

En la figura N° 2. se señala las características predominantes de las corrientes de acuerdo con su ubicación topográfica o bien según su edad geológica.

Figura 2: Patrones de drenaje de una cuenca



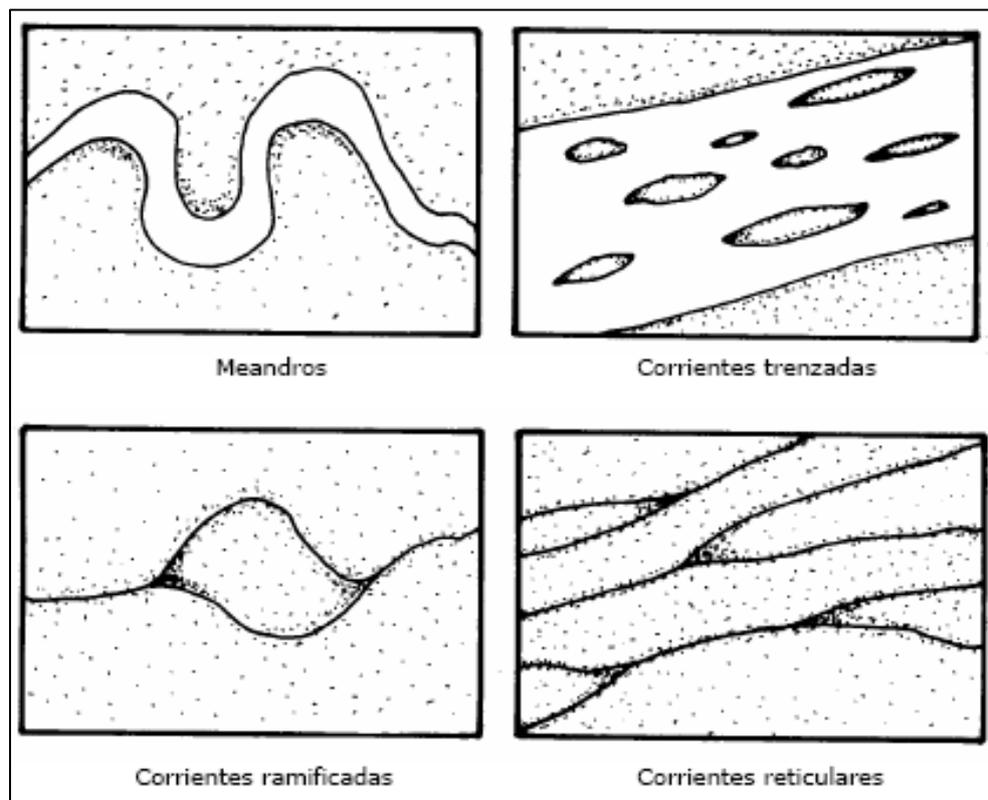
Fuente: <http://www.astrofisicayfisica.com/2010/06/como-estudiar-el-subsuelo-de-titan.html>

- b) A partir de la duración de su descarga, los ríos se pueden clasificar en:
 1. Corriente perenne. Son las que conducen agua durante todo el año.

³⁹ Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

2. Corrientes intermitentes. Conducen agua durante la mayor parte del tiempo, pero principalmente en las épocas de lluvia, su actividad cesa cuando baja el nivel freático.
3. Corrientes efímeras. Conducen agua después de algún evento hidrológico, es decir cuando llueve e inmediatamente después.⁴⁰

Figura 3: Tipos de corrientes de ríos



Fuente: <http://browntroutargentingeo.blogspot.com/2010/04/la-fisionomia-de-los-rios.html>

2.4.2. Parámetros para caracterizar el sistema de drenaje de una cuenca

2.4.2.1. Orden de la corriente

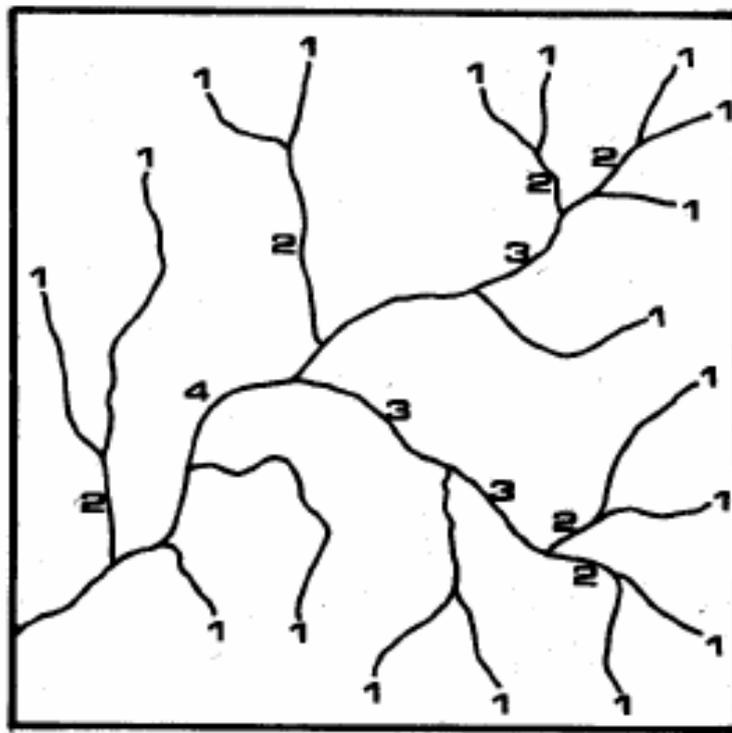
Expresa la relación de jerarquía entre los diferentes tramos de las corrientes, el método Strahler muestra en la figura N° 4 un ejemplo para

⁴⁰ Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

definir el número de orden para cada tramo que conforma la red de drenaje de una cuenca hidrológica considerando los siguientes criterios de orden de corrientes:

- Orden Uno (1).- Aquellas que no tienen ningún tributario.
- Orden Dos (2).- Aquellas que tienen dos o más tributarios de orden uno.
- Orden Tres (3).- Aquellas que tienen dos o más tributarios de orden dos, etc.

Figura 4: Orden de corrientes



Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

2.4.3. Características hidrográficas más importantes de un río

2.4.3.1. Caudal

En física e ingeniería, caudal es la cantidad de fluido que circula por unidad de tiempo en determinado sistema o elemento. Se expresa en la unidad de volumen dividida por la unidad de tiempo (m^3/s).

En el caso de cuencas de ríos o arroyos, los caudales generalmente se expresan en metros cúbicos por segundo o miles de metros cúbicos por segundo. Son variables en tiempo y en el espacio y esta evolución se puede representar con los denominados hidrogramas.⁴¹

2.4.3.2. Vertiente hidrográfica

Una vertiente es un declive o lugar por donde corre el agua. Suele tratarse de una superficie topográfica inclinada, que se encuentra entre puntos altos (como cimas, picos o crestas) y bajos.

La vertiente puede tener distintos perfiles, de acuerdo a la acción de la erosión y a las características rocosas del terreno. La altura, el desnivel, la superficie, la vegetación y la exposición al sol varían de acuerdo a cada vertiente.

Por su ubicación geográfica entre montañas, los valles suelen contar con vertientes. Es habitual que ríos y arroyos fluyan por las vertientes y permitan que las poblaciones de la zona aprovechen el agua.⁴²

2.4.3.3. Cauce o lecho

El cauce o lecho de un río es el canal natural por el que circulan las aguas del mismo. En su análisis intervienen dos conceptos: perfil transversal, es decir, el perfil que indicaría el fondo del cauce entre una orilla y otra; y perfil longitudinal, que es el que indica el thalweg o vaguada (la parte más profunda del cauce) desde el nacimiento del río hasta su desembocadura.⁴³

2.4.3.4. Régimen fluvial

Se considera que el régimen fluvial es el comportamiento del caudal de agua en promedio que lleva un río en cada mes a lo largo del año. Depende, pues, del régimen de precipitaciones, pero también de la temperatura de la cuenca (que determina la mayor o menor evaporación), del relieve, la geología, la vegetación y la acción humana. Hay que estudiar la frecuencia de crecidas y estiaje, y el módulo.⁴⁴

⁴¹ Ven Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994.

⁴² Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

⁴³ Ven Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994

⁴⁴ Ven Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994

2.4.3.5. Dinámica fluvial

La dinámica fluvial es el proceso por el que la acción de los ríos modifica de alguna manera el relieve terrestre y el propio trazado de los ríos. Es un concepto fundamental en el análisis de la hidrografía, en especial, en el estudio de las aguas continentales.⁴⁵

2.4.3.6. Erosión

La erosión es la degradación y el transporte de material o sustrato del suelo, por medio de un agente dinámico, como son el agua, el viento, el hielo o la temperatura.

La erosión del suelo es un proceso natural causado por las aguas superficiales, el viento en menor medida y puede verse incrementado por las actividades humanas o antropológicas.⁴⁶

2.4.3.7. Sedimentación fluvial

La sedimentación fluvial se produce cuando disminuye la pendiente y, por tanto, la intensidad de la corriente es menor. Los materiales son depositados por orden de tamaños: primero los grandes bloques, luego los cantos rodados, después, la grava, y, por último, las arenas y los limos.

Las formas de depósito de los ríos son las terrazas, las llanuras aluviales, los deltas y los estuarios. Aparecen en zonas del curso bajo, donde la corriente es menos fuerte y el río pierde parte de su capacidad de transporte.⁴⁷

- Las terrazas son sedimentos acumulados de forma escalonada a ambos lados del curso de un río, que se ha ido profundizando con el tiempo.
- Las llanuras aluviales son extensos depósitos de materiales finos sedimentados en el fondo de un valle, a ambos lados del cauce. Suelen ser terrenos fértiles aprovechables para cultivo; en este caso se llaman vegas.

⁴⁵ Ven Te Chaw, Hidrología Aplicada 1994

⁴⁶ Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

⁴⁷ Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie 1989

- Los deltas son formaciones sedimentarias de limos y arcillas en la desembocadura de un río, siempre que en esa zona haya poco oleaje y existan corrientes débiles y escasa profundidad. Tienen forma triangular.

Los estuarios son desembocaduras abiertas de los ríos, en las que no se forma un delta porque existe un fuerte oleaje o corrientes intensas.

2.4.3.8. Valle

Depresión de la superficie terrestre, entre dos vertientes, de forma alargada e inclinada hacia un lago, mar o cuenca endorreica, por donde habitualmente discurren las aguas de un río (valle fluvial) o el hielo de un glaciar (valle glaciar).⁴⁸

2.4.3.9. Pendientes

La pendiente es el ángulo diedro (ángulo comprendido entre dos planos) formado entre un plano oblicuo Y uno horizontal. En otras palabras se puede expresar que pendiente es la relación que existe entre la altura ascendida y la distancia recorrida para ascenderla.⁴⁹

Por las definiciones dadas, la pendiente topográfica se puede medir en ángulos, o sea, en grados o en porcentaje. Se puede calcular en unidades reales (metros), o en unidades de la carta (cm.).

2.4.3.10. Criterios de calidad de aguas con fines recreativos

Se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe:

- a) Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales y
- b) Contacto secundario como en los deportes náuticos y pesca.

⁴⁸ González, 2003

⁴⁹ Wilson, E.M. Engineering Hydrology, McMillan Press, London, 1974.

Tabla 2: Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
Materia flotante	visible		Ausencia
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5

Fuente: TULAS 2002, Libro VI anexo 1, Norma de calidad de agua, tabla 9.

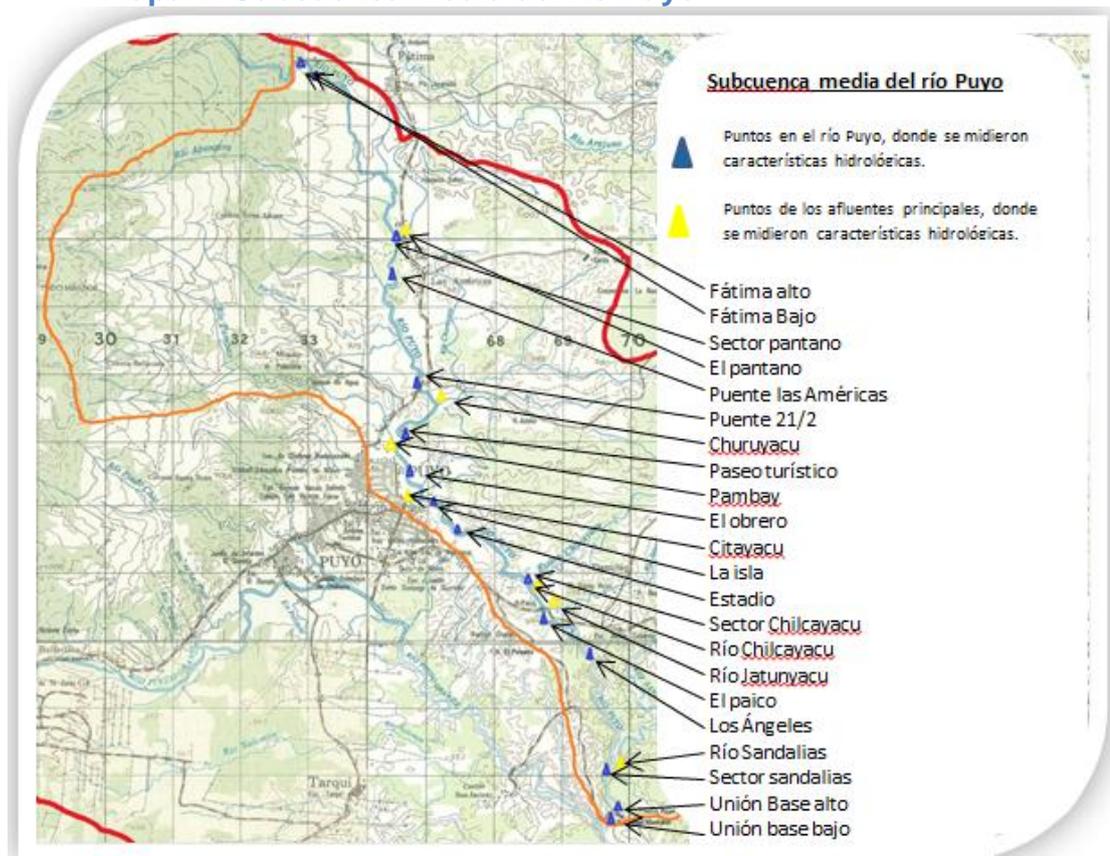
CAPÍTULO III

3. Materiales y métodos

3.1. Localización y duración de la investigación

- La investigación se realizó en la subcuenca media del curso del río Puyo y zonas adyacentes comprendido entre el dique de la parroquia Fátima (coordenadas geográficas UTM PSAD 56: zona 17, X: 833358; Y: 9842296) hasta la comunidad de Unión Base (coordenadas geográficas UTM PSAD 56: zona 18, X: 169758; Y: 9831392) en el cantón Pastaza, provincia de Pastaza.
- La investigación tendrá una duración de 180 días.

Mapa 1: Subcuenca media del río Puyo



Fuente: Elaboración propia del autor basado en: mapa base escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, 1989

3.1.1. Condiciones meteorológicas

La zona de estudio corresponde al clima subtropical pluvial⁵⁰, ya que la región Amazónica tiene el aporte de las masas de aire húmedo de la cuenca Amazónica, como consecuencia las precipitaciones son permanentes durante todo el año.

En la siguiente tabla se muestra las condiciones meteorológicas de la ciudad de Puyo, obtenidos en la Estación Meteorológica de Veracruz durante el año 2011.

Cuadro 1: Datos Meteorológicos de la ciudad de Puyo

Parámetros	Valores
Estación Puyo (msnm)	960
Temperatura media anual (°C)	20.6
Humedad relativa (%)	89.3
Evapotranspiración (mm)	765.8
Precipitación anual (mm)	4.516
Heliofanía	996.5

Fuente: Estación Meteorológica Veracruz (INAMHI-QUITO, 2011)

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo

- Cuerda 6mm de espesor por 20 m de longitud
- flexómetro
- Nivel de burbuja
- Pelota de espumaflex
- Reloj
- Machete
- Cámara fotográfica
- Termómetro
- pHchímetro
- GPS
- Estación Total

⁵⁰ HOLDRIDGE L. , Ecología de acuerdo a zonas de vida, en <http://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/ch14.htm>

3.2.2. Materiales de oficina

- Carta topográfica
- Equipo informático
- Calculadora científica
- Suministros de oficina

3.3. Factores de estudio

3.3.1. Características hidrológicas

Es el conjunto de características físicas de los cuerpos hídricos involucrados en el estudio, incluyendo cauce, caudal y rugosidad del fondo.⁵¹

3.3.2. Caudal

Para el cálculo del caudal (Q) en los 15 sectores del río principal y 7 afluentes se aplicó la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} * S^{1/2}$$

Donde:

Q = Caudal (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad (Obtener mediante tablas, de acuerdo a las características del lecho rocosos, ej. para terreno pedregoso n =0.035)

A = Área de la sección de flujo de agua (área mojada m²)

P = Perímetro mojado (m)

S = Pendiente de la línea del agua (m/m)

El caudal del río, se calculó utilizando el método de la Fórmula Racional. Este método, que la literatura inglesa atribuye a Lloyd-George en 1906, si bien los principios del mismo fueron establecidos por Mulvaney en 1850, permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de

⁵¹ Francisco Aparicio, Fundamentos de Hidrología de superficie, 1989.

intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

Método Racional Modificado

El método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) fue adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (T_c) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 C.I.A.K$$

Donde:

Q = Descarga máxima de diseño (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I = Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A = Área de la cuenca (Km²)

K = Coeficiente de Uniformidad

Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general, son los siguientes:

- Tiempo de Concentración (T_c)

$$T_c = 0.3(L / S^{0,25})^{0,76}$$

Donde:

L= Longitud del cauce mayor (km)

S= Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

- Coeficiente de Uniformidad

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

Donde:

T_c= Tiempo de concentración (horas)

- Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (kA)

$$KA = 1 - (\log_{10} A/15)$$

Donde:

A = Área de la cuenca (Km²)

- Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A P_d$$

Donde:

K_A = Factor reductor

P_d = Precipitación máxima diaria (mm)

- Intensidad de Precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24} \right) * (11) \frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

Donde:

P = Precipitación máxima corregida (mm)

T_c = Tiempo de concentración (horas)

Para el coeficiente de escorrentía se utilizó $C = 0,31$ (ver tabla N° 2), bosques promedio 0 – 2% para un tiempo de retorno de 25 años.⁵²

Para la intensidad se tomó los datos de precipitación del 10 de junio de 1990:

Cuadro 2: Datos meteorológicos de 10-junio-1990

Precipitación Mm	Evaporación mm	V viento m/s	HRprom %	T duración horas
164,7	1,2	2,75	92	13H30

Fuente: Estación meteorológica Veracruz (INAMHI, 1990)

Tabla 3: Coeficiente de escorrentía y periodo de retorno

Bosques, montes arbolados	Periodo en años						
	2	5	10	25	50	100	500
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: Chow et al (1998)

⁵² Chow et al, 1998

3.3.3. Área de una cuenca

La cuenca está limitada por su línea parte aguas, que es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento que en cada sistema fluye hacia el punto de salida de la cuenca. La línea parte aguas está formada por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida.⁵³

Para el cálculo del área, la delimitación, el perímetro, de la subcuenca media del río Puyo se utilizó el mapa base de la Subcuenca Hidrográfica del Río Puyo. Además se aplicó el programa Argis 9.3, para realizar los cálculos de manera automatizada.

3.3.4. Subcuenca hidrográfica

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden formar una cuenca.⁵⁴

3.3.5. Microcuenca Hidrográfica

La microcuenca hidrográfica es la unidad mínima de planificación, la cual además de dar una visión global de los recursos disponibles (financieros, técnicos y socioeconómicos) permite realizar una planificación integral del aprovechamiento agrícola con bases sólidas para la obtención y mantenimiento del desarrollo sostenido. Por otra parte, permite que se realice efectivamente la conservación de los recursos naturales y la preservación ambiental.⁵⁵

3.3.6. Longitud de la subcuenca

Viene dada por la longitud del cauce principal o también es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano del cauce. Este parámetro es importante, ya que da una idea de la forma de la cuenca. Los procesos hidrológicos, por ejemplo el

⁵³ Francisco Aparicio, Fundamentos de Hidrología de superficie, 1989.

⁵⁴ García & Campos, 2005

⁵⁵ González, 2003

escurrimiento superficial, responden de manera diferente en una cuenca alargada que a la que se aproxima a una forma circular.⁵⁶

Para el cálculo de la distancia del cauce principal se aplicó el tipo de medición para líneas irregulares, que consiste en la utilización de un hilo fino a través del recorrido de la línea siguiendo meticulosamente cada curvatura de dicha línea.

Posteriormente se aplicó la siguiente fórmula:

$$D = E \cdot d$$

Donde:

D = distancia recta

E = denominador de la escala

d = distancia medida en la carta en cm

3.3.7. Forma de la cuenca

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características de descarga de un río, en especial en los eventos de crecida. Para caracterizar este parámetro se utilizan el coeficiente de compacidad o de Gravelius (K_c), la relación de circularidad (R_{ci}) y la relación de elongación (R_e) que son definidos a continuación.

- **Coficiente de compacidad o Gravelius (K_c).**- Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie de la cuenca. Su magnitud se obtiene con la expresión:⁵⁷

$$K_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_c .- es el coeficiente de compacidad (adimensional).

P .- es el perímetro de la cuenca, en m; y

A .- es la superficie de la cuenca, en m².

⁵⁶ Francisco Aparicio, Fundamentos de Hidrología de superficie, 1989.

⁵⁷ Wisler, 1966

De acuerdo con aplicaciones realizadas en un gran número de cuencas, si:

$K_c = 1.128$ se trata de una cuenca cuadrada,

$K_c = 3.0$ las cuencas son muy alargadas,

$K_c = 1.481$ la cuenca tiende a un cuadrado (largo y ancho son valores cercanos).

Si: El índice será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre, más se aproximará su forma a la del círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores picos (caudales). Por otra parte "K" es un número adimensional independiente de la extensión de las cuencas. Por contrapartida, cuando "K" se aleja más del valor unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca.

- **Relación de circularidad (Rci).**- Es el cociente entre el área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca y la expresión mediante la cual se calcula es:⁵⁸

$$Rci = \frac{4 \pi A}{P^2}$$

Donde:

Rci = es la relación de circularidad (adimensional).

P = es el perímetro de la cuenca, en m; y

A = es la superficie de la cuenca, en m².

De acuerdo con análisis realizados en diversas cuencas han determinado que si:

$Rci = 1.0$ la cuenca es circular

$Rci = 0.785$ la cuenca es cuadrada⁵⁹

- **Relación de elongación (Re).**- Es la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud

⁵⁸ Aguliar, A., 2007

⁵⁹ Summerfield, 1991

máxima (L_m) de la cuenca; la variable L_m se define como la más grande dimensión de la cuenca a lo largo de una línea recta trazada desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo de la línea parte aguas y de manera paralela al cauce principal. Para estimar su magnitud se aplica la expresión:⁶⁰

$$Re = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_m}$$

Donde:

Re = relación de elongación, adimensional.

D = es el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca, en m; y

L_m = es la longitud máxima de la cuenca, en m.

A partir de estudios realizados en un gran número de cuencas si:

$Re \approx 1.0$ la cuenca es plana

$0.6 \leq Re \leq 0.8$ la cuenca es de relieve pronunciado

3.3.8. Pendiente media del cauce principal

En general, la pendiente de un tramo de río se consideró como el desnivel entre los extremos del tramo, dividido por la longitud horizontal de dicho tramo.

3.3.9. Pendiente media de la Subcuenca media del río Puyo

Para calcular la pendiente media de la subcuenca media, se utilizó el criterio de Alvord.

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce.

⁶⁰ Summerfield, 1991

3.3.10. Elevación de la cuenca

La variación de la elevación de una cuenca se puede obtener mediante el método de las intersecciones, es decir trazando la malla y obteniendo la altitud en cada intersección, con estos valores mediante la elaboración estadística se puede obtener la curva Hipsométrica y con la media aritmética la elevación media de la cuenca.⁶¹

Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando al eje de las abscisas, la elevación proporcional a las superficies proyectadas en la cuenca, y en el eje de las ordenadas el porcentaje de área con mayor o igual elevación de la cuenca.

3.3.11. Calidad del agua

Comprende un conjunto de características que debe tener el agua, de manera tal, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos.

Incluye todos los factores que influyen en el uso beneficioso del agua:

- físicos,
- químicos, y
- biológicos

En el estudio se consideró la calidad de agua para uso recreativo y de conservación de flora y fauna⁶²

3.3.12. Características físicas

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se considerarán importantes las siguientes:

- turbiedad
- sólidos solubles e insolubles
- color

⁶¹ Summerfield, 1991

⁶² Libro VI Anexo 1 Recurso Agua, numeral 3.1; 4.1

- olor y sabor
- temperatura
- pH

3.4. Diseño y manejo de la investigación

El proyecto comprendió las siguientes etapas:

3.4.1. Recopilación de la información

Se recolectó información secundaria de la zona de estudio respecto a indicadores demográficos, urbanísticos y meteorológicos, así como a componentes bióticos y socioeconómicos, que refuerzan la interpretación de la información primaria a levantarse posteriormente.

Además se utilizó los mapas facilitados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, así como del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pastaza y del Instituto Geográfico Militar (IGM).

Además, se tomó en cuenta información no publicada perteneciente al proyecto “REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL RÍO PUYO” para efecto de análisis históricos.

3.4.2. Reconocimiento general del área de estudio y levantamiento de línea base hidrológica

Se desarrolló mediante visitas al área de estudio, en las cuales se identificó mediante observación directa, georeferenciación con GPS, registro fotográfico y registro cartográfico la configuración del curso del río, los afluentes más significativos y aspectos derivados de actividades humanas, asentamientos y agrícolas. Se emplearán como instrumento de registro, libretas y/o fichas de campo.

Para el estudio de la subcuenca del río Puyo se delimitará en la carta topográfica siguiendo las líneas de cumbre o divisoria de aguas que por lo general son los límites entre las cuencas, además se subdividirá el curso del río principal en 15 secciones, procurando que sean uniformes, sin

piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.

➤ **Caracterización del cauce del río**, para lo que se consideró variables como: Ancho (m), longitud de la sección (m), profundidad (m); la velocidad de flujo (m/s) y pendiente (cm). El procedimiento se estructuró de la siguiente manera:

- Las secciones tienen una longitud de 20 metros.

Foto 1: Sección del sector el estadio



Fuente: Elaboración propia del autor

- En cada límite se midió el diámetro del río. Procurando que el diámetro medido sea perpendicular a la corriente del mismo.

Foto 2: Medición del diámetro, sector unión base bajo



Fuente: Elaboración propia del autor

- Con ayuda de la regleta, Se tomaron medidas de profundidad en cada diámetro, cada metro (si el diámetro es menor a 20 m) o dos metros (si el diámetro es mayor a 20 metros).

Foto 3: Medición de profundidad, sector unión base bajo



Fuente: Elaboración propia del autor

- Se midió la diferencia de altitud realizando una nivelación de la pendiente del cauce, con ayuda de una piola y un nivel (para calcular la pendiente)

Foto 4: Medición de pendiente en el sector del puente el paico



Fuente: Elaboración propia del autor

$$y_m = (y_1 + y_2 + y_3 + \dots)/n$$

y_m = profundidad media

y₁, y₂, y₃ = Profundidades de la sección del cauce.

X= distancia horizontal.

- Se midió la velocidad con el método del flotador en cada sección del cauce durante 4 repeticiones para calcular la velocidad promedio, tomando el tiempo en cada repetición.

$$v = \frac{d}{t}$$

donde:

v = velocidad

d = distancia

t = tiempo

Foto 5: Medición de velocidad de corriente, sector Fátima bajo

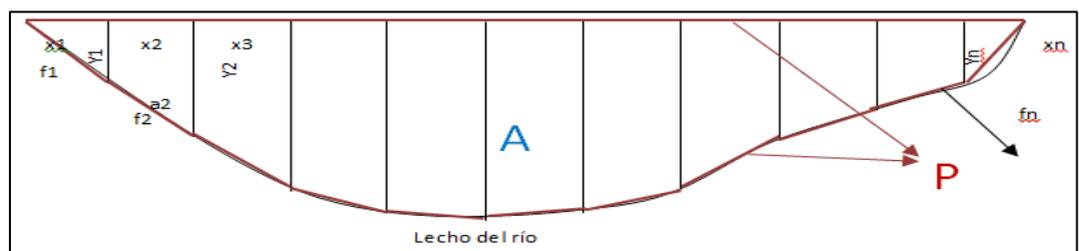


Fuente: Elaboración propia del autor

➤ **Calculo del área del cauce en una sección**

1. Para cada una de las dos secciones del punto de muestreo y mediante los datos de las profundidades (y_1, y_2, \dots, y_n) y las distancias horizontales (x_1, x_2, \dots, x_n), se calculó las áreas parciales a_1, a_2, \dots, a_n . Finalmente, mediante la sumatoria de todas estas áreas se obtuvo el Área Mojada (A). Debe aclararse que para el cálculo, se asumió que los segmentos del fondo del lecho del río (f_1, f_2, \dots, f_n) son rectos entre cada profundidad medida, lo cual permitió calcular las áreas parciales mediante trigonometría (ver gráfico a continuación)

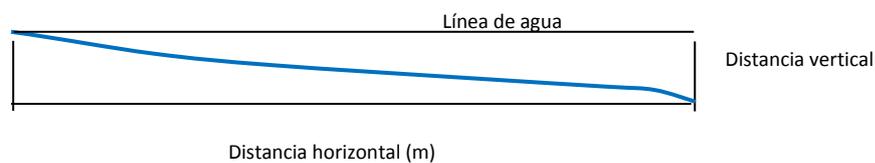
Gráfico 1: Diseño para las mediciones de variables hidrológicas en una sección



Fuente: Elaboración propia del autor

2. Se calculó el Perímetro Mojado (P) mediante la sumatoria de todos los segmentos del fondo del lecho del río obviando los meandros (f_1, f_2, \dots, f_n) más el diámetro (Ver línea roja en el gráfico anterior).
3. Se calculó la Pendiente de la línea de agua (S) mediante el cociente entre la gradiente o distancia vertical (dv) y la distancia horizontal (dh) entre las dos secciones ($S = dv/dh$) :

Gráfico 2: Diseño de medición de pendiente en una sección



Fuente: Elaboración propia del autor

3.4.3. Análisis estadístico

Se utilizaron los siguientes métodos estadísticos para el análisis de la información:

- **Estadística descriptiva:** Se utilizó para la caracterización física del río y sus afluentes principales en cada uno de las secciones de muestreo y a lo largo de la subcuenca media.

3.4.4. Variables o indicadores

El estudio abarcó la medición de las siguientes variables:

3.4.5. Variables Hidrológicas

a) Área transversal (perfil)

Hace referencia al área de una sección vertical del cauce del río en los puntos de muestreo establecidos. Se expresará en m^2 .

b) Velocidad

Se refiere a la distancia que recorre el líquido en un tiempo y lugar determinado se expresará en m/s.

c) Caudal

El Caudal (Q) se entiende por la cantidad de líquido que pasa en un cierto tiempo, concretamente, el caudal es el volumen de líquido que circula dividido por el tiempo. El caudal será determinado en 5 puntos dentro del área de estudio y en la confluencia de los principales afluentes del mismo. Se expresará en m^3/s .

d) Número de Reynolds

Si el número de Reynolds es menor de 2000 el flujo será laminar y si es mayor de 3000 el flujo será turbulento, esto se medirá en las áreas establecidas.⁶³

⁶³ Vent Te Chow, 2000.

CAPÍTULO IV

4. Análisis y discusión de resultados

4.1. Cálculo de áreas

4.1.1. Área de la subcuenca media

Mapa 2: Área de la subcuenca media del río Puyo



Fuente: Instituto Geográfico Militar, mapa base escala 1:50.000, 1989

Realizando la delimitación y demarcación de la subcuenca media del río Puyo utilizando el ArcGis 9.3 se obtuvo una extensión de 87 Km².

4.1.2. Longitud de la subcuenca media del río Puyo

La longitud resultante de la subcuenca media del río Puyo es de 15,845 km. Que inicia desde 100 m arriba del puente del dique de Fátima coordenadas geográficas UTM PSAD 56: Zona 18 X: 833358; Y: 9842296, hasta 100 m. abajo del puente en la comunidad de Unión Base, X: 169758; 9831392.

4.1.3. Perímetro de la subcuenca media del río Puyo

El perímetro de la subcuenca del río Puyo es de 33,05 km. Medido en el ArGis.

4.1.4. Forma de la subcuenca media del río Puyo

4.1.4.1. Coeficiente de compacidad o de Gravelius (kc)

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 0.282 \frac{33.050}{\sqrt{87.000.000}}$$

$$Kc = 1$$

Como $Kc = 1$ y la condición es: Si $1,00 \leq Cc < 1,25$, se considera la cuenca redondeada según Rodríguez (2001), por lo que presenta un cierto riesgo de avenida e inundación en el cauce principal, debido a que todos los puntos de la cuenca son equidistantes del canal principal. Esta situación implica que las gotas de agua caídas, en todos los puntos de la cuenca, tendrán oportunidad de alcanzar el cauce principal al mismo tiempo (similar tiempo de concentración). Además a medida que este valor se acerca a la unidad aumenta la torrencialidad de la cuenca, debido a que las distancias relativas de los puntos de la divisoria, con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores, y el tiempo de concentración se hace menor; por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas.

Tabla 4: Determinación de Kc propuesta por Gravelius

Valores de Kc	Forma	Características
1,00 – 1,25	Compacta o redonda a oval redonda	Cuenca torrencial peligrosa.
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad.

Fuente: Carlos Hernando Londoño Arango, Cuencas Hidrográficas, Bases Conceptuales – Caracterización-planificación-Administración, 2001.

4.1.5. Relación de circularidad (Rci)

$$Rci = \frac{4 \pi A}{P^2}$$

$$Rci = \frac{4 \pi 87.000.000}{33.050^2}$$

$$Rci = 1.0$$

Como Rci = 1.0 la subcuenca media del río Puyo es circular.

4.1.6. Relación de elongación (Re)

$$Re = \frac{D}{Lm} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lm}$$

$$Re = \frac{D}{Lm} = 1.128 \frac{\sqrt{87.000.000}}{33.050}$$

$$Re = 0.31$$

Como Re = 0.31 podemos afirmar que la subcuenca del río Puyo es de relieve pronunciado por que cumple con la afirmación si: $6 \leq Re \leq 0.8$, la cuenca es de relieve pronunciado.

4.1.7. Pendiente media del cauce principal

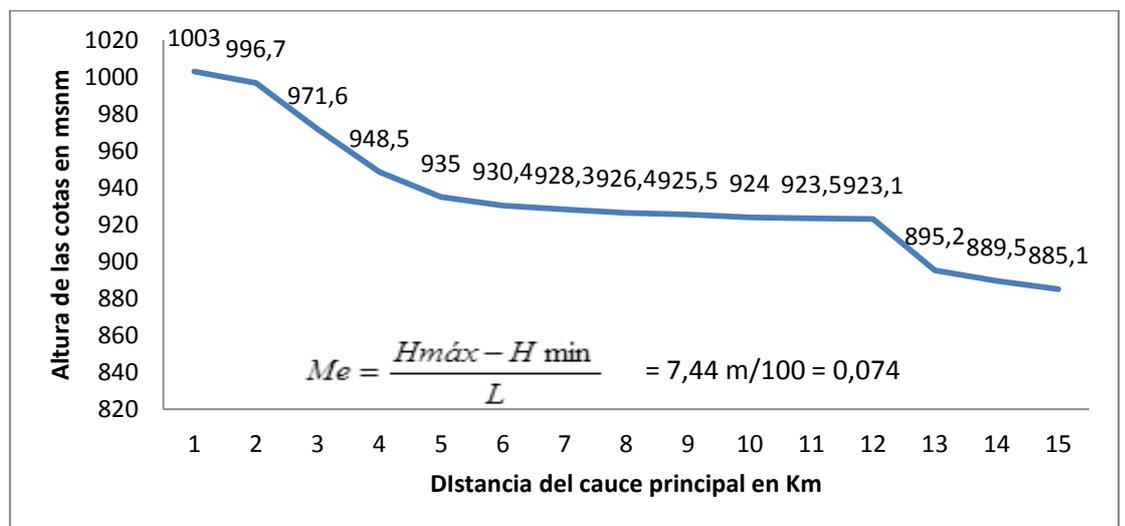
La pendiente media del cauce principal resultante es:

$$m_c = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{L}$$

$$m_c = \frac{1.003 - 885.1}{15.845}$$

$$m_c = 7.44 \text{ m.}$$

Gráfico 3: Pendiente media del cauce principal



Fuente: Elaboración propia del autor

4.1.8. Pendiente media de la subcuenca media del río Puyo

Pendiente media con criterio de Alvord

$$S_c = \left(\frac{D}{A} \right) L$$

$$S_c = \left(\frac{100}{87.000} \right) 30.000$$

$$S_c = 34.48$$

$$S_c = 0,34 \%$$

D= equidistancia de curvas de nivel

A = Área de la cuenca

L = longitud total de las curvas de nivel de equidistancia D
Se tomó equidistancias de 100 m, ya que permite medir menos L

4.1.9. Red de drenaje

4.1.9.1. Clasificación del río principal

- a. A partir de su posición topográfica o edad geológica y de acuerdo a sus características analizadas tales como la disminución de su potencial erosivo, la pendiente del cauce, la poca presencia de rápidos, la formación de meandros y la ausencia de cascadas podemos clasificarle como corriente madura.⁶⁴

Además en el tramo comprendido desde el dique de Fátima hasta el sector de Unión Base se pudo localizar dos planicies de inundación: en el sector de la Isla y la comunidad de Unión Base, especialmente en épocas de altas precipitaciones.

A partir de la duración de su descarga lo podemos clasificar como corriente perenne debido a que conduce sus aguas durante todo el año.⁶⁵

4.1.9.2. Orden de la corriente de la subcuenca media del río Puyo

Analizando las diferentes relaciones de jerarquía entre los distintos tramos de las corrientes (método Strahler), se pudo definir el número de orden para cada tramo que conforma la red de drenaje de la cuenca hidrológica del río Puyo, considerando los criterios de orden de corrientes, así tenemos:⁶⁶

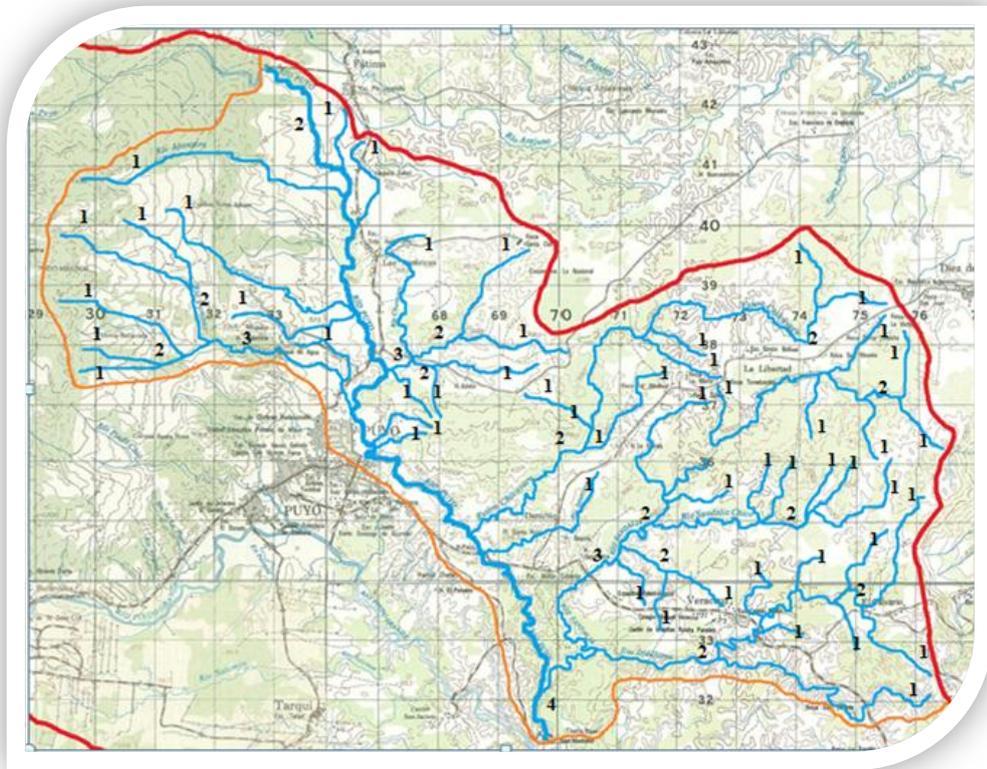
- | | |
|----------------------------|----------|
| a. Corrientes de orden 1 = | 52 |
| b. Corrientes de orden 2 = | 12 |
| c. Corrientes de orden 3 = | 3 |
| d. Corrientes de orden 4 = | <u>1</u> |
| Total de corrientes | 68 |

⁶⁴ Aguilar, A., 2007

⁶⁵ Londoño, 2001

⁶⁶ Londoño, 2001

Mapa 3: Orden de corrientes



Fuente: Elaboración propia del autor, basado en el mapa base escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM 1989)

4.1.9.3. Densidad de corriente

$$D_s = \frac{N_s}{A}$$

$$D_s = \frac{68}{87}$$

$$D_s = 0.78$$

Es la relación que se obtiene entre el número total de corrientes que se encuentran dentro de la subcuenca media del río Puyo, con el área total de dicha subcuenca media.

4.1.10. Medición de caudales en cada sección

Para el estudio de la presente investigación se consideró la zona con mayor influencia de actividades antropogénicas. Así, se tomó en consideración el área desde el dique de Fátima hasta el puente sobre el río Puyo, en la comunidad de Unión Base (13,650 Km.), tramo donde existe asentamientos humanos en los poblados de la parroquia Fátima, barrio Las Américas, ciudad de Puyo, barrio Los Ángeles y la comunidad de Unión Base.

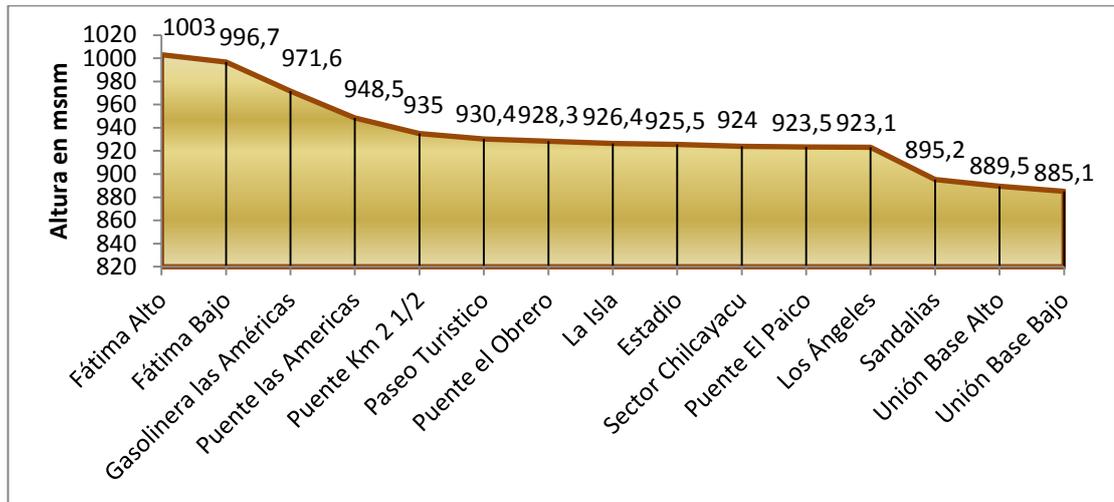
El cálculo de caudal se lo realizó en 15 secciones del río Puyo y en 7 afluentes principales, como detallamos a continuación.

Cuadro 3: Coordenadas de los puntos medidos

N° DE PUNTO	SECTOR	COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM PSAD 56: ZONA 18		ALTURA msnm	Distancia Km
		X	Y		
1	Fátima Alto	833358	9842296	1003,0	0,000
2	Fátima Bajo	833340	9842034	996,7	0,258
3	Gasolinera las Américas	166515	9840054	971,6	2,897
4	Puente las Américas	166511	9839750	948,5	3,309
5	Puente Km 2 ½	166832	9837842	935,0	5,577
6	Paseo Turístico	166585	9837094	930,4	7,021
7	Puente el Obrero	166589	9836762	928,3	7,639
8	La Isla	166854	9836158	926,4	8,505
9	Estadio	167791	9835504	925,5	9,701
10	Sector Chilcayacu	168467	9834844	924,0	11,433
11	Puente El Paico	168713	9834426	923,5	11,969
12	Los Ángeles	169472	9833652	923,1	13,103
13	Sandalias	169651	9832038	895,2	15,082
14	Unión Base Alto	169872	9831492	889,5	15,701
15	Unión Base Bajo	169758	9831392	885,1	15,845

Fuente: Elaboración propia del autor

Gráfico 4: Forma de la cuenca con relación a su altitud



Fuente: Elaboración propia del autor

4.1.11. Principales afluentes donde se midieron los caudales

Cuadro 4: Coordenadas de los afluentes

N° de punto	Sector	COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM PSAD 56: ZONA 18		Altura msnm	Distancia m
		X	Y		
1	Pantano	166525	9840064	948,6	2.987
2	río Churuyacu	166910	9837185	935,0	6.030
3	río Pambay	166309	9837659	929,0	7.320
4	río Citayacu	166476	9835867	927,0	8.350
5	río Chilcayaku	168493	9834112	924,0	8.430
6	río Jatunyaku	168493	9834135	923,9	11.900
7	río Sandalias	169641	9832028	895,6	15.000

Fuente:Elaboración propia del autor

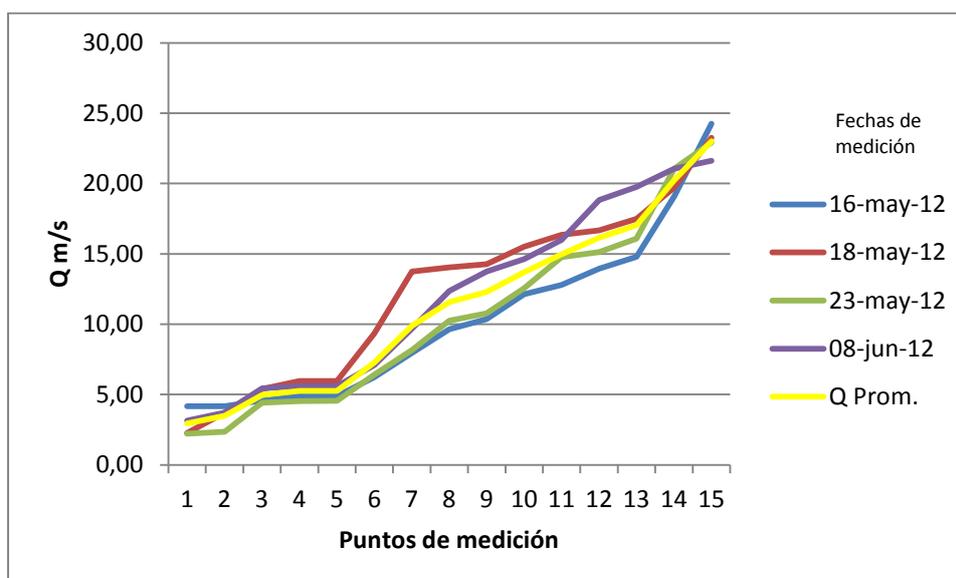
4.1.12. Caudal promedio medido en las diferentes secciones del río Puyo

Cuadro 5: Caudales promedios de las secciones medidos

N° Sección	Sector	Fechas				Q Prom. m ³ /s
		16-may-12	18-may-12	23-may-12	08-jun-12	
1	Fátima Alto	4,16	2,25	2,22	3,15	2,95
2	Fátima Bajo	4,16	3,72	2,35	3,72	3,49
3	Gasolinera las Américas	4,57	5,38	4,42	5,43	4,95
4	Puente las Américas	4,89	5,96	4,54	5,60	5,25
5	Puente Km 2 1/2	5,02	7,18	5,42	6,67	6,07
6	Paseo Turístico	6,22	9,35	6,42	7,10	7,27
7	Puente el Obrero	7,96	13,73	8,17	9,68	9,89
8	La Isla	9,64	14,03	10,25	12,35	11,57
9	Estadio	10,35	14,27	10,77	13,75	12,28
10	Sector Chilcayacu	12,12	15,51	12,55	14,63	13,70
11	Puente El Paico	12,79	16,34	14,76	15,98	14,97
12	Los Ángeles	13,95	16,67	15,12	18,83	16,14
13	Sector Sandalias	14,79	17,49	16,07	19,76	17,03
14	Unión Base Alto	19,08	19,72	21,05	21,05	20,22
15	Unión Base bajo	24,25	23,26	22,91	21,61	23,01

Fuente: Elaboración propia del autor

Gráfico 5: Variación de caudal en las secciones



Fuente: Elaboración propia del autor

4.1.13. Caudal promedio medido en los afluentes principales que tributan al río Puyo

Cuadro 6: Caudal promedio de los afluentes

Punto	Afluente	Q m ³ /s
16	El Pantano	0,30
17	Río Churoyaku	1,33
18	Río Pambay	2,72
19	Río Citayaku	1,45
20	Río Chilcayaku	1,65
21	Jatunyaku	0,12
22	Río Sandalias	4,82

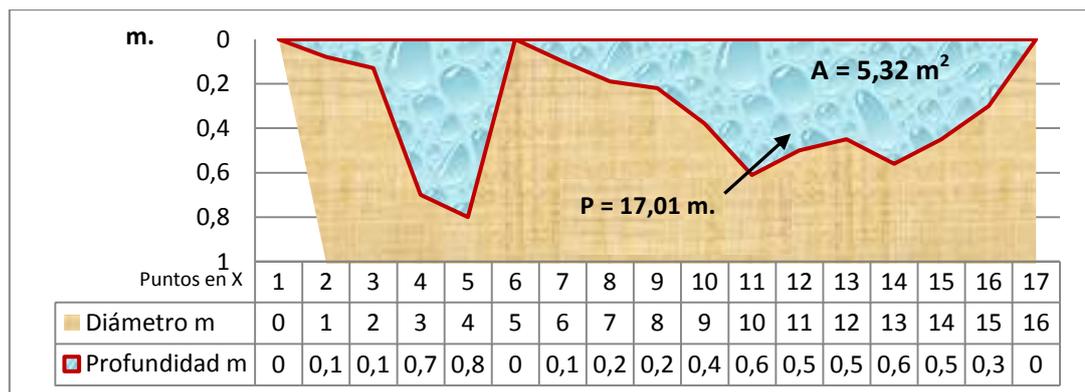
Fuente: Elaboración propia del autor

4.2. Área y perímetro mojado promedio de las secciones donde se realizaron las mediciones

4.2.1. Fátima alto

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro mojado promedio en la entrada de la subcuenca media del río principal.

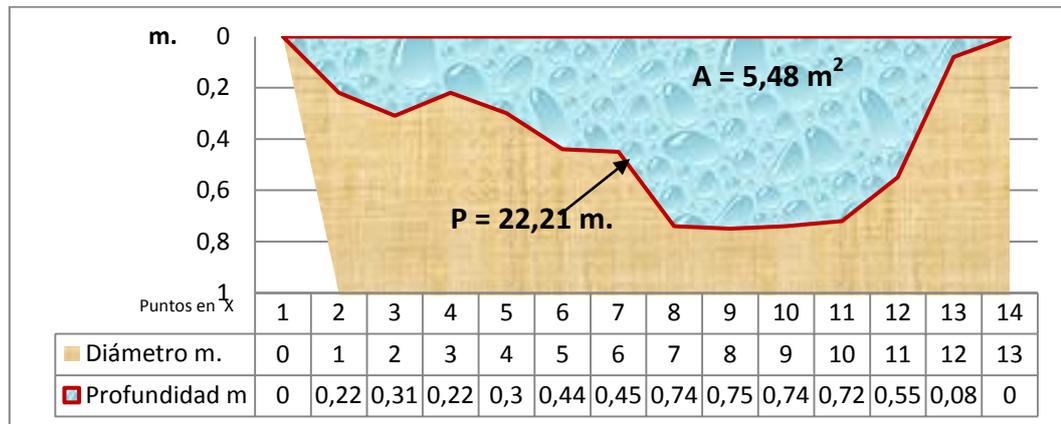
Gráfico 6: Fátima alto entrada



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección Fátima Alto.

Gráfico 7: Fátima alto salida



Fuente: Elaboración propia del autor

En esta sección del río Puyo se puede observar el agua transparente, lo cual facilita ver claramente la presencia de cantos rodados y que a simple vista se observa agua limpia, que debería comprobarse previo a un análisis en laboratorio.

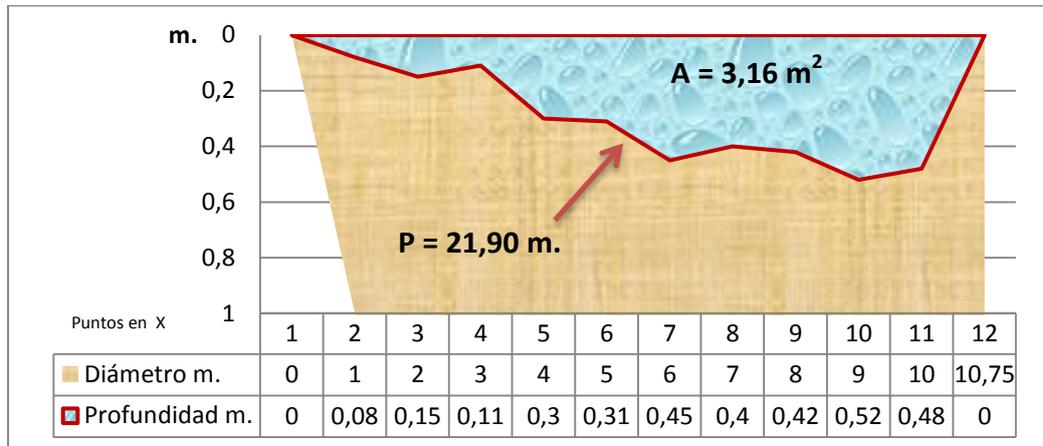
No obstante, a pesar de no existir asentamientos humanos en este sector, podemos observar que el bosque primario ha sido remplazado por hectáreas de gramalote (*Axonopus scoparius*), utilizados para la ganadería, que nos permite deducir que estas aguas del río ya inician contaminadas por efecto de las escorrentías que van lavando los desechos orgánicos del ganado.

Además en esta sección del río las aguas son represadas por la construcción de un dique que es utilizada como balneario artificial potenciando el turismo local, provincial, regional, nacional e internacional.

4.2.2. Fátima bajo

- **Área 1 entrada.**- Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección Fátima bajo.

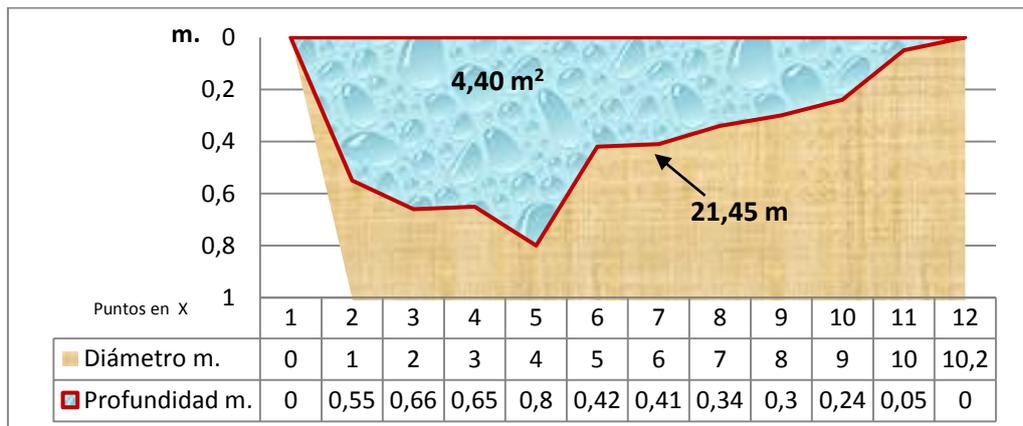
Gráfico 8: Entrada Fátima bajo



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección Fátima bajo.

Gráfico 9: Salida fátima bajo



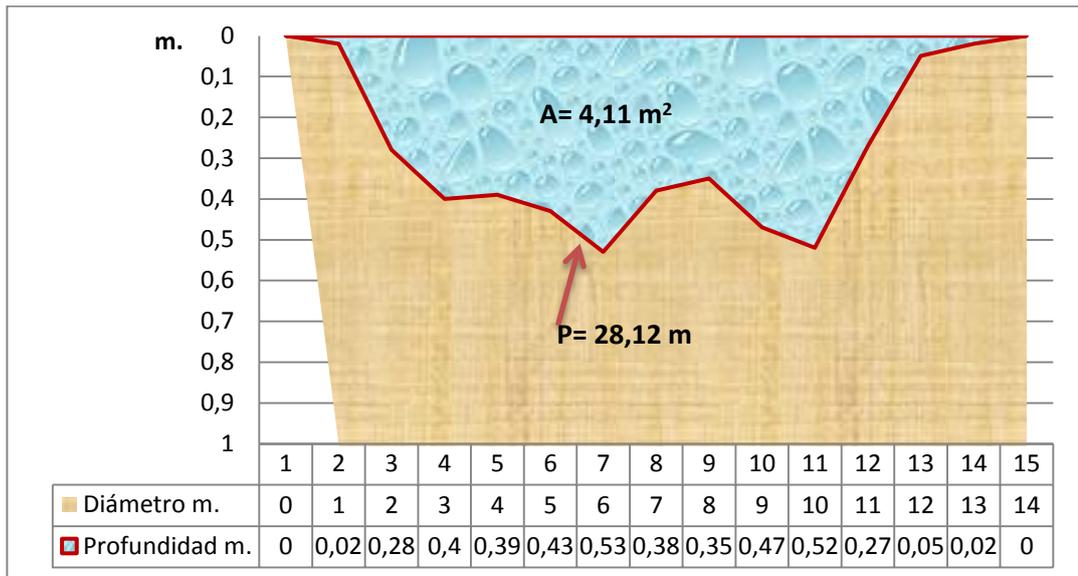
Fuente: Elaboración propia del autor

En la sección de Fátima bajo, se puede notar que el lecho del río ha sufrido alteración ya que existe poca presencia de cantos rodados, pudiendo observarse tierra en el lecho. Se deduce que este fenómeno es debido al aumento del caudal y la alta velocidad del río al momento que se abre las compuertas del dique para realizar el mantenimiento y también en épocas de intensas precipitaciones.

4.2.3. Gasolinera las américas

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de la Gasolinera las Américas.

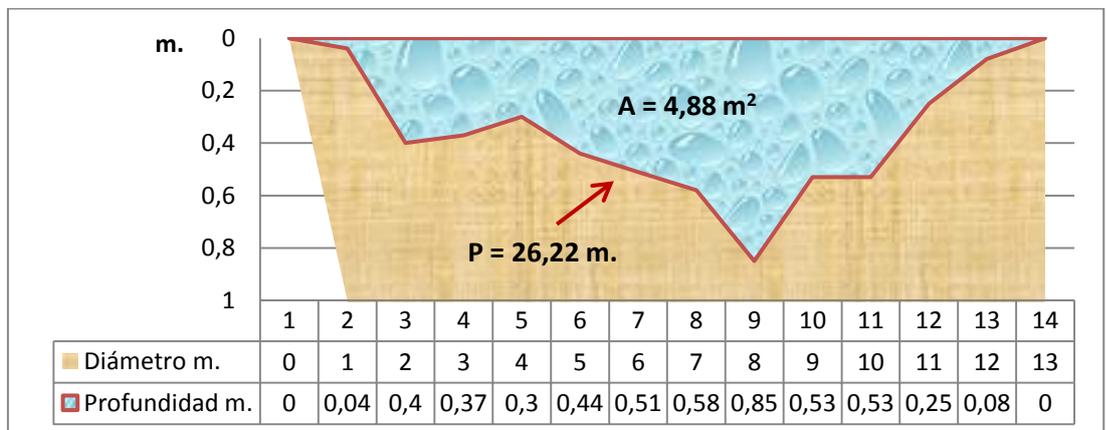
Gráfico 10: Entrada sección las américas



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección Gasolinera las Américas.

Gráfico 11: Salida sección gasolinera las américas



Fuente: Elaboración propia del autor

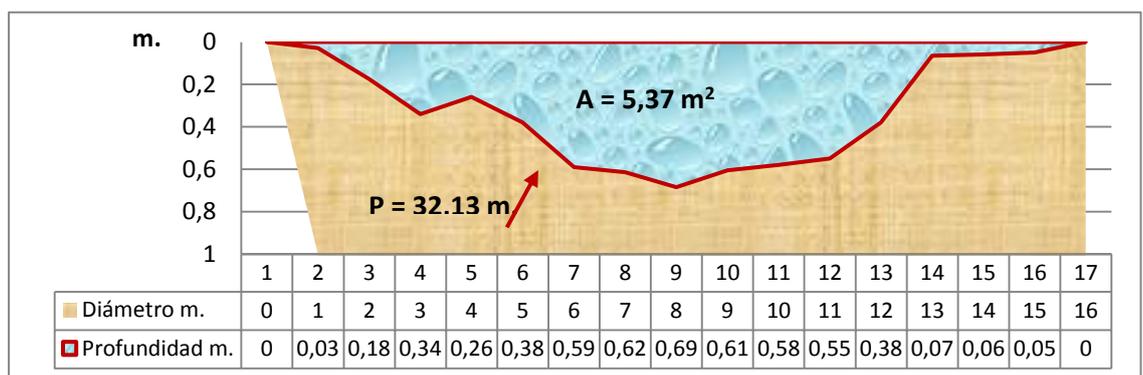
En esta sección no existe variación en el curso del río, se observa una corriente normal, presencia de cantos rodados.

Al margen derecho del río existe bosque secundario y pastizal al margen izquierdo. Además que 100 m. aguas abajo margen izquierdo desemboca un afluente que lo he denominado Pantano, debido a que se origina de un pantano cubierto de pasto alemán (*Echinochloa polystachya*).

4.2.4. Sector puente de las américas

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección Puente de las Américas.

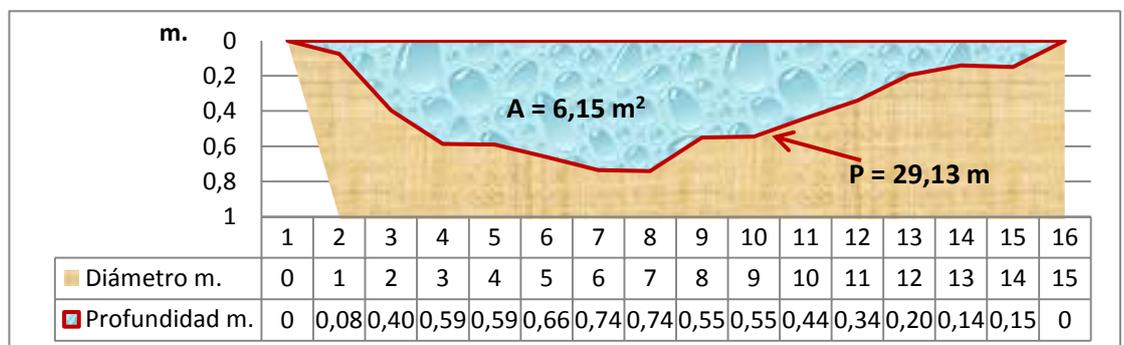
Gráfico 12: Entrada a la sección puente las américas



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección puente de las Américas.

Gráfico 13: Salida de la sección puente las américas



Fuente: Elaboración propia del autor

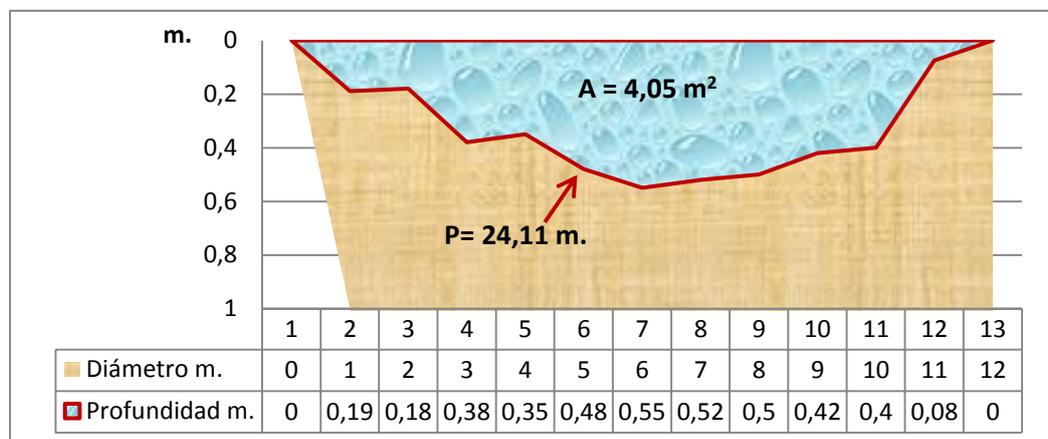
Esta sección se encuentra debajo de un puente. No existe diferencia significativa con respecto a la sección anterior.

Los márgenes están cubiertos por bosque secundario, donde predominan las guaduas (*Guadua angustifolia*) y pingos.

4.2.5. Sector puente Km 2^{1/2}

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del puente en el Km 2 1/2 vía Puyo – Tena.

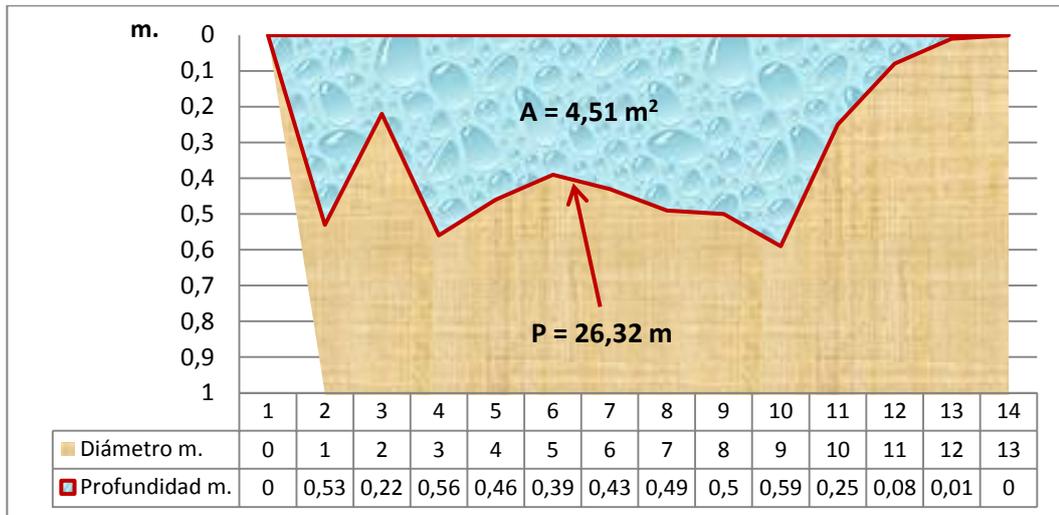
Gráfico 14: Entrada sección puente 2 ½



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del puente en el Km 2 1/2 vía Puyo – Tena.

Gráfico 15: Salida sección puente Km 2 1/2



Fuente: Elaboración propia del autor

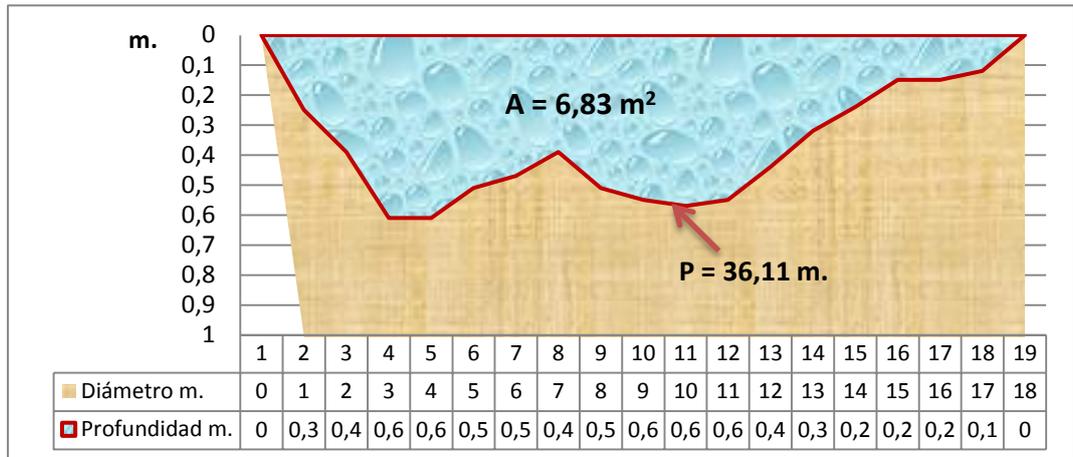
En esta sección se puede observar poca presencia de cantos rodados, además se aprecia que el lecho de río es rocoso con un pequeño salto de río que termina en una poza utilizado por las personas como balneario natural, sin conocer estos que las aguas servidas generados en la Universidad Estatal Amazónica margen derecho y una vivienda restaurant margen izquierdo son vertidos al río.

El resto de sus márgenes se puede apreciar la presencia de realces y arbustos.

4.2.6. Sector del paseo turístico

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del paseo turístico.

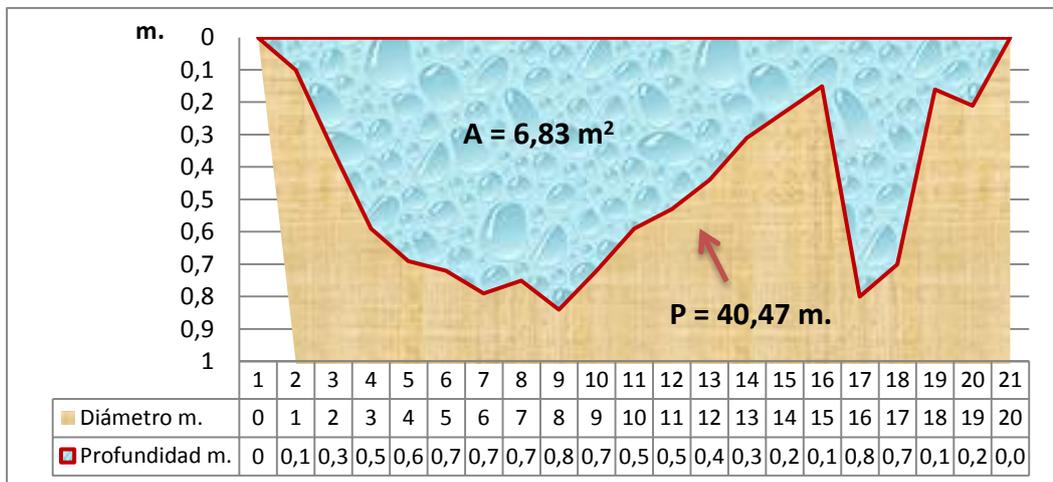
Gráfico 16: Entrada sección paseo turístico



Fuente: Elaboración propia del autor

- Área 2 salida.- Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del paseo turístico.

Gráfico 17: Salida sección paseo turístico

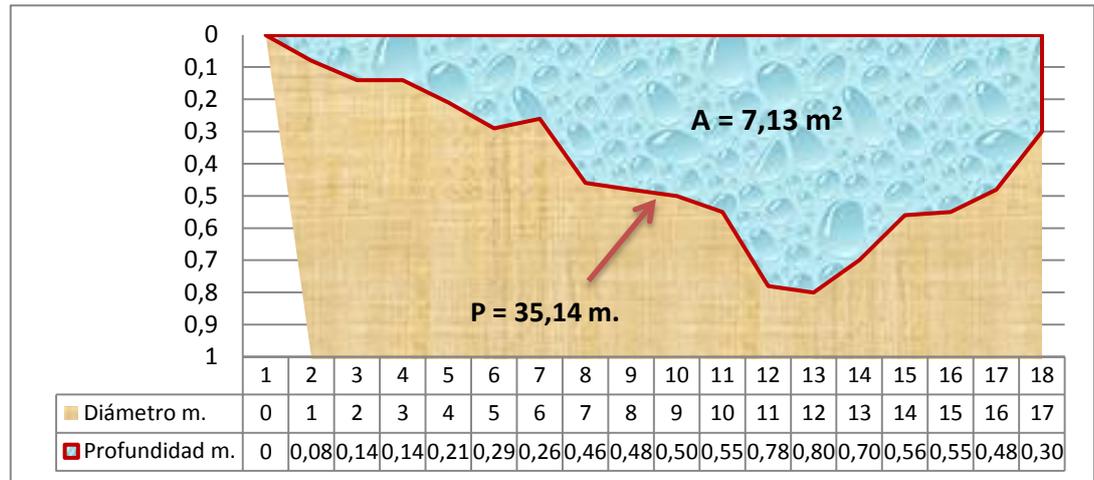


Fuente: Elaboración propia del autor

4.2.7. Sector del puente el obrero

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del puente El Obrero

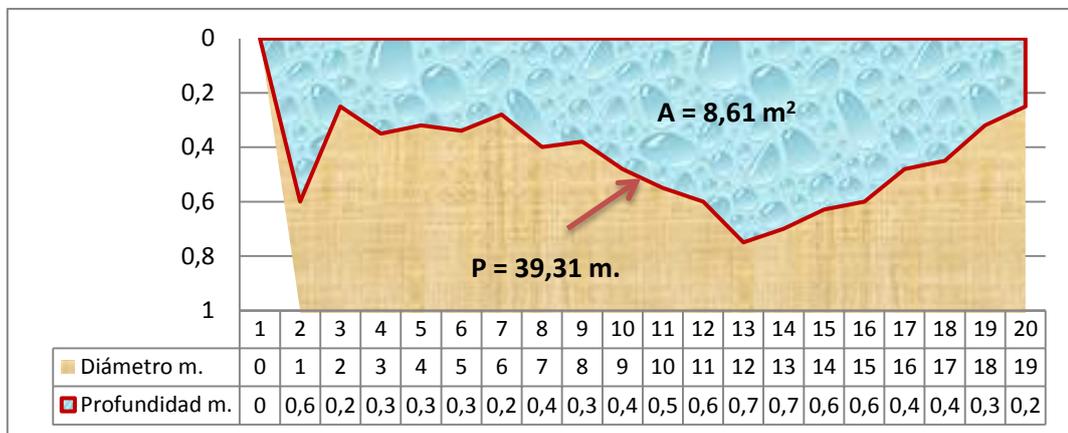
Gráfico 18: Entrada sección puente el obrero



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del puente El Obrero.

Gráfico 19: Salida sección puente el obrero



Fuente: Elaboración propia del autor

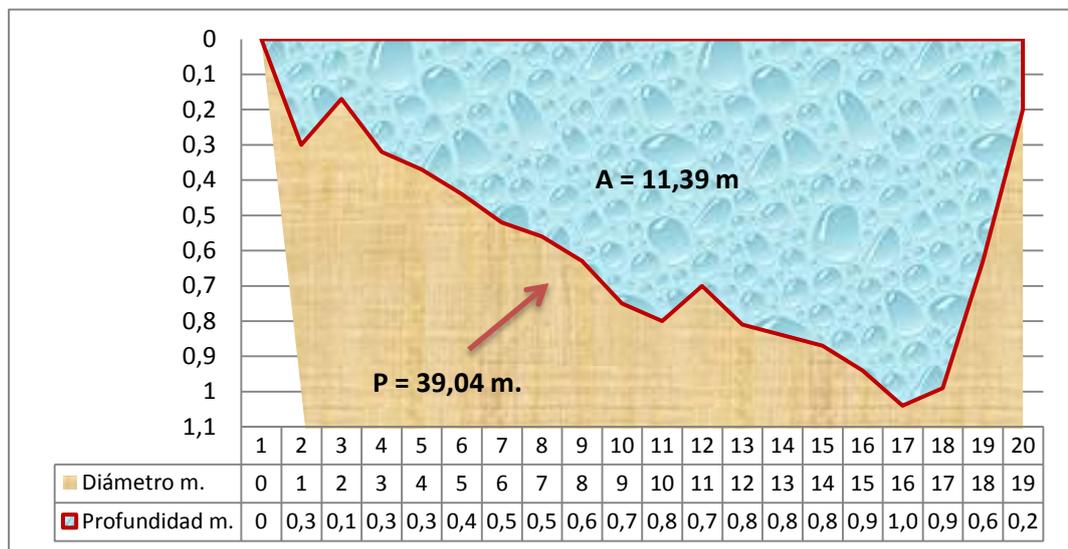
Esta sección presenta cantos rodados además se puede notar la turbidez del agua debido a que 100 m. aguas arriba margen derecho desemboca el río Pambay, el cual está contaminado por aguas residuales descargadas a dicho río por los habitantes del barrio Simón Bolívar.

Al margen derecho se encuentra el complejo del malecón del río Puyo y viviendas del barrio el Obrero, al margen izquierdo se nota la presencia de realce y dos hosterías: Flor de Canela y Orquídea Amazónica que también descargan las aguas residuales al río puyo.

4.2.8. Sector la isla

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de la Isla.

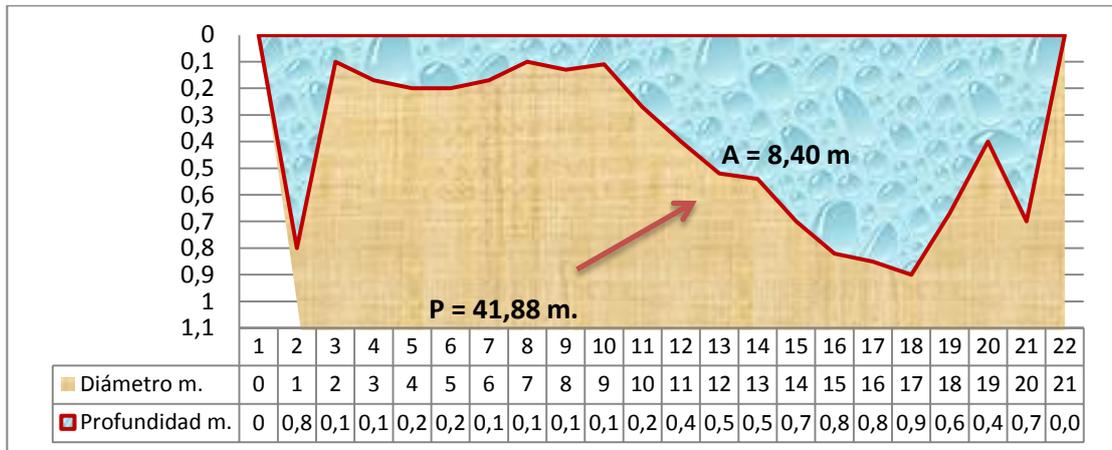
Gráfico 20: Entrada sección la isla



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección de la Isla.

Gráfico 21: Salida sección la isla



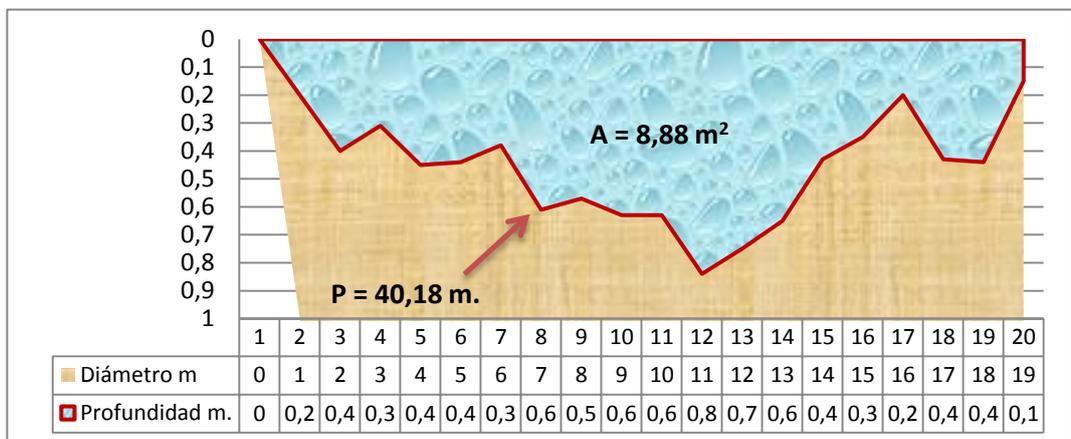
Fuente: Elaboración propia del autor

En esta sección se puede observar claramente la presencia de materia orgánica y sólidos suspendidos, a 100 m arriba margen derecha desemboca el río Citayacu que atraviesa la ciudad de Puyo especialmente todo el sector de los barrios El Obrero y Primero de Mayo. En su margen izquierdo existen presencia de bosque secundario con realces y arbustos, en su margen derecho existen especies arbustivas y viviendas del sector denominado La Isla.

4.2.9. El estadio

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del estadio.

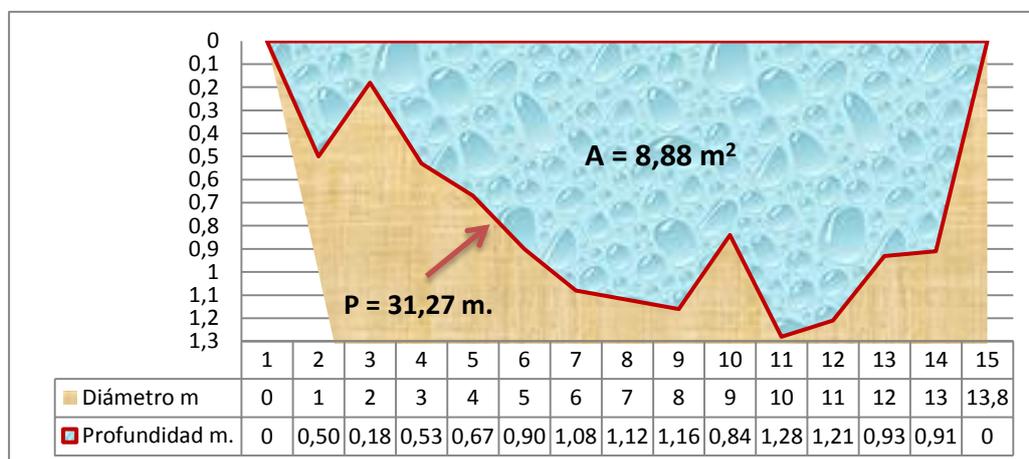
Gráfico 22: Entrada sección del estadio



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del estadio.

Gráfico 23: Salida sección del estadio



Fuente: Elaboración propia del autor

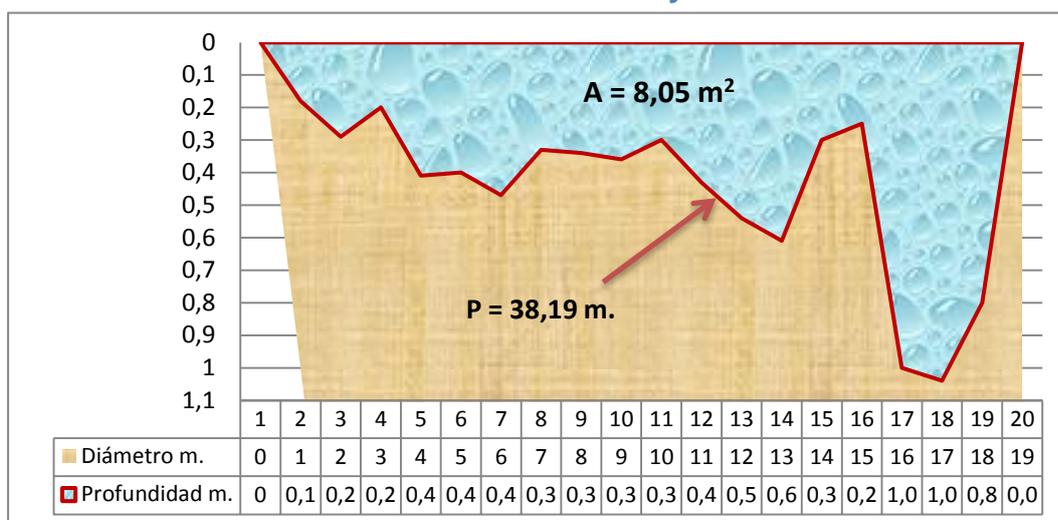
En esta sección existe presencia de cantos rodados, se observa materia orgánica flotante y su corriente se torna tranquila. Se pudo observar que este sector se ha convertido en botadero de animales domésticos muertos, sin embargo a 30 m. aguas abajo es utilizado como balneario natural por algunas personas.

En su margen izquierdo existe presencia de bosque secundario y pastizales y en su margen derecho se encuentra la pista de motocross y el estadio Víctor Hugo Georgis.

4.2.10. Sector chilcayacu

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección Chilcayacu.

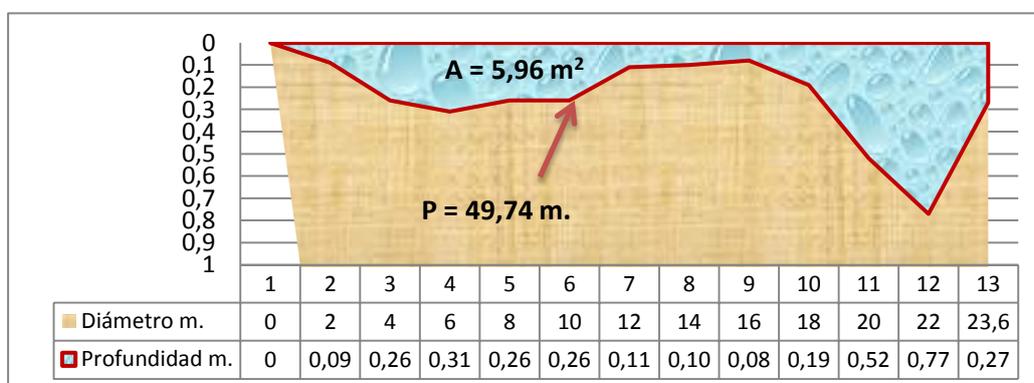
Gráfico 24: Entrada sección Chilcayacu



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección Chilcayacu.

Gráfico 25: Salida sección Chilcayacu



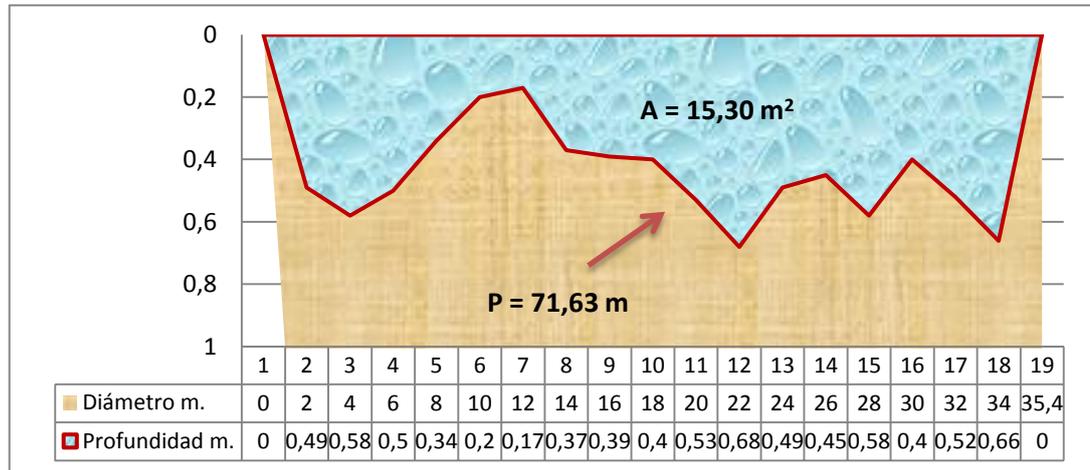
Fuente: Elaboración propia del autor

En esta sección se observó cantos rodados y partes de lecho rocoso, sus aguas presentan poca turbulencia. En sus dos márgenes existen presencia de arbustos, pasto gramalote y cultivo de caña al margen izquierdo.

4.2.11. Puente el paico

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección puente el Paico.

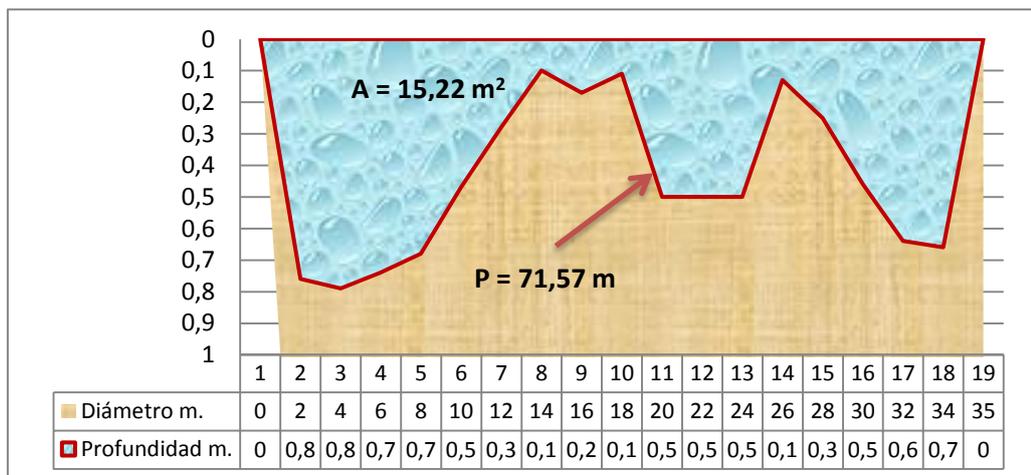
Gráfico 26: Entrada sección puente el paico



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección puente el Paico.

Gráfico 27: Salida sección puente el paico



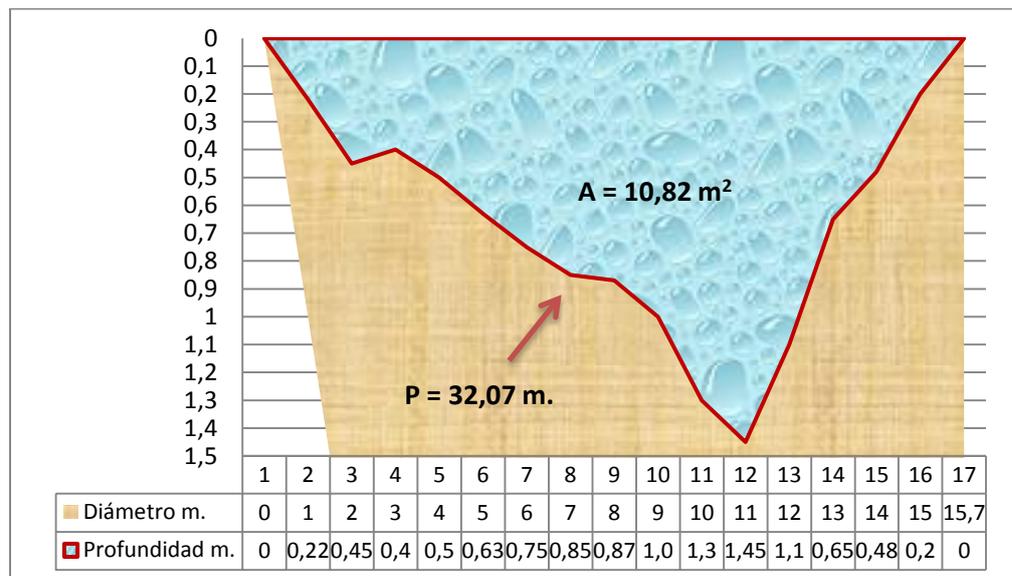
Fuente: Elaboración propia del autor

En esta sección el río forma una pequeña bifurcación de unos 100 m. aproximadamente, dejando una pequeña isla. Se observa cantos rodados y en sus márgenes la presencia de bosque secundario además de realces y arbustos. En su margen izquierdo se observa plantas de guaguas, guabas y una vivienda que descarga sus aguas residuales en el lugar mismo de la sección de medición. Además a 50 metros aguas arriba al margen derecho desemboca el estero Jatunyacu formando un pequeño salto de río.

4.2.12. Los ángeles

- **Área 1 entrada.**- Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de los Ángeles.

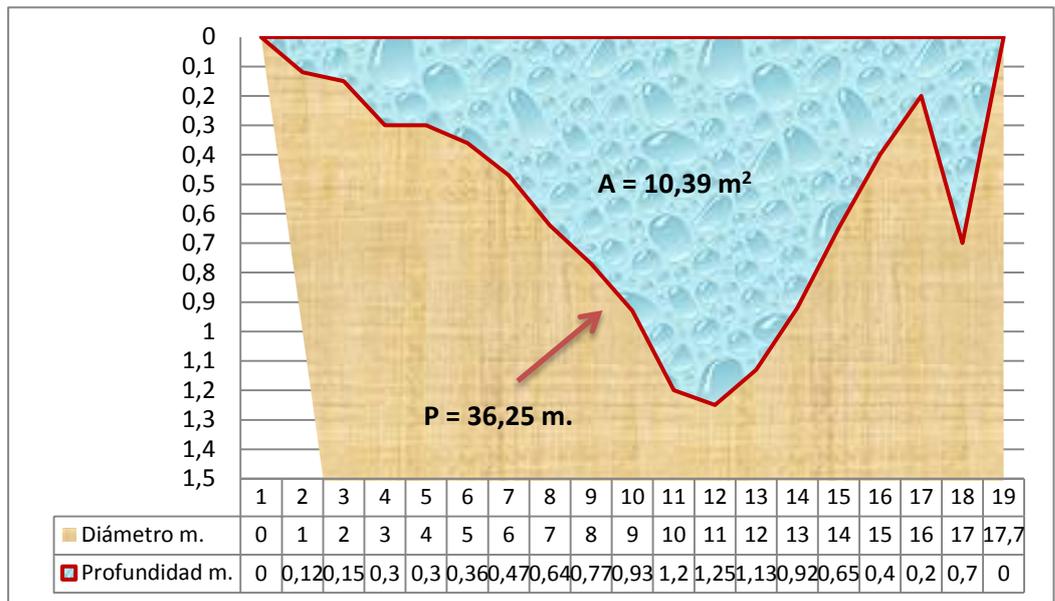
Gráfico 28: Entrada sección los ángeles



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.**- Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección de los Ángeles.

Gráfico 29: Salida sección los ángeles



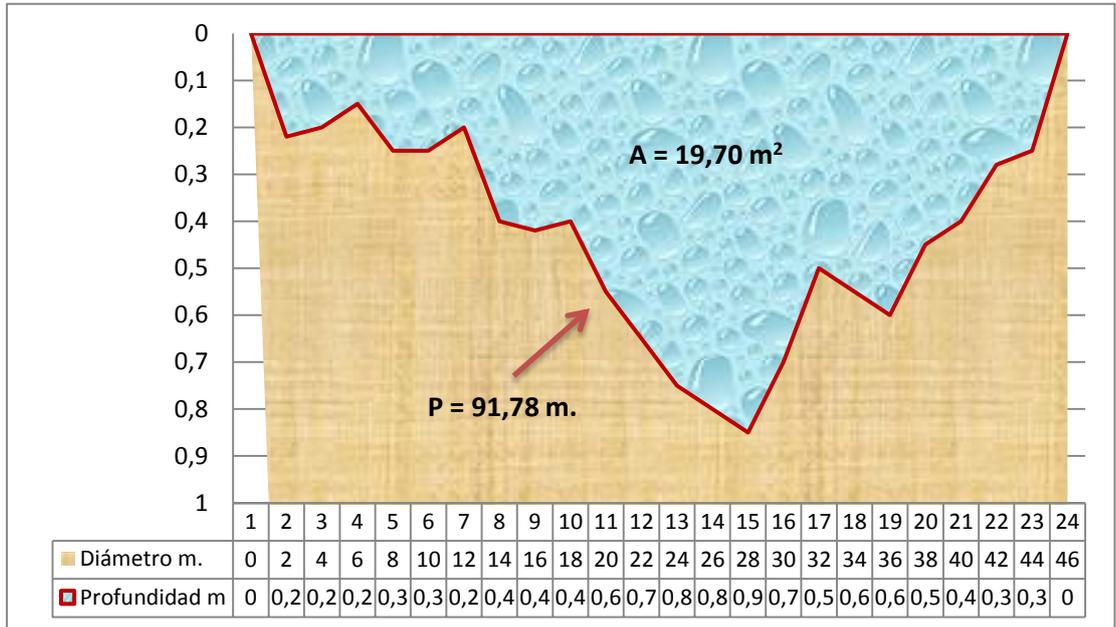
Fuente: Elaboración propia del autor

En esta sección también existe una pequeña bifurcación de 60 m. aproximadamente la cual forma una pequeña isla con arbustos, se puede observar la presencia de cantos rodados, sus aguas se observan cristalinas y poca turbulencia. Al margen izquierdo se observan arbustos y pastizales, mientras que al margen derecho existe cultivos de papa china (*Colocasia esculenta*) y un criadero de cerdos que depositan sus desechos al río.

4.2.13. Sector sandalias

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del sector Sandalias.

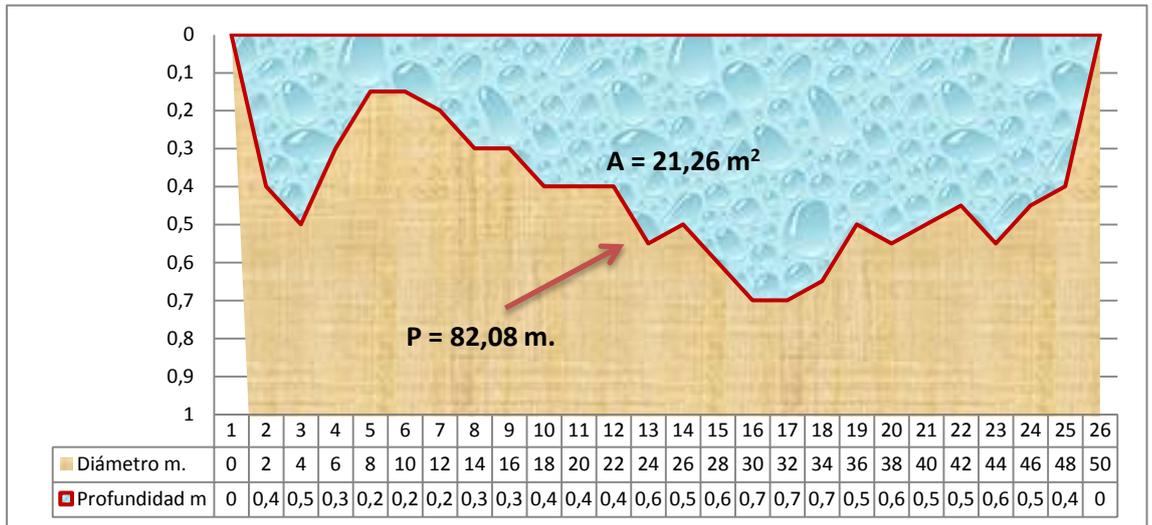
Gráfico 30: Entrada sección sandalias



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salda.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del sector Sandalias.

Gráfico 31: Salida sección sandalias



Fuente: Elaboración propia del autor

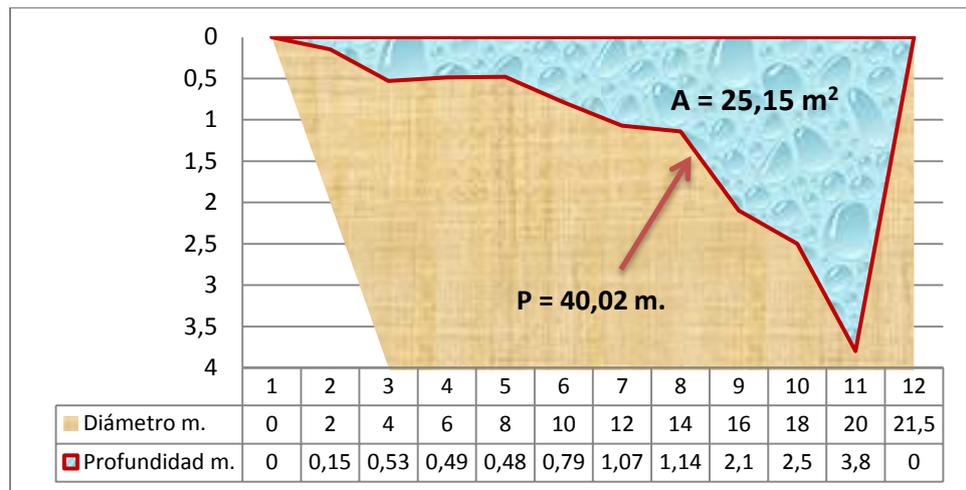
En esta sección existe cantidad de cantos rodados, poca turbulencia y es la sección más ancha en donde se tomó la medición, a 100 m. aguas

arriba margen izquierdo desemboca el río Sandalias, además en sus márgenes se observa la presencia de bosque secundario y primario.

4.2.14. Unión base alto

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de Unión Base Alto.

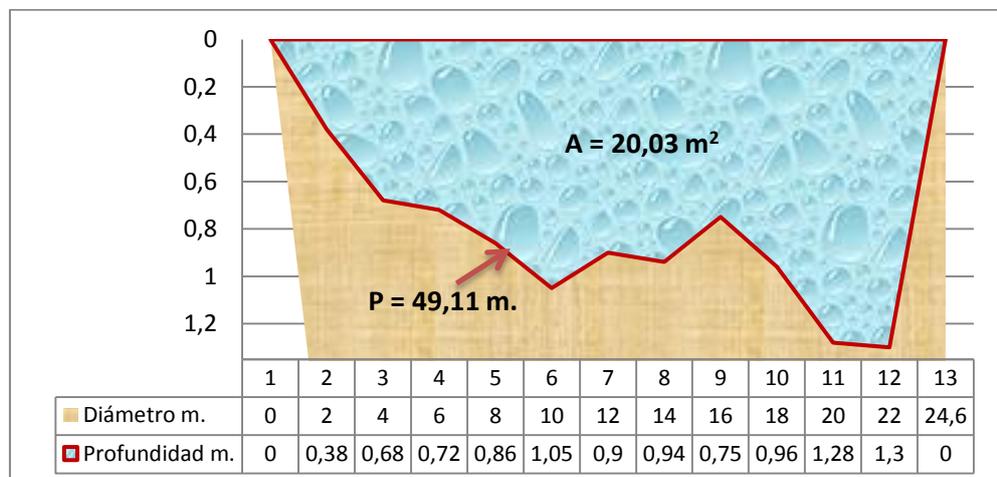
Gráfico 32: Entrada sección unión base alto



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección de Unión Base Alto.

Gráfico 33: Salida sección unión base alto



Fuente: Elaboración propia del autor

Esta sección fue la que presentó mayor dificultad de medición debido a la profundidad de río, por lo que tuvo que utilizarse boyas para la toma de datos.

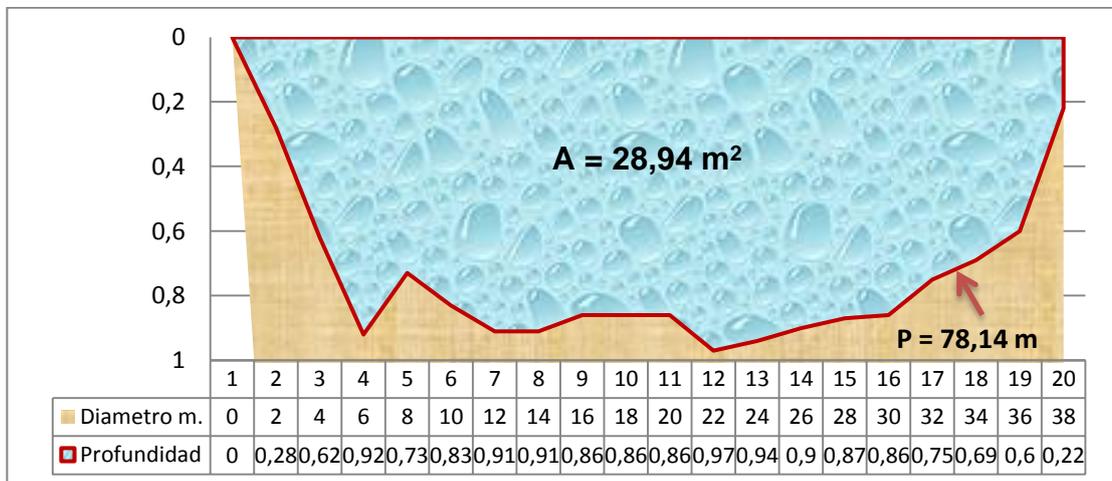
Al margen izquierdo se observa una montaña de donde cae una pequeña cascada formando una poza en el lugar, se puede presenciar bosque primario y secundario.

Al margen derecho se observa pequeños arbustos y cultivos de ciclo corto como yuca, plátano y una vivienda del Sr. Antonio Vargas, quienes descargan sus aguas residuales al río.

4.2.15. Unión base bajo

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de Unión Base Bajo.

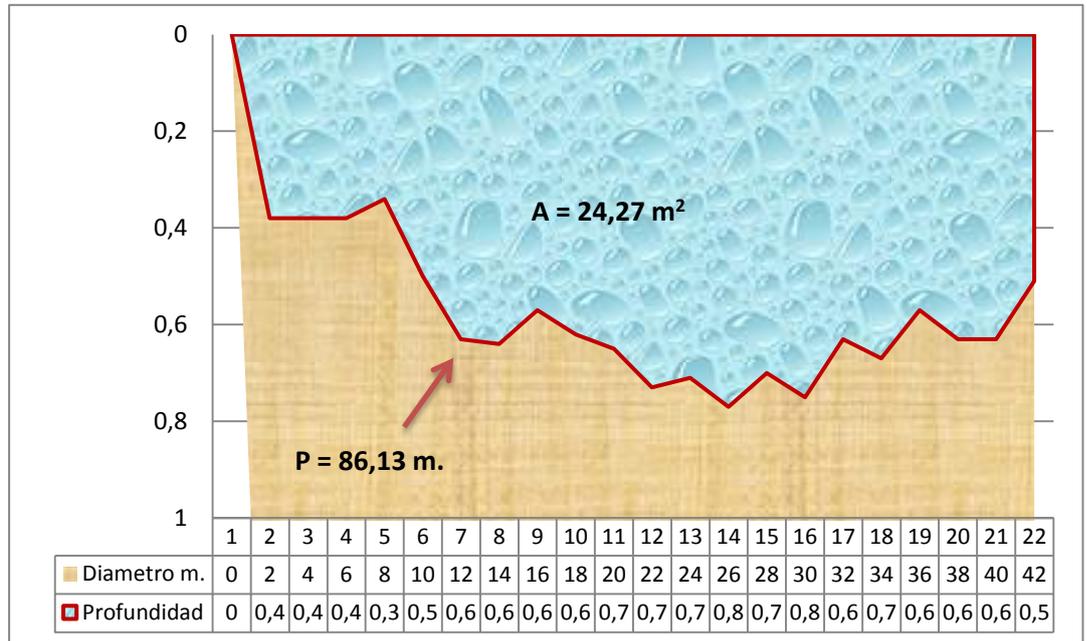
Gráfico 34: Entrada sección unión base bajo



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección de Unión Base Bajo.

Gráfico 35: Salida sección unión base bajo



Fuente: Elaboración propia del autor

Esta sección es el final del área de estudio de la subcuenca media del río Puyo donde se midieron las variables hidrológicas, a simple vista el agua es clara, se puede observar cantos rodados, incluso pequeños peces. A sus márgenes existe arbustos y bosque secundario, al margen derecho una vivienda y pequeños cultivos de ciclo corto como: plátano y yuca, además existe una letrina utilizado por las personas que habitan en una vivienda los mismos que descargan los desechos directamente al río.

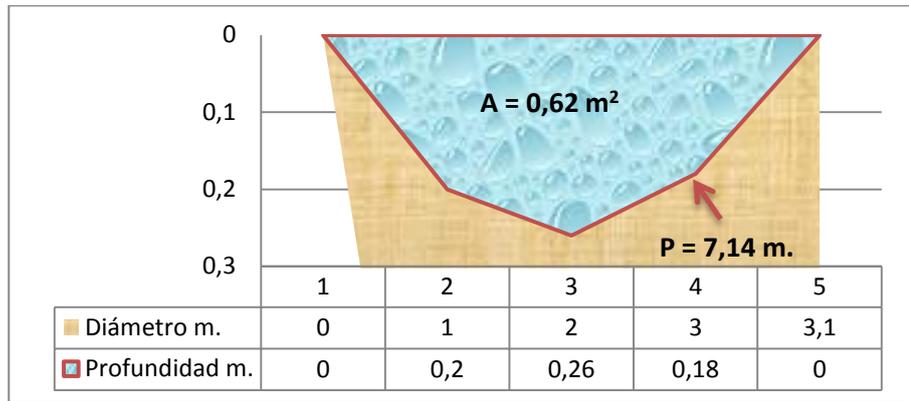
Sin embargo en esta sección se pudo notar que es utilizado como balneario natural por cuanto se observó a personas bañándose y en actividades de lavado de ropa y pesca.

4.3. Principales afluentes donde se realizó el cálculo de variables hidrológicas

4.3.1. El pantano

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de El Pantano.

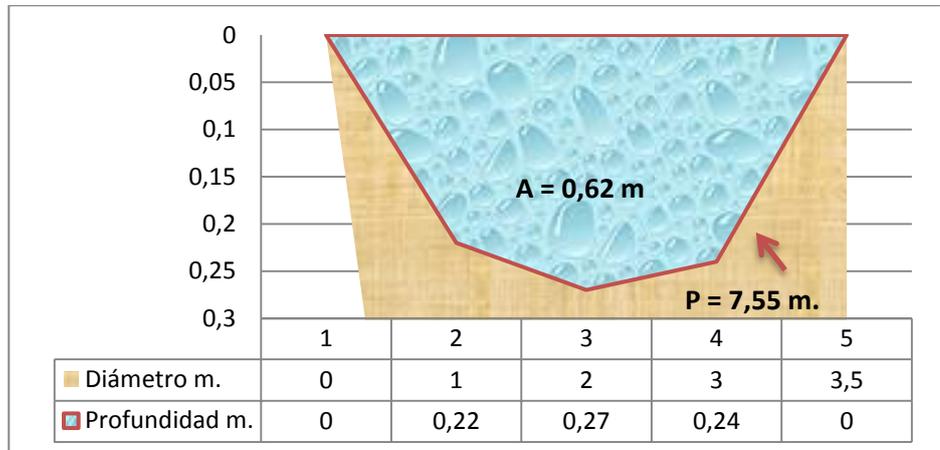
Gráfico 36: Entrada sección el pantano



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección de El Pantano.

Gráfico 37: Salida sección el pantano



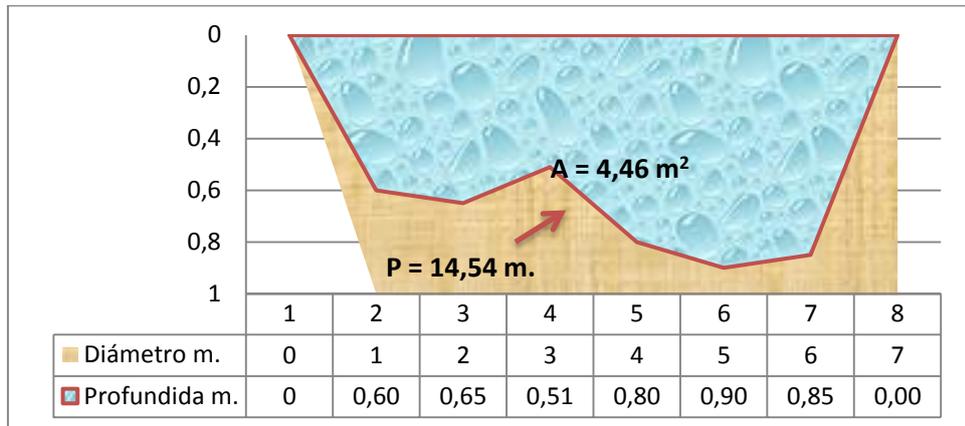
Fuente: Elaboración propia del autor

Esta sección presenta piedras recubiertas con musgos, sus márgenes están rodeados de pasto alemán (*Echinochloa polystachya*), arbustos y matorrales de difícil acceso.

4.3.2. Churoyacu

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del río Churoyacu.

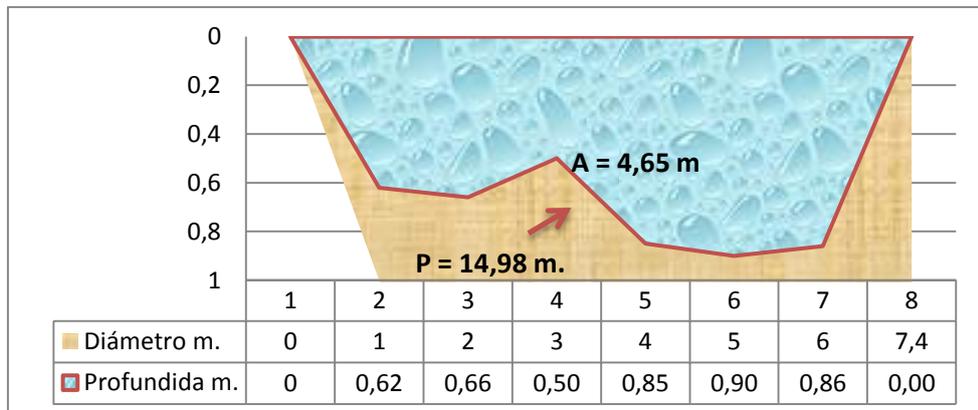
Gráfico 38: Entrada sección churuyacu



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del río Churuyacu.

Gráfico 39: Salida sección churuyacu



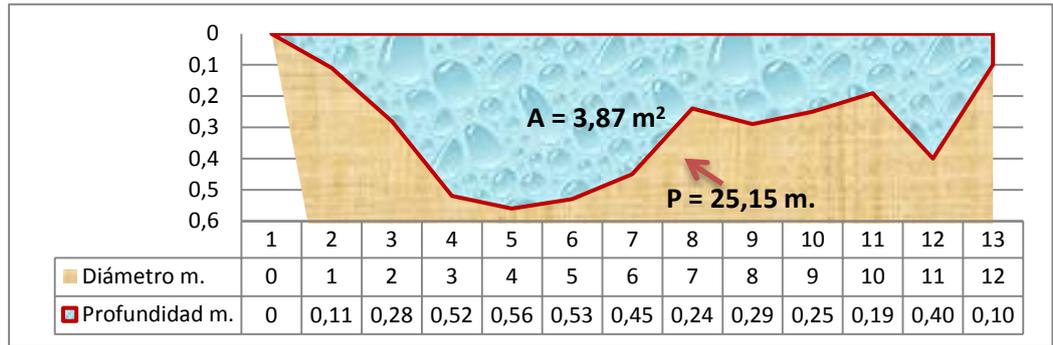
Fuente: Elaboración propia del autor

Esta sección de río tiene a sus márgenes realces y arbustos además de pastos de gramalote (*Axonopus scoparius*), sus aguas son claras y se puede notar presencia de caracoles y pequeños peces (*Pomacea caniculata*).

4.3.3. Pambay

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del río Pambay.

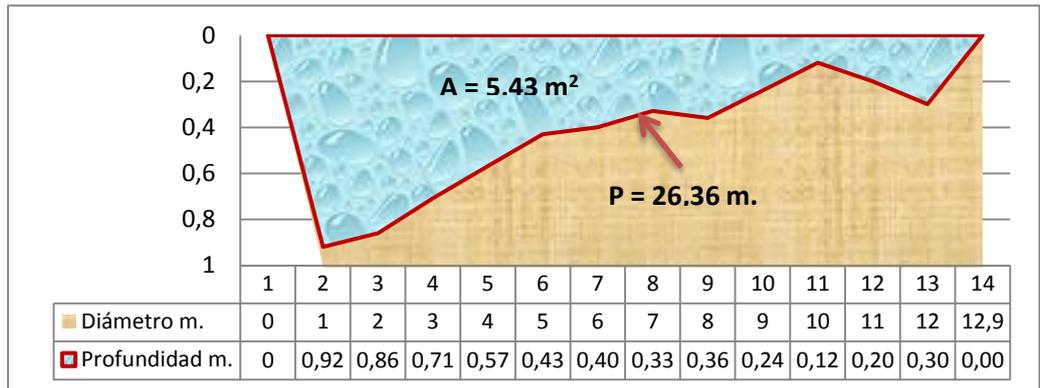
Gráfico 40: Entrada sección río Pambay



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del Pambay.

Gráfico 41: Salida sección río Pambay



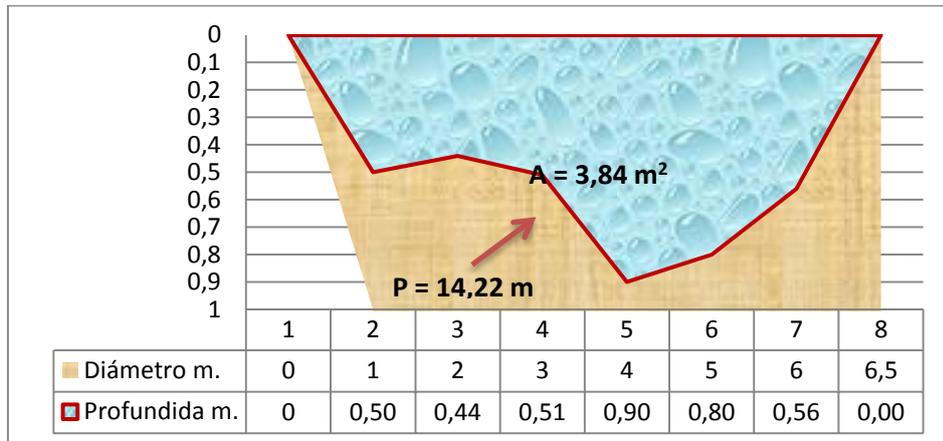
Fuente: Elaboración propia del autor

Esta sección presenta cantos rodados recubiertos con musgos y algas, sus márgenes presentan arbustos y pequeños matorrales, aquí podemos observar que las aguas residuales de las viviendas del barrio Simón Bolívar son descargadas directamente al río Pambay que luego desemboca al río Puyo. También se puede observar materia orgánica y sólidos suspendidos

4.3.4. Citayacu

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección de Citayacu.

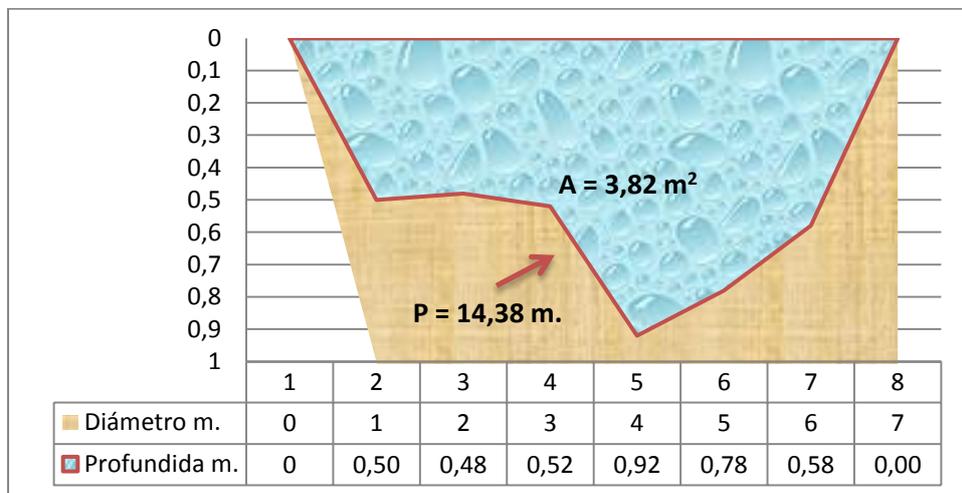
Gráfico 42: Entrada sección río Citayacu



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salda.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección de Citayacu.

Gráfico 43: Salida sección del río Citayacu



Fuente: Elaboración propia del autor

La sección de este río presenta su lecho arenoso, sus aguas son turbias, pudiendo observarse materia fecal flotante y fluido aceitoso sobre el agua.

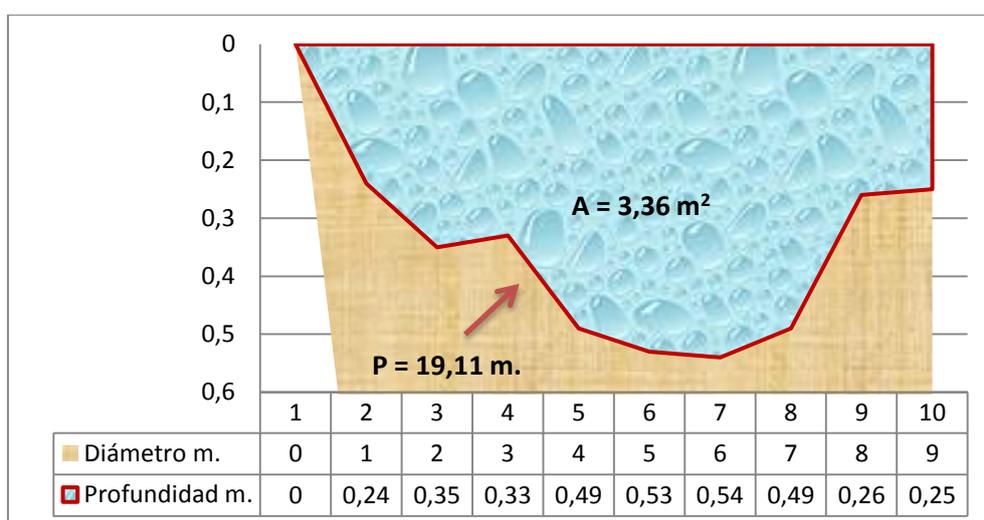
En su margen derecho existe la hostería Posada Real y una vulcanizadora que descargan sus aguas residuales directamente al río, además de observarse matorrales especialmente al margen izquierdo.

Cabe señalar que este río atraviesa los barrios el Obrero y Primero de Mayo, llevando consigo todas las descargas directas de aguas residuales de algunas viviendas, mecánicas, lavadoras, vulcanizadoras, inclusive de las alcantarillas, los cuales son descargados específicamente bajo el puente de la calle Loja que conduce al malecón.

4.3.5. Chilcayacu

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del río Chilcayacu.

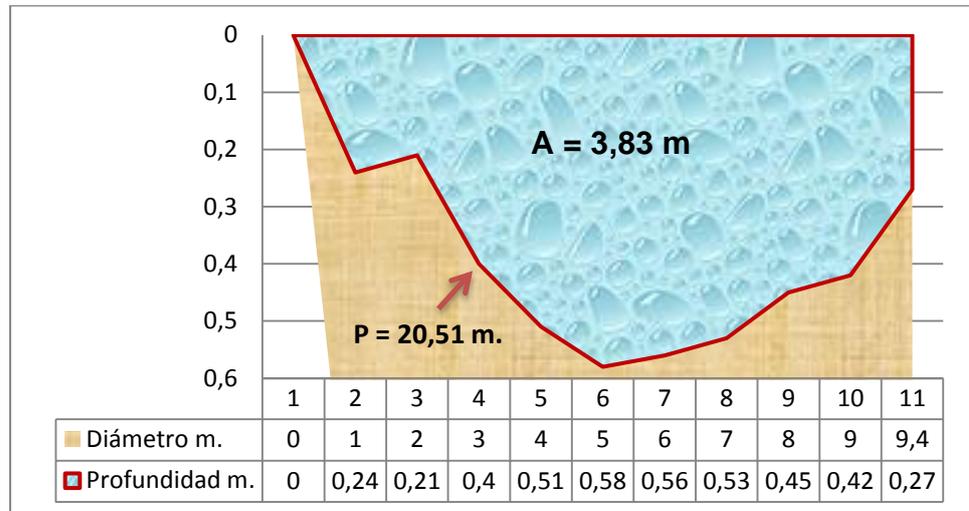
Gráfico 44: Entrada sección río chilcayacu



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del río Chilcayacu.

Gráfico 45: Salida sección río Chilcayacu



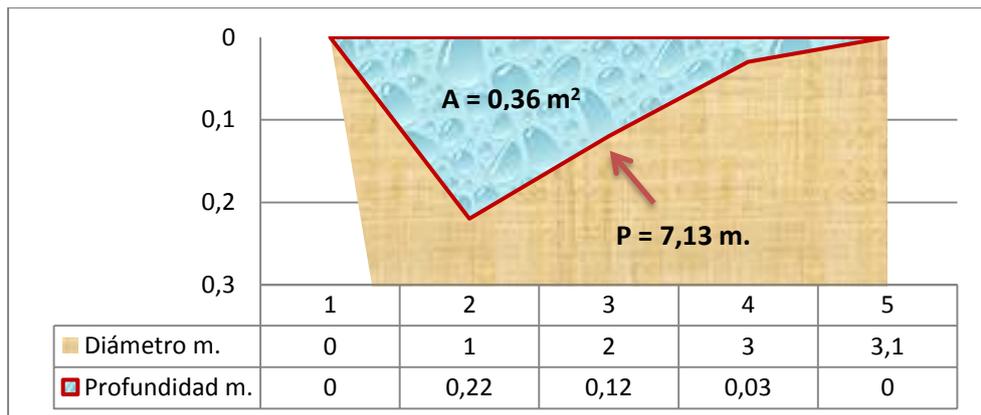
Fuente: Elaboración propia del autor

Esta sección del río presenta cantos rodados cubiertas por algas acuáticas resbaladizas, en sus márgenes presenta arbustos, matorrales y pasto gramalote (*Axonopus scoparius*).

4.3.6. Jatunyacu

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del río Jatunyaku.

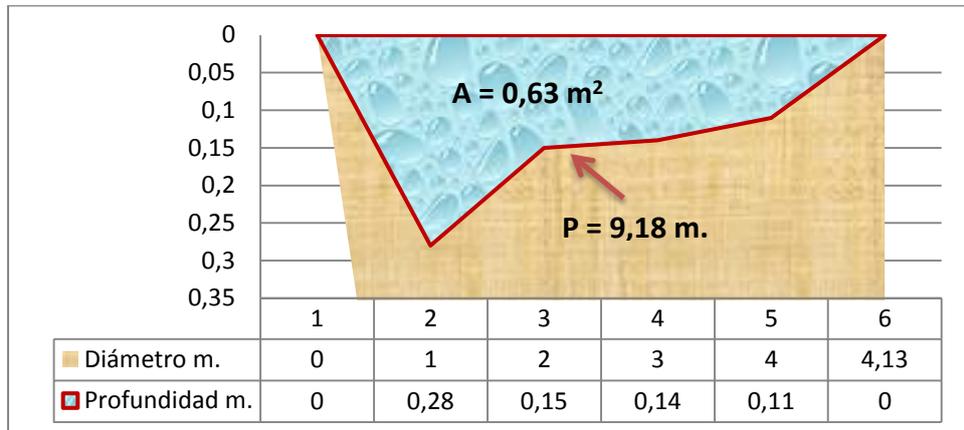
Gráfico 46: Entrada sección río Jatunyaku



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del río Jatunyaku.

Gráfico 47: Salida sección río Jatunyaku



Fuente: Elaboración propia del autor

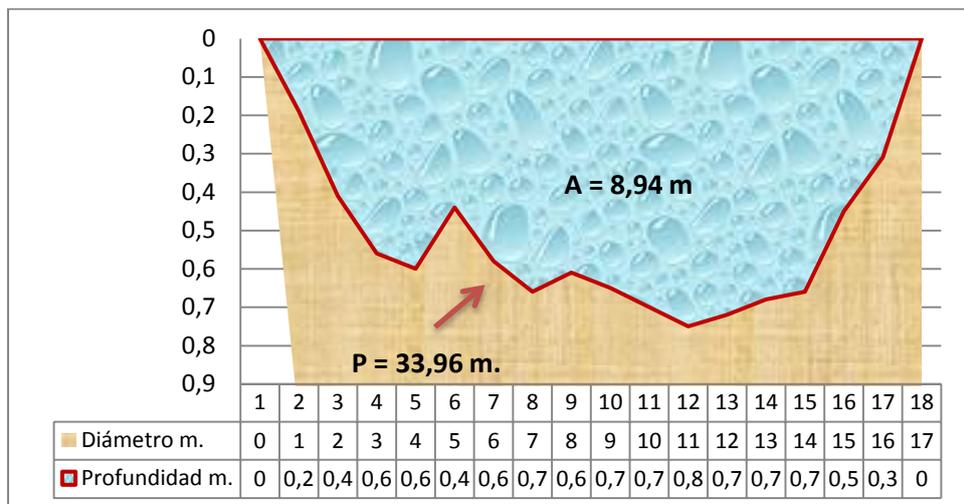
Esta sección de río presenta su lecho fangoso con algas amarillentas, sin embargo sus aguas se ven cristalinas.

Estas aguas son utilizadas como receptoras de aguas residuales de las viviendas existentes en el barrio de la cooperativa de vivienda de los militares.

4.3.7. Río sandalias

- **Área 1 entrada.-** Área mojada y perímetro de mojado promedio a la entrada de la sección del río Sandalias.

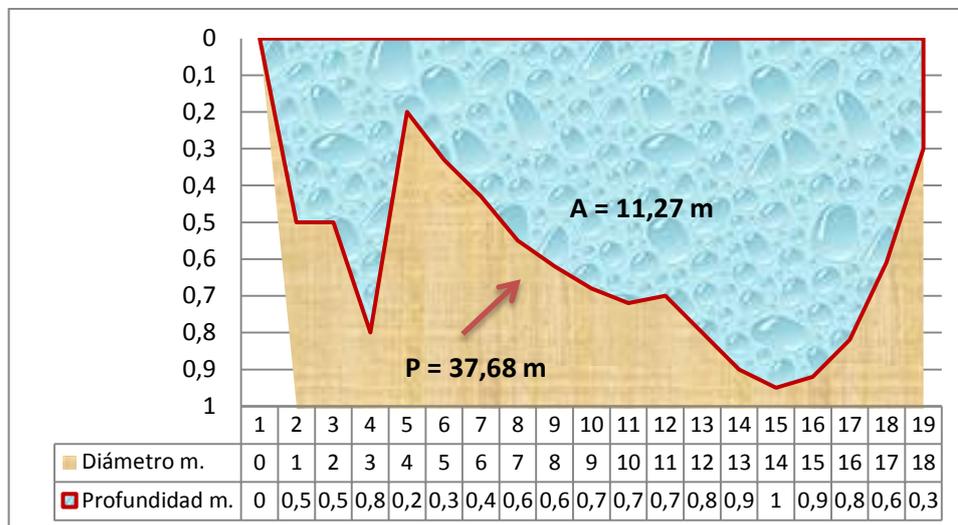
Gráfico 48: Entrada sección río Sandalias



Fuente: Elaboración propia del autor

- **Área 2 salida.**- Área mojada y perímetro de mojado promedio a la salida de la sección del río Sandalias.

Gráfico 49: Salida sección río Sandalias



Fuente: Elaboración propia del autor

En esta sección del río se pudo notar la presencia de pequeños cantos rodados recubiertas con pequeñas algas, aguas claras y pequeños peces. Este río no presenta las condiciones aptas para consumo humano ya que aquí son depositado las descargas de aguas residuales de la parroquia Veracruz, sin embargo es utilizada como balneario natural y para la pesca deportiva.

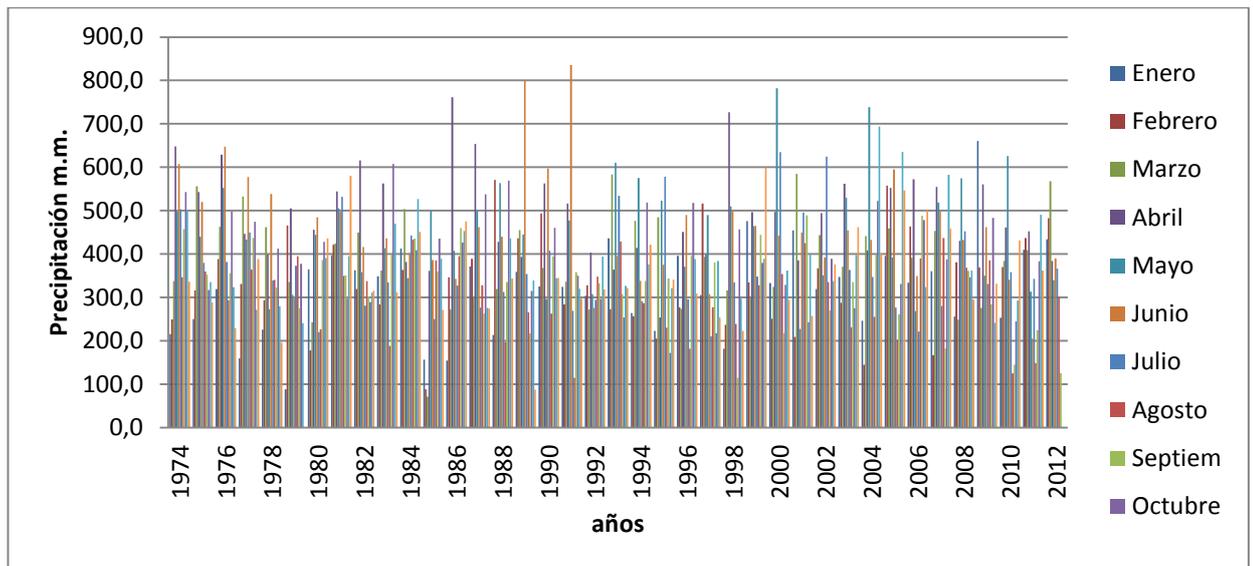
4.4. Datos de precipitación mensual de los años 1974 – 2012

Tabla 5: Precipitación años 1974 - 2012

Año	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Diciem
1974	215,7	249,3	337,4	647,9	497,9	607,9	503,1	346,2	457,2	542,9	501,2	336,2
1975	250,0	316,2	555,9	543,0	439,6	520,3	379,6	359,8	352,4	317,3	335,2	288,1
1976	318,90	388,70	462,40	629,00	552,50	647,20	381,90	293,30	355,80	498,10	323,40	229,40
1977	159,80	331,30	532,90	446,70	433,40	577,30	449,70	363,80	437,10	474,20	271,30	388,20
1978	225,9	293,3	461,8	398,8	273,1	538,3	339,0	340,9	323,0	412,9	279,8	195,7
1979	88,20	465,60	335,50	505,40	306,20	300,60	372,80	394,80	275,20	377,20	240,80	
1980	364,8	178,0	242,6	456,4	444,1	484,5	220,3	226,2	386,4	428,4	390,4	435,9
1981	397,5	421,2	424,6	544,7	505,4	497,2	531,7	349,3	351,1	296,9	395,0	580,5
1982	363,0	319,4	449,6	615,8	358,2	416,1	280,7	337,4	302,6	289,2	311,2	315,7
1983	348,5	283,7	361,6	563,0	413,4	436,1	334,9	188,1	398,9	607,5	470,2	311,8
1984	413,0	363,3	504,0	381,7	344,1	402,4	443,0	433,4	435,5	408,8	527,0	451,0
1985	156,90	88,60	71,50	360,90	500,20	386,50	249,90	385,80	359,80	435,40	388,90	271,10
1986	154,8	346,7	272,1	761,7	407,8	342,5	327,1	395,1	459,4	426,8	452,9	475,0
1987	371,5	389,0	302,1	654,1	499,4	461,9	276,5	327,8	262,9	537,7	275,6	274,4
1988	213,3	570,8	319,5	428,2	563,6	440,2	312,6	197,1	335,1	569,5	435,9	343,6
1989	359,0	436,1	455,0	393,7	445,4	799,5	354,1	265,6	216,8	314,6	339,2	87,6
1990	325,1	493,3	367,9	563,1	296,7	597,4	407,8	262,9	394,2	460,6	343,9	345,1
1991	324,6	284,1	336,2	516,6	477,2	835,7	269,3	114,8	358,5	350,4	319,7	297,0
1992	304,1	327,9	272,3	403,2	307,3	275,8	294,4	348,3	332,2	296,1	394,1	318,6
1993	436,5	272,9	583,2	364,4	610,7	395,5	534,0	428,6	307,7	253,8	326,3	321,1
1994	263,8	256,9	476,6	414,4	575,4	338,6	291,3	286,9	337,9	518,8	375,7	421,3
1995	222,9	205,2	484,9	254,1	522,7	375,0	578,3	230,3	343,2	171,9	321,3	341,3
1996	395,9	277,3	274,0	451,1	370,4	490,0	295,8	181,8	395,9	518,1	388,5	308,6
1997	305,0	516,2	393,4	398,6	490,1	307,5	210,4	277,3	380,6	217,7	384,3	253,8
1998	181,6	236,8	316,2	727,1	509,8	502,5	334,7	239,3	115,0	456,8	297,0	222,6
1999	476,3	334,8	300,3	496,6	464,0	465,1	347,9	328,2	444,1	379,7	388,9	599,7
2000	333,4	250,5	324,5	497,4	782,3	442,4	634,8	353,6	217,5	329,0	362,2	294,0
2001	454,3	208,8	584,5	385,7	227	449,3	495,7	425,3	489,4	242,7	400,5	257,8
2002	319,2	367,2	443,5	494,6	351,1	392,2	624,8	335,4	269,7	388,9	338,0	375,8
2003	346,9	287,7	371,0	562,1	529,7	454,7	363,4	230,9	335,7	275,3	398,1	461,8
2004	246,4	144,7	441,3	408,6	738,7	432,4	347,1	255,3	398,6	522,3	693,5	400,9
2005	395,8	557,5	459,1	552,1	392,2	595,1	276,9	202,2	261,5	331,3	635,6	546,8
2006	334,3	463,7	391,2	572	268,7	349,1	221,1	389,6	488,7	478	323,8	500,6
2007	360,7	167	453	555	518,3	499,1	280,5	436,8	182,3	387,5	582,6	458,5
2008	255,7	381	248,4	430,4	574,6	432,2	452,5	368,4	361,1	346,1	362,1	295,1
2009	660,7	369,1	275,8	560,2	350	462	331,3	385,2	283,7	483,5	241	331,6
2010	252,7	370,0	384,3	461	625,9	340,8	358,2	125,4	145,0	244,6	292,8	430,7
2011	410	437,3	409,2	452,7	313,2	205	342,7	148,8	224,1	383,2	491	361,8
2012	434,3	482,5	567,6	383,8	339,5	389,5	366,5	300,6	125,7			

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Gráfico 50: precipitación año 1974 -2012



Fuente: Elaboración propia del autor

Con estos datos de precipitación de 38 años podemos establecer que los meses en donde se han dado mayor precipitación son en marzo y mayo o los primeros semestre de cada año.

El día donde se ha registrado mayor precipitación es el 10 de junio de 1990 con 164,7 mm/día

Los meses de agosto y septiembre son donde se han dado menor precipitación.

4.5. Cálculo de velocidades

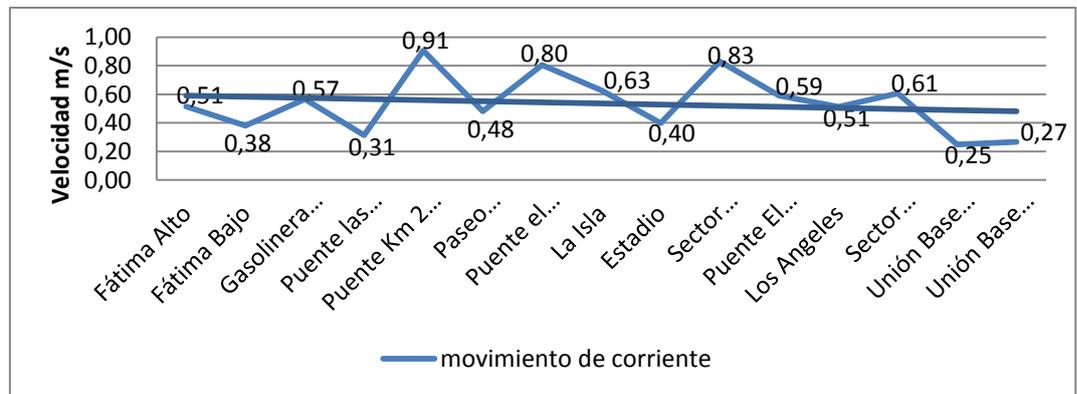
Una vez calculado los caudales y las áreas en cada una de las secciones obtuvimos el promedio de la velocidad del flujo que pasa por cada sección, para determinar el movimiento de corriente sea esto uniforme, uniformemente variado o variado, así tenemos:

Tabla 6: Velocidad promedio en las secciones

Punto	Sector	V. prom. m/s	Q prom m ³ /s	Área m ²
1	Fátima Alto	0,51	2,95	5,4
2	Fátima Bajo	0,38	3,49	1,56
3	Gasolinera las Américas	0,57	4,95	3,18
4	Puente las Americas	0,31	5,25	4,17
5	Puente Km 2 1/2	0,91	5,25	3,86
6	Paseo Turistico	0,48	7,27	6,5
7	Puente el Obrero	0,80	9,88	5,61
8	La Isla	0,63	11,57	9,27
9	Estadio	0,40	12,28	10,09
10	Sector Chilcayacu	0,83	13,70	6,03
11	Puente El Paico	0,59	14,97	10,96
12	Los Angeles	0,51	16,14	8,81
13	Sector Sandalias	0,61	17,03	20,5
14	Unión Base Alto	0,25	20,23	18,09
15	Unión Base bajo	0,27	23,01	27,03
Promedio general		0,54	11,20	9,40

Fuente: Elaboración propia del autor

Gráfico 51: Movimiento de corriente



Fuente: Elaboración propia del autor

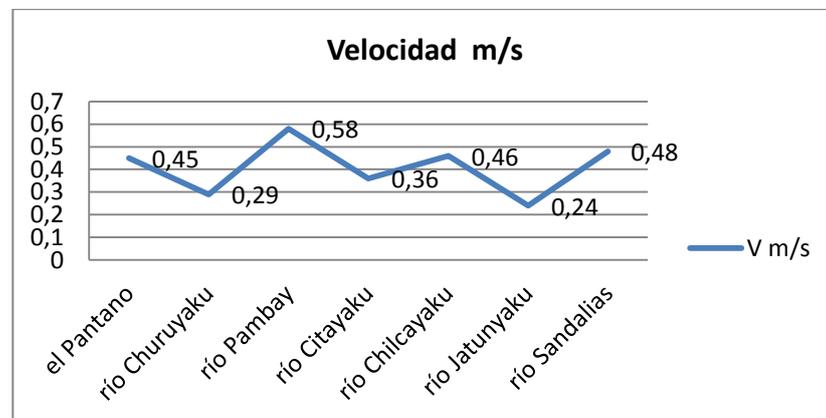
En el gráfico N° 51 observamos que el movimiento de corriente es variado debido a las diferencias de velocidades en cada sección del río, el promedio de velocidad es 0,54 m/s definido como velocidad muy débil según la tabla de Francisco Aparicio, quien define que los ríos con velocidades menores que 1 m/s y una profundidad de 4 m, son ríos con velocidades muy débiles.

Tabla 7: Velocidad promedio en los afluentes

Punto	Afluente	Q m ³ /s	Á m ²	V m/s
16	el Pantano	0,30	0,67	0,45
17	río Churuyaku	1,33	4,56	0,29
18	río Pambay	2,72	4,65	0,58
19	río Citayaku	1,45	3,98	0,36
20	río Chilcayaku	1,65	3,60	0,46
21	río Jatunyaku	0,12	0,50	0,24
22	río Sandalias	4,82	10,11	0,48
	Promedio			0,40

Fuente: Elaboración propia del autor

Gráfico 52: movimiento de corriente en los afluentes



Fuente: Elaboración propia del autor

Como podemos observar en el gráfico, el movimiento de corriente en los afluentes es variado, con un promedio de 0,40 m/s que también lo podemos considerar como corriente muy débil según Francisco Aparicio.

4.6. Balance hídrico de la subcuenca media del río Puyo

Tabla 8: datos climáticos de las fechas en que se realizaron los cálculos

Fecha	T °C		Precipit mm	Tiempo Duración Horas	Ep mm	HRprom %	V viento m/s	Horas luz hr
	mín °C	máx °C						
16-may-12	18,0	26,0	51	3H30	1,9	83,0	0,7	4,2
18-may-12	17,6	27,5	0,1	0H20	0,2	83,0	1,0	1,1
23-may-12	17,0	28,8	3,2	0H11	0,9	80,5	4,0	10,0
08-jun-12	18,6	23,6	29,1	7H30	2,4	92,5	0,9	0,7

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, estación Veracruz (INAMHI, 2012)

Datos generales:

Kc = coeficiente de compacidad: coeficiente de cultivo que lo asumiremos = 0,60 para áreas boscosas.

P = precipitación = $P_{\text{día}} * A_{\text{cuenca}}$

Fórmula para calcular la evapotranspiración (ETo)

$$ETo = Kp * Ep$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración

Kp = Coeficiente del tanque evaporímetro

Ep = Evaporación

$$Kp = 0.108 - 0.000331U_2 + 0.0422 \ln(\text{entorno}) + 0.1434 \ln(\text{HRprom}) - 0.000631[(\ln(\text{entorno}))]^2 \ln(\text{HRprom})$$

Donde:

Entorno = distancia desde el tanque evaporímetro hasta el área de cultivo

HRprom = humedad relativa promedio

U_2 = velocidad diaria promedio del viento a 2 m de altura (Km/día)

ET_P = evapotranspiración potencial

ET_R = evapotranspiración real

4.7. Cálculo de balance hídrico: 16 de mayo de 2012

Datos:

BH = balance hídrico

$A = 87 \text{ Km}^2 = 87'000.000 \text{ m}^2$

$P = 51 \text{ mm/día} = 0,051 \text{ m/día}$

$E_p = 1,9 \text{ mm/día}$

$U_2 = 0,7 \text{ m/s}$

Entorno = 8 m

HRprom = 83 %

$K_c = 0,60$

$I = 8 \text{ Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día}$ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)

Cálculo de la precipitación (P)

$P = 0,051 \text{ m/día} * 87'000.000 \text{ m}^2$

$P = \underline{4'437.000 \text{ m}^3/\text{día}}$

Cálculo de K_p utilizando la fórmula:

$K_p = 0,108 - 0,000331 * 0,7 + 0,0422 \ln 8 + 0,1434 \ln (83) - 0,000631 [(\ln(8))]^2 \ln (83)$

$K_p = 0,81$

$ET_p = K_p * E_p$

$ET_p = 0,81 * 1,9 \text{ mm/día}$

$ET_p = 1,539 \text{ mm/día} = 0,001539 \text{ m/día}$

$ET_R = ET_P * K_c$

$ET_R = 1,539 \text{ mm/día} * 0,60$

$ET_R = 0,9234 \text{ mm/día} = 0,0009234 \text{ m/día}$

Cálculo de la escorrentía de entrada (E_{entrada})

Q_{entrada} = caudal de entrada

$$E_{\text{entrada}} = Q_{\text{entrada}}$$

$$E_{\text{entrada}} = 4,16 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{359.424 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la escorrentía de salida (E_{salida})

$$E_{\text{salida}} = Q_{\text{salida}}$$

$$E_{\text{salida}} = 24,25 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{2'095.200 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación del efluente E_{efluente} (río principal)

$$E_p = 1,9 \text{ mm/día} = 0,0019 \text{ m/día}$$

Calculamos el área del río: largo * ancho promedio

$$A = 15.845 \text{ m} * 21,64 \text{ m}$$

$$A = 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{efluente}} = E_p * A$$

$$E_{\text{efluente}} = 0,0019 \text{ m} * 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{efluente}} = \underline{651.48 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evapotranspiración de la subcuenca media (E_{To})

Restamos el área de la subcuenca media menos el área del efluente principal.

$$A = 87'000.000 \text{ m}^2 - 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$A = 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{To}} = A * E_{\text{TR}}$$

$$E_{\text{To}} = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,0009234 \text{ m/día}$$

$$E_{\text{To}} = \underline{80.019,17 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación de la subcuenca media (E_{cuenca})

$$E_{\text{cuenca}} = A * E_p$$

$$E_{\text{cuenca}} = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,0019 \text{ m/día}$$

$$E_{\text{cuenca}} = \underline{164.648,51 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la tasa de infiltración (I)

$$I = 8 \text{ Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} \text{ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)}$$

$$I = \text{tasa de infiltración en suelo arcilloso} * A_{\text{cuenca}}$$

$$I = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} * 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$I = \underline{693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de balance hídrico:

$$BH = P + E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} - E_{\text{p}} - E_{\text{To}} - E_{\text{efluente}} - I$$

$$BH = 4'437.000 \text{ m}^3/\text{día} + 359.424 \text{ m}^3/\text{día} - 2'095.200 \text{ m}^3/\text{día} - 164.648,51 \text{ m}^3/\text{día} - 80.019,17 \text{ m}^3/\text{día} - 693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$BH = 1'763.299,41 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$BH = 1'763.299,41 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$BH = \frac{1'763.299,41 \text{ m}^3/\text{día}}{87'000.000 \text{ m}^2}$$

$$BH = 0,019 \text{ m} * 1000 \text{ mm}$$

4.8. Cálculo de balance hídrico: 18 de mayo de 2012

Datos:

BH = balance hídrico

$A = 87 \text{ Km}^2 = 87'000.000 \text{ m}^2$

$P = 0,1 \text{ mm/día} = 0,00010 \text{ m/día}$

$E_p = 0,2 \text{ mm/día}$

$U_2 = 1,0 \text{ m/s}$

Entorno = 8 m

HRprom = 83 %

$K_c = 0,60$

$I = 8 \text{ Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día}$ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)

Cálculo de la precipitación (P)

$$P = 0,1 \text{ m/día} * 87'000.000 \text{ m}^2$$

$$P = \underline{8.700,00 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de Kp utilizando la fórmula:

$$Kp = 0,108 - (0,000331 * 1,0) + (0,0422 \ln 8) + 0,1434 \ln (83) - 0,000631 [(\ln(8))]^2 \ln (83)$$

$$Kp = 0,81$$

$$ETp = Kp * Ep$$

$$ETp = 0,81 * 0,2 \text{ mm/día}$$

$$ETp = 0,162 \text{ mm/día} = 0,000162 \text{ m/día}$$

$$ET_R = ET_P * Kc$$

$$ET_R = 0,000162 \text{ m/día} * 0,60$$

$$ET_R = 0,0000972 \text{ m/día}$$

Cálculo de la esorrentía de entrada (Es_{entrada})

Q_{entrada} = caudal de entrada

$$Es_{entrada} = Q_{entrada}$$

$$Es_{entrada} = 2,25 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{194.400 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la esorrentía de salida (Es_{salida})

$$Es_{salida} = Q_{salida}$$

$$Es_{salida} = 23,26 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{2'009.664 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación del efluente Ep_{efluente} (río principal)

$$Ep = 0,2 \text{ mm/día} = 0,0002 \text{ m/día}$$

Calculamos el área del río: largo * ancho promedio

$$A = 15.845 \text{ m} * 21,64 \text{ m}$$

$$A = 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$Ep_{efluente} = Ep * A$$

$$Ep_{efluente} = 0,0002 \text{ m} * 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$Ep_{efluente} = \underline{68.58 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evapotranspiración de la subcuenca media (ET_o)

Restamos el área de la subcuenca media - el área del efluente principal.

$$A = 87'000.000 \text{ m}^2 - 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$A = 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$ET_o = A * ET_R$$

$$ET_o = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,0000972 \text{ m/día}$$

$$ET_o = \underline{8.423.07 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación de la subcuenca media (Ep_{cuenca})

$$Ep_{\text{cuenca}} = A * Ep$$

$$Ep_{\text{cuenca}} = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,00020 \text{ m/día}$$

$$Ep_{\text{cuenca}} = \underline{17.331,42 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la tasa de infiltración (I)

$$I = 8 \text{ Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} \text{ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)}$$

$$I = \text{tasa de infiltración en suelo arcilloso} * A_{\text{cuenca}}$$

$$I = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} * 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$I = \underline{693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Calculo de balance hídrico:

$$\mathbf{BH} = P + E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} - E_{p_{\text{cuenca}}} - ET_o - E_{p_{\text{efluente}}} - I$$

$$\mathbf{BH} = 8.700 \text{ m}^3/\text{día} + 194.400 \text{ m}^3/\text{día} - 2'009.664 \text{ m}^3/\text{día} - 68.58 \text{ m}^3/\text{día} - 8.423,07 \text{ m}^3/\text{día} - 17.331,42 \text{ m}^3/\text{día} - 693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\mathbf{BH} = - 2'534.335,28 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\mathbf{BH} = \frac{-2'534.335,28 \text{ m}^3/\text{día}}{87'000.000 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{BH} = - 0,029 \text{ m} * 1000 \text{ mm}$$

$$\mathbf{BH} = -29,13 \text{ mm}$$

Podemos afirmar que tenemos más salida de agua que entrada, por lo que para esta fecha la zona de estudio fue seca, por lo tanto hubo más evaporación y no hubo precipitación.

4.9. Cálculo de balance hídrico: 23 de mayo de 2012

Datos:

BH = balance hídrico

$$A = 87 \text{ Km}^2 = 87'000.000 \text{ m}^2$$

$$P = 3,2 \text{ mm/día} = 0,0032\text{m/día}$$

$$E_p = 0,9 \text{ mm/día}$$

$$U_2 = 1,0 \text{ m/s}$$

$$\text{Entorno} = 8 \text{ m}$$

$$\text{HRprom} = 80,5 \%$$

$$K_c = 0,60$$

$$I = 8\text{Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} \text{ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)}$$

Cálculo de la precipitación (P)

$$P = 0,0032\text{m/día} * 87'000.000 \text{ m}^2$$

$$P = \underline{278.400 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de Kp utilizando la fórmula:

$$K_p = 0,108 - (0,000331 * 4,0) + (0,0422 \ln 8) + 0,1434 \ln (80,5) - 0,000631 [(\ln(8))]^2 \ln (80,5)$$

$$K_p = 0,81$$

$$E_{Tp} = K_p * E_p$$

$$E_{Tp} = 0,81 * 0,9 \text{ mm/día}$$

$$E_{Tp} = 0,729 \text{ mm/día} = 0,000729 \text{ m/día}$$

$$E_{TR} = E_{Tp} * K_c$$

$$E_{TR} = 0,000729 \text{ m/día} * 0,60$$

$$E_{TR} = 0,0004374 \text{ m/día}$$

Cálculo de la escorrentía de entrada ($E_{S_{\text{entrada}}}$)

Q_{entrada} = caudal de entrada

$$E_{S_{\text{entrada}}} = Q_{\text{entrada}}$$

$$E_{S_{\text{entrada}}} = 2,2 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{190.080 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la escorrentía de salida ($E_{s\text{salida}}$)

$$E_{s\text{salida}} = Q_{s\text{salida}}$$

$$E_{s\text{salida}} = 22,9 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{1'978.560 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación del efluente $E_{p\text{efluente}}$ (río principal)

$$E_p = 0,9 \text{ mm/día} = 0,0009 \text{ m/día}$$

Calculamos el área del río: largo * ancho promedio

$$A = 15.845 \text{ m} * 21,64 \text{ m}$$

$$A = 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$E_{p\text{efluente}} = E_p * A$$

$$E_{p\text{efluente}} = 0,0009 \text{ m} * 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$E_{p\text{efluente}} = \underline{308.59 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evapotranspiración de la subcuenca media (E_{To})

Restamos el área de la subcuenca media - el área del efluente principal.

$$A = 87'000.000 \text{ m}^2 - 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$A = 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$E_{To} = A * E_{T_R}$$

$$E_{To} = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,0004374 \text{ m/día}$$

$$E_{To} = \underline{37.903.82 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación de la subcuenca media ($E_{p\text{cuenca}}$)

$$E_{p\text{cuenca}} = A * E_p$$

$$E_{p\text{cuenca}} = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,00090 \text{ m/día}$$

$$E_{p\text{cuenca}} = \underline{77.991,40 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la tasa de infiltración (I)

$I = 8 \text{ Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día}$ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)

$$I = \text{tasa de infiltración en suelo arcilloso} * A_{\text{cuenca}}$$

$$I = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} * 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$I = \underline{693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Calculo de balance hídrico:

$$\mathbf{BH = P + E_{s_{entrada}} - E_{s_{salida}} - E_{p_{cuenca}} - E_{To} - E_{p_{efluente}} - I}$$

$$\mathbf{BH = 278.400 \text{ m}^3/\text{día} + 190.000 \text{ m}^3/\text{día} - 1'978.560 \text{ m}^3/\text{día} - 308,59\text{m}^3/\text{día} - 37.903,82 \text{ m}^3/\text{día} - 693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\mathbf{BH = - 2'241.629,32 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\mathbf{BH = \frac{-2'241.629,32 \text{ m}^3/\text{día}}{87'000.000 \text{ m}^2}}$$

$$\mathbf{BH = -0,025 \text{ m} * 1000 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{BH = -25 \text{ mm}}$$

Podemos afirmar que tenemos más salida de agua que entrada, por lo que para esta fecha la zona de estudio fue seca.

4.10. Cálculo de balance hídrico: 08 de junio de 2012

Datos:

BH = balance hídrico

$$A = 87 \text{ Km}^2 = 87'000.000 \text{ m}^2$$

$$P = 29,1 \text{ mm/día} = 0,0291\text{m/día}$$

$$E_p = 2,4 \text{ mm/día}$$

$$U_2 = 0,9 \text{ m/s}$$

$$\text{Entorno} = 8 \text{ m}$$

$$\text{HR}_{\text{prom}} = 92,5 \%$$

$$K_c = 0,60$$

$$I = 8\text{Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} \text{ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)}$$

Cálculo de la precipitación (P)

$$P = 0,0291\text{m/día} * 87'000.000 \text{ m}^2$$

$$P = \underline{2'531.700 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de Kp utilizando la fórmula:

$$Kp = 0,108 - (0,000331 * 0,9) + 0,0422 \ln 8 + 0,1434 \ln (92,5) - 0,000631 [(\ln(8))]^2 \ln (92,5)$$

$$Kp = 0,83$$

$$ETp = Kp * Ep$$

$$ETp = 0,83 * 2,4 \text{ mm/día}$$

$$ETp = 1,992 \text{ mm/día} = 0,001992 \text{ m/día}$$

$$ET_R = ET_P * Kc$$

$$ET_R = 1,992 \text{ mm/día} * 0,60$$

$$ET_R = 1,1952 \text{ mm/día} = 0,0011952 \text{ m/día}$$

Cálculo de la escorrentía de entrada (Es_{entrada})

$$Q_{\text{entrada}} = \text{caudal de entrada}$$

$$E_{\text{entrada}} = Q_{\text{entrada}}$$

$$E_{\text{entrada}} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{\underline{276.480 \text{ m}^3/\text{día}}}$$

Cálculo de la escorrentía de salida (Es_{salida})

$$E_{\text{salida}} = Q_{\text{salida}}$$

$$E_{\text{salida}} = 21,6 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{\underline{1'866.240 \text{ m}^3/\text{día}}}$$

Cálculo de la evaporación del efluente Ep_{efluente} (río principal)

$$Ep = 2,4 \text{ mm/día} = 0,0024 \text{ m/día}$$

Calculamos el área del río: largo * ancho promedio

$$A = 15.845 \text{ m} * 21,64 \text{ m}$$

$$A = 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$Ep_{\text{efluente}} = Ep * A$$

$$Ep_{\text{efluente}} = 0,0024 \text{ m} * 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$Ep_{\text{efluente}} = \underline{\underline{822.92 \text{ m}^3/\text{día}}}$$

Cálculo de la evapotranspiración de la subcuenca media (ET_o)

Restamos el área de la subcuenca media menos el área del efluente principal.

$$A = 87'000.000 \text{ m}^2 - 342.885,8 \text{ m}^2$$

$$A = 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$ET_o = A * ET_R$$

$$ET_o = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,0011952 \text{ m/día}$$

$$ET_o = \underline{103.572,58 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la evaporación de la subcuenca media (Ep_{cuenca})

$$Ep_{cuenca} = A * Ep$$

$$Ep_{cuenca} = 86'657.114,2 \text{ m}^2 * 0,0024 \text{ m/día}$$

$$Ep_{cuenca} = \underline{207.977,1 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Cálculo de la tasa de infiltración (I)

$I = 8 \text{ Lm}^2/\text{día} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día}$ (tasa de infiltración en suelo arcilloso)

$I = \text{tasa de infiltración en suelo arcilloso} * A_{cuenca}$

$$I = 0,008 \text{ m}^3 \text{ m}^2/\text{día} * 86'657.114,2 \text{ m}^2$$

$$I = \underline{693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Calculo de balance hídrico:

$$BH = P + E_{s_{entrada}} - E_{s_{salida}} - Ep_{cuenca} - ET_o - Ep_{efluente} - I$$

$$BH = 2'531.700 \text{ m}^3/\text{día} + 276.480 \text{ m}^3/\text{día} - 1'866.240 \text{ m}^3/\text{día} - 822,92 \text{ m}^3/\text{día} - 103.572,58 \text{ m}^3/\text{día} - 207.977,1 \text{ m}^3/\text{día} - 693.256,91 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$BH = - 63.689,51 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$BH = \frac{-63.689,51 \text{ m}^3/\text{día}}{87'000.000 \text{ m}^2}$$

$$BH = -0,00073 \text{ m} * 1000 \text{ mm}$$

$$BH = -0,73 \text{ mm}$$

Podemos afirmar que tenemos más salida de agua que entrada, por lo que para esta fecha la zona de estudio fue seca o un día muy soleado.

4.11. Cálculo de caudal máximo del río utilizando el método racional modificado

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A \cdot K$$

Donde:

Q = caudal máximo (m³/s)

C = 0,31 para bosques con promedio 0 – 2 %, para un periodo de retorno de 25 años

I = Intensidad de precipitación máxima (mm/h)

A = Área de la Cuenca (Km²)

K = coeficiente de uniformidad

Tiempo de Concentración (Tc)

$$T_c = 0.3 (L / S^{0,25})^{0,76}$$

Donde:

L = 15,845 Longitud del cauce mayor (km)

S = 0,12 Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

$$T_c = 0.3 (15,845 / 0.12^{0,25})^{0,76}$$

Tc = 3.66 horas

Coeficiente de Uniformidad

Tc= Tiempo de concentración (horas)

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

$$K = 1 + \frac{3.66^{1.25}}{3.66^{1.25} + 14}$$

$$K = 1.26$$

Coefficiente de simultaneidad o Factor reductor (kA)

A = Área de la cuenca (Km²)

$$KA = 1 - (\log_{10} A/15)$$

$$KA = 1 - (\log_{10} 87/15)$$

$$KA = 0.23$$

Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

K_A = Factor reductor

P_d = Precipitación máxima diaria (mm)

$$P = K_A P_d$$

$$P = 0.23 * 164.7 \text{ mm}$$

$$P = 37.88 \text{ mm}$$

Intensidad de Precipitación (I)

P = Precipitación máxima corregida (mm)

T_c = Tiempo de concentración (horas)

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) * (11) \frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

$$I = \left(\frac{37.88}{24}\right) * (11) \frac{28^{0.1} - 3.66^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

$$I = 11.28 \text{ mm/h}$$

Caudal máximo de la subcuenca media del río Puyo

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A \cdot K$$

$$Q = 0,278 * 0,31 * 11,28 \frac{m^3}{h} * 87 \frac{K}{m^2} * 1,26 \left\| \frac{1m}{1000mm} \right\| \frac{1h}{3600s} \left\| \frac{1'000.000m^2}{1Km^2} \right\|$$

$$Q = \underline{\underline{29,60 \text{ m}^3/\text{s}}}$$

Caudal máximo con que aporta la subcuenca media del río Puyo en un período de retorno de 25 años y con una precipitación más alta registrada el 10 de junio de 1990 (164,7 mm/día).

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- Luego de haber realizado la medición en la carta topográfica: mapa base de la subcuenca hidrográfica del río Puyo, escala 1:50.000 y con el uso del Argis 9.3, se delimitó la subcuenca media del río Puyo obteniendo un área de 87 Km² y perímetro de 48.25 Km.
- El movimiento de corriente del cauce principal es variado y no uniforme, tanto en las secciones de la subcuenca media así como en los afluentes principales, siendo la velocidad media 0,58 m/s y la profundidad media 0.40, considerado como corriente muy débil según Francisco Aparicio, quien define que los ríos con velocidades menores de 1 m/s y una profundidad de 4 m, son ríos con velocidades muy débiles.
- Se interrelacionó los parámetros físicos y las variables de la red hidrográfica de la subcuenca media del río Puyo medidos en las 15 secciones del cauce principal y 7 afluentes principales.
- Se pudo caracterizar la subcuenca del río Puyo, identificando sus principales afluentes: el Pantano, Churuyacu, Pambay, Citayacu, Chilcayacu, Jatunyacu y el río Sandalias.
- Se estableció los caudales máximos y variación de caudales en las secciones del cauce principal y sus afluentes, además se observó que el coeficiente de variación en los caudales medidos en 4 fechas diferentes presenta poca diferencia significativa desde la sección Fátima alto hasta el Km 2 1/2. Luego de esta sección aumenta el coeficiente de desviación hasta el sección de Unión Base Alto y Bajo.

6. RECOMENDACIONES

- Se debe proponer a los organismos competentes (INAMHI, GADM, GADP), la creación de más estaciones meteorológicas Y limnimétricas, dentro de la subcuenca media del río Puyo y las microcuencas aportantes, ya que estas nos facilitarán obtener datos más precisos de los parámetros principales que se midan en la subcuenca media.
- Existen varios estudios de diseños de plantas de tratamientos de aguas residuales para la ciudad de Puyo y parroquia Fátima, por lo que se debe de manera urgente priorizar por parte de los gobiernos seccionales la construcción de dichas obras para el mejoramiento de la calidad del agua de la subcuenca media del río Puyo, ya que esto ayudaría significativamente con la descontaminación de las aguas del río, que en la actualidad afectan al turismo especialmente en el sector del paseo turístico y a los pobladores que habitan en el sector de las Américas, los Ángeles, Unión Base y poblaciones que se encuentran aguas abajo del río.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R.G., PRUITT, W.O., 1991. FAO-24 reference evapotranspiration factors. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE. 117(5): 758-773.
- APARICIO MIJARES Francisco J., fundamentos de hidrología de superficie 1992.
- CHAW Ven Te, Hidrología Aplicada 1994
- CLAUDIO Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, 1993
- EE.UU./Federal Interagency Stream Restoration Working Group (1998).
- HOLDRIDGE L. , Ecología de acuerdo a zonas de vida, 1947.
- HORTON, R.E. Erosional Development of Streams 1945.
- KEMPER, KARIN (1996), The cost of free water. Water resources allocation and use in the Curu Valley, Ceará, Northeast Brazil, Linköping Studies in Arts and Science N° 137, Kanalttryckeriet i Motala AB, Motala.
- LEE, TERENCE & ANDREI Jouravlev (1997), El financiamiento de entidades de cuenca en América Latina y el Caribe, documento presentado en el Segundo Taller de Gerentes de Organismos de Cuenca en América Latina y el Caribe (Santiago de Chile, 11 al 13 de diciembre de 1997).
- LIDE, David R., *CRC Handbook of Chemistry and Physics, Ed.90^a* 2009
- NACE Raymond L. El Agua y el Hombre, 1970
- RESNIK, HALLIDAY & KRANE, *Física Volumen 1* 2002
- TULAS 2002, Libro VI, Anexo 1 Norma de calidad de agua
- WILSON, E.M. *Engineering Hydrology*, McMillan Press, London, 1974

8. ANEXOS

ANEXO 1. Hoja de registro de datos en la medición de las secciones

HOJA DE REGISTRO DE DATOS								
Manejo del recurso hídrico en la subcuenca media del Río Puyo								
Datos Generales								
Fecha:								
Punto de muestro N°	Punto N°							
Nombre del punto								
Integrantes del equipo de muestreo								
Datos para el cálculo de caudal								
Sección 1 (río arriba)				Sección 2 (río abajo)				
Diámetro (m):	37,30			Diámetro (m):	40.5			
Datos de Profundidades:				Datos de Profundidades:				
Separación:	11			Separación:	11			
1m ()	12			1m ()	12			
2m ()	13			2m ()	13			
Profundidad (Y) cm:	14			Profundidad (Y) cm:	14			
1	15			1	15			
2	16			2	16			
3	17			3	17			
4	18			4	18			
5	19			5	19			
6	20			6	20			
7	21			7	21			
8	22			8	22			
9	23			9	23			
10	24			10	24			
Medición de la pendiente (Fórmula de Manning):								
Longitud: (distancia horizontal):								
Gradiente (distancia vertical):								
*Utilizar una separación para la toma de profundidades de 1m en diámetros < a 20 m y de 2m en diámetros > a 20m								
Toma de muestras								
Para la toma de la muestra compuesta ubicarse en el centro del río, tomar 6 submuestras cada 5 minutos								
Hora de inicio:								
Hora de finalización:								
Muestras:								
	Hora	T °C		Hora	T °C		Hora	T °C
M1			M3			M5		
M2			M4			M6		
Observaciones adicionales:								
F. Jefe de grupo				F. Coordinador de Zona				

Anexo N° 2: Fotos:

Foto N° 1: Fátima alto secciones



Foto N° 2: delimitación de las



Foto N° 3: toma de datos unión base



Foto N° 4: medición de pendiente



Foto N° 5: medición de diámetro del río
Sector unión base



Foto N° 6: medición de diámetro
sector sandalias

