



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Caracterización fisiográfica de las áreas de aporte a varias  
estaciones hidrológicas en la cuenca del río Yanuncay**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Autor:**

**EDISSON XAVIER ESTRELLA ARCOS**

**Director:**

**ING. JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER**

**CUENCA – ECUADOR**

**2015**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a mis padres, quienes con su ejemplo han sabido guiarme por el camino correcto y me han motivado en la búsqueda del conocimiento como medio de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Mediante estas líneas quiero agradecer a todas aquellas personas quienes han sido mi soporte a lo largo de mi carrera universitaria, a mi familia, quienes me sustentaron económica y moralmente, a mis profesores, quienes sin recelo compartieron sus conocimientos conmigo, y no podía olvidar a mis amigos y compañeros de aula, junto con quienes luchamos durante casi cinco años hasta lograr este tanpreciado objetivo.

**CARACTERIZACIÓN FIOGRAFICA DE LAS AREAS DE APORTE A  
VARIAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO  
YANUNCAY**

**RESUMEN**

La empresa ETAPA EP realiza un constante monitoreo de la cuenca del río Yanuncay mediante un conjunto de 12 estaciones de control, estas miden indirectamente el caudal que atraviesa el cauce en un momento determinado; desafortunadamente en la actualidad no existe información hidrológica sobre las áreas de aporte a dichas estaciones, problema que busca resolver el presente proyecto con el cálculo de las características fisiográficas de cada una de las cuencas de aporte, así como otros parámetros de importancia como son el tiempo de concentración y el uso de suelo.

**Palabras Clave:** hidrología, cuencas, Yanuncay, características fisiográficas, río.



---

Paúl Cornelio Cordero Díaz

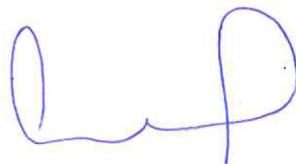
**Director de Escuela**



---

Javier Fernández de Córdova Webster

**Director de Tesis**



---

Edisson Xavier Estrella Arcos

**Autor**

**PHYSIOGRAPHIC CHARACTERIZATION OF THE AREAS OF  
CONTRIBUTION TO SEVERAL HYDROLOGICAL STATIONS IN THE  
YANUNCAY RIVER BASIN**

**ABSTRACT**

ETAPA is constantly monitoring the *Yanuncay* River by means of 12 monitoring stations, which indirectly measure the flow that goes through the channel at any given time. Unfortunately, at present there is no hydrological information on the areas that contribute to these stations; consequently, this research paper seeks to solve this problem by calculating the physiographic characteristic of each watershed that contributes, as well as other important parameters such as time of concentration and land use.

**Keywords:** Hydrology, Watersheds, *Yanuncay*, Physiographic Features, River



Paul Cornelio Cordero Díaz  
**School Director**

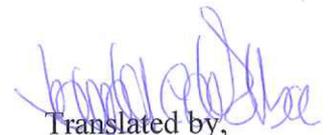


Javier Fernández de Córdova Webster  
**Thesis Director**

Edisson Xavier Estrella Arcos  
**Author**



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

**INDICE DE CONTENIDOS**

<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	vii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b> .....	3
1.1 Alcance .....	4
1.2 Antecedentes.....	5
1.3 Justificación .....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General .....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	6
<b>CAPITULO II: ESTACIONES HIDROLÓGICAS</b> .....	7
2.1 Descripción.....	7
2.2 Ubicación.....	7
2.3 Áreas De Aporte .....	8

<b>CAPITULO III: MARCO TEÓRICO</b> .....	9
3.1 Marco conceptual .....	9
3.2 Metodología de cálculo .....	12
<b>CAPITULO IV: CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS Y USO DE SUELO..</b>	<b>36</b>
4.1 Estación Yanuncay A.J. Tarqui (Bomberos).....	36
4.2 Estación Yanuncay en Captación Sustag.....	41
4.3 Estación Yanuncay en Pucán.....	46
4.4 Estación Soldados A.J. Yanuncay .....	51
4.5 Estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay .....	56
4.6 Estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi .....	61
4.7 Estación Bermejós A.J. Yanuncay .....	66
4.8 Estación Galgal A.J. Quinguyacu.....	71
4.9 Estación Cancan A.J. Quinguyacu .....	76
4.10 Estación Aguarongo A.J. Quinguyacu .....	81
4.11 Estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco .....	86
4.12 Estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco .....	91
4.13 Resumen de resultados .....	96
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>102</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>103</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: ubicación de la estaciones de control en la cuenca del río Yanuncay. ....	8
Tabla 2: datos procesados en Excel previo al gráfico de la curva hipsométrica. ....	29
Tabla 3: tabulación de los valores de $L$ para cada cota de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> . ....	33
Tabla 4: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay A.J. Tarqui. .....	36
Tabla 6: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui. ....	39
Tabla 7: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay en captación Sustag. ....	41
Tabla 8: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag. ....	43
Tabla 9: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag. ....	44
Tabla 10: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay en Pucán .....	46
Tabla 11: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán. ....	48
Tabla 12: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán. ....	49
Tabla 13: características y tiempo de concentración de la estación Soldados A.J. Yanuncay. ....	51
Tabla 14: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay. .....	53
Tabla 15: uso de suelo de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay. ....	54
Tabla 16: características y tiempo de concentración de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay. ....	56

Tabla 17: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay.....	58
Tabla 18: uso de suelo de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay. ....	59
Tabla 19: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi.....	61
Tabla 20: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi. ....	63
Tabla 21: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi. ....	64
Tabla 22: características y tiempo de concentración de la estación Bermejós A.J. Yanuncay.....	66
Tabla 23: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay. .....	68
Tabla 24: uso de suelo de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay.....	69
Tabla 25: características y tiempo de concentración de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.....	71
Tabla 26: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu. .....	73
Tabla 27: uso de suelo de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.....	74
Tabla 28: características y tiempo de concentración de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.....	76
Tabla 29: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu. .....	78
Tabla 30: uso de suelo de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.....	79
Tabla 31: características y tiempo de concentración de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.....	81
Tabla 32: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.....	83
Tabla 33: uso de suelo de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.....	84

Tabla 34: características y tiempo de concentración de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco. ....	86
Tabla 35: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco. ....	88
Tabla 36: uso de suelo de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.....	89
Tabla 37: características y tiempo de concentración de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.....	91
Tabla 38: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.....	93
Tabla 39: uso de suelo de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.....	94
Tabla 40: resumen de las características fisiográficas de las áreas de aporte.....	96
Tabla 41: resumen de uso de suelo en la cuenca del Yanuncay. ....	99

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: trazado del área de aporte de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> . .....	13
Figura 2: herramienta <i>Create TIN</i> en ArcGIS. ....	14
Figura 3: herramienta <i>TIN to Raster</i> en ArcGIS.....	15
Figura 4: modelo digital del terreno de la cuenca del río Yanuncay. ....	15
Figura 5: herramienta <i>Fill</i> en ArcGIS.....	16
Figura 6: herramienta <i>Flow Direction</i> en ArcGIS.....	17
Figura 7: herramienta <i>Flow Accumulation</i> en ArcGIS.....	17
Figura 8: herramienta <i>Con</i> en ArcGIS.....	18
Figura 9: herramienta <i>Stream Link</i> en ArcGIS.....	18
Figura 10: herramienta <i>Watershed</i> en ArcGIS. ....	19
Figura 11: ráster de áreas de aporte a la estaciones generadas por ArcGIS. ....	19
Figura 12: atributos de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> tomados de ArcGIS.	20
Figura 13: longitud axial de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> ....	21
Figura 14: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> . ....	22
Figura 15: ríos de la cuenca de aporte a la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> y sus longitudes en ArcGIS. ....	23
Figura 16: valle del cauce principal de la cuenca de aporte a la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> .....	24
Figura 17: herramienta <i>Slope</i> en ArcGIS. ....	25
Figura 18: mapa de pendientes de la cuenca del río <i>Yanuncay</i> . ....	26
Figura 19: herramienta <i>Zonal Statistics as Table</i> en ArcGIS.....	27
Figura 20: tabla de pendientes de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> . ....	27

Figura 21: tabla de resultados del <i>MDT</i> de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> .....	28
Figura 22: curva hipsométrica de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> .....	30
Figura 23: estadísticas sobre la elevación de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> .....	31
Figura 24: valor de la cota inicial del río principal de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> .....	32
Figura 25: representación gráfica de las longitudes <i>l</i> y <i>L</i> .....	33
Figura 26: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación <i>Yantahuayco A.J. Sigsihuayco</i> .....	35
Figura 27: área de la estación Yanuncay A.J. Tarqui respecto a la cuenca del Río Yanuncay.....	36
Figura 28: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui. ....	37
Figura 29: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.....	37
Tabla 5: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.....	38
Figura 30: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui. ....	38
Figura 31: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui. .	40
Figura 32: área de la estación Yanuncay en captación Sustag respecto a la cuenca del Río Yanuncay.....	41
Figura 33: orden de corrientes de agua en la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag. ....	42
Figura 35: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag. ....	43

Figura 36: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag. ....	45
Figura 37: área de la estación Yanuncay en Pucán respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	46
Figura 38: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán. ....	47
Figura 40: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán. ....	48
Figura 41: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán. ....	50
Figura 42: área de la estación Soldados A.J. Yanuncay respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	51
Figura 43: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay. ....	52
Figura 44: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay. ....	52
Figura 45: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay. ....	53
Figura 46: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay. ....	55
Figura 47: área de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	56
Figura 48: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay. ....	57
Figura 49: corrientes de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay. ....	57
Figura 50: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay. ....	58
Figura 51: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay. ....	60
Figura 52: área de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	61

Figura 53: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi.....	62
Figura 54: corrientes de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi. ....	62
Figura 55: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi. ....	63
Figura 56: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi.....	65
Figura 57: área de la estación Bermejós A.J. Yanuncay respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	66
Figura 58: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay.....	67
Figura 59: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay. ....	67
Figura 60: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay....	68
Figura 61: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay. ....	70
Figura 62: área de la estación Galgal A.J. Quinguyacu respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	71
Figura 63: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.....	72
Figura 64: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.....	73
Figura 65: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu. ....	74
Figura 66: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu. ....	75
Figura 67: área de la estación Cancan A.J. Quinguyacu respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	76

Figura 68: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.....	77
Figura 69: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.....	77
Figura 70: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu....	78
Figura 71: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu. ....	80
Figura 72: área de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	81
Figura 73: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.....	82
Figura 74: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu. ....	83
Figura 75: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu. ....	84
Figura 76: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.....	85
Figura 77: área de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	86
Figura 78: orden de las corrientes de agua que atraviesan la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco. ....	87
Figura 79: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.....	88
Figura 80: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco. ....	89
Figura 81: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco. ....	90

Figura 82: área de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco respecto a la cuenca del Río Yanuncay. ....	91
Figura 83: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.....	92
Figura 84: Corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco. ....	92
Figura 85: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.....	93
Figura 86: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.....	95

Estrella Arcos Edison Xavier

Trabajo de Graduación

Ing. Javier Fernández de Córdova Webster

Octubre, 2015

## **CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA DE LAS ÁREAS DE APORTE A VARIAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO YANUNCAY**

### **INTRODUCCIÓN**

Los cursos de agua o comúnmente llamados ríos, han sido de vital importancia a lo largo de toda la historia de la humanidad; desde los inicios las comunidades nómadas buscaban realizar sus asentamientos cerca de estos, mientras más grandes y regulares fueran garantizarían la supervivencia del grupo durante períodos prolongados; a sus alrededores abunda la fauna, flora y permiten la vida incluso en los lugares más inhóspitos del planeta. En la actualidad la situación ha cambiado considerablemente, la existencia de amplias y bien distribuidas redes de abastecimiento permiten construir viviendas en sectores alejados de los ríos, sin dejar de recibir el líquido vital como si se estuviera junto a los mismos. Esto provoca una gran demanda de agua potable para las empresas encargadas de brindar el servicio, sumada a las altas exigencias de calidad requeridas por los organismos de control, convierten a esta tarea en un trabajo sumamente minucioso y que debe estar muy bien coordinado.

La situación de la ciudad de Cuenca es muy particular, está ampliamente beneficiada al estar atravesada por cuatro ríos, que ofrecen un caudal, si no constante, pero si regular durante todo el año; el hecho de estar ubicada en la Cordillera de los Andes ofrece ventajas únicas frente a cualquier otra población del continente, pues los ciudadanos de Cuenca son los primeros usuarios del agua que circula por los ríos, lo cual permite tener una materia prima limpia y de calidad antes de entrar a la planta potabilizadora.

Conforme un afluente avanza por su cauce, va siendo modificado por el territorio que atraviesa. Situaciones muy particulares como el uso de suelo a su alrededor, pendiente del terreno, formaciones geográficas y otras, cambian de mayor o menor manera la condición en la cual el río comenzó su circulación. El conocimiento de las llamadas características fisiográficas de la cuenca, es de suma importancia para la toma de decisiones en los procesos de control, tratamiento y conducción que se lleven a cabo sobre el mismo.

El río Yanuncay, uno de los cuatro que atraviesa la ciudad y que se origina en la zona sur del Parque Nacional Cajas, es el encargado del abastecimiento a la planta potabilizadora Sustag, la cual abastece a las poblaciones de San Miguel de Putushí, Narancay, Baños y San Joaquín (ETAPA EP, 2014), lo que lo convierte en uno de los de mayor importancia en la región, esto sumado a las diferentes actividades que se desarrollan a lo largo de su cauce, es razón para considerar a su monitoreo constante de vital importancia para la coordinación de las diferentes actividades y proyectos que en él se realizan. En la actualidad, a lo largo de su cauce existen 12 estaciones hidrológicas encargadas de monitorear su actividad, que permiten a las autoridades e instituciones encargadas conocer el estado del afluente en cualquier instante, así como llevar una datación estadística de su comportamiento en diferentes periodos para la realización de proyecciones futuras. Por desgracia, hoy en día no existe una información detallada de las características fisiográficas ni de usos de suelo de las cuencas que aportan a estas estaciones de control, documentación sin la cual se vuelve muy difícil cualquier estudio o análisis del afluente en cuestión. El escrutinio y digitalización de esta información será el campo de trabajo de este proyecto.

Para este proyecto, en primera instancia será necesario determinar las cuencas de aporte individuales para cada estación de las 12 existentes, luego se recopilará toda la información cartográfica existente de la zona (topografía, elevaciones y fotografías satelitales) para la determinación de las características fisiográficas y uso de suelo junto con la ayuda de un sistema de información geográfica (ArcGIS), para después recopilar todos los datos obtenidos en mapas e informes científicos según las especificaciones técnicas necesarias.

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

La realidad de la sociedad actual obliga a que las distintas organizaciones busquen tomar decisiones mas eficientes, productivas y económicas; que los problemas que día tras día se presentan sean solucionados de manera efectiva y rápida, por tal, estas deben estar en capacidad de adaptarse a las distintas situaciones y establecer estrategias flexibles para enfrentar el ambiente turbulento en el cual se desarrollan sus acciones.

Mientras mas grande sea dicha organización y cubra un mayor campo de acción, mayor será la importancia y valor de cada una de las acciones tomadas; y si se refiere concretamente al sector de la administración pública, cualquier movimiento que se realice será juzgado minuciosamente por los ojos de millares de ciudadanos atentos a fiscalizar y escrutar, evaluar y juzgar buscando responsables de las decisiones incorrectas que hayan sido tomadas.

Frente a realidades tan inestables e impredecibles, sumado al riesgo que conlleva actuar a ciegas, los miembros de cualquier organización pública o privada, y principalmente sus altos mandos y gerencias, se ven obligados a recopilar la mayor cantidad de información posible sobre una determinada situación antes de poder decidir sobre ella, de esta manera su actuar podrá fundamentarse en conocimientos sólidos y estará, seguramente, mejor fundamentado.

Así, se puede decir que la información es un soporte esencial para la toma de decisiones técnicas y gerenciales, y de esta manera, para obtener ventajas competitivas fundamentales para el crecimiento y desarrollo de la organización.

El presente proyecto busca recopilar, procesar y clasificar información de gran valor para la ciudad de Cuenca, pues al ser esta un importante afluente de ríos en el austro del

país, cualquier información referente a este ámbito será considerable relevancia, y podrá ser así base y sustento de futuros proyectos a desarrollar.

### 1.1 Alcance

Este proyecto pretende ser el primer paso de muchos futuros, donde se puedan llegar a analizar las cuencas de otros afluentes importantes que circulan por la ciudad. Las características fisiográficas que se determinarán, son las más relevantes y útiles dentro del presente campo de estudio, a saber:

- Área de drenaje.
- Forma de la cuenca u hoya.
  - Índice de Graveluis o coeficiente de compacidad (KC).
  - Factor de forma (Kf).
- Sistema de drenaje.
  - Orden de las corrientes de agua.
  - Densidad de drenaje (Dd).
  - Extensión media de la escorrentía superficial (I).
  - Sinuosidad de las corrientes de agua (S).
- Características del relieve de una cuenca u hoya.
  - Pendiente de la cuenca.
  - Curva hipsométrica.
  - Elevación media de la cuenca.
  - Pendiente de la corriente principal.
  - Rectángulo equivalente.
- Tiempo de concentración.
- Uso de suelo.

La información obtenida de los análisis, será presentada en un formato científico adecuado, buscando mantener los estándares de normalización exigidos para datos de esta índole.

El presente proyecto usará como base la información recolectada por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) correspondiente a los últimos años, razón por la cual no se pretenderá la recolección de nuevos datos en campo, pues se considera que esta no habrá tenido alteraciones sustanciales en los últimos tiempos.

## **1.2 Antecedentes**

Diversos han sido los estudios que la empresa ETAPA EP ha realizado sobre los ríos que cruzan por la ciudad (estudios hidrológicos, hidráulicos, de impacto ambiental, etc.), que han permitido hasta ahora mantener un control adecuado sobre el estado en que se encuentran en un momento determinado. Pero desafortunadamente por el momento no se cuentan con estudios acerca de los territorios que rodean a estos cauces, es decir, de sus cuencas hidrográficas. La determinación de las características físicas de estos espacios es una tarea de fundamental importancia, puesto que dicha información servirá de base para futuros proyectos y planificaciones que se desarrollarán en beneficio de la ciudadanía, lo cual es una gran motivación para realizar el presente proyecto.

## **1.3 Justificación**

El desarrollo de la planificación de agua potable para la ciudad, comúnmente conocida como Planes Maestros, gira en torno a la capacidad que puede brindar cada uno de los afluentes que irriga el territorio, mientras mayor sea esta, existirá una mayor holgura en los diseños y se podrá reducir de manera considerable los periodos de escases a lo largo del año.

La capacidad que ofrece un río esta principalmente relacionada con la precipitación que caiga sobre este durante un periodo de tiempo, así como de la cantidad de corrientes menores que hacia el confluyan; sin embargo, las características físicas del terreno que rodea el afluente a lo largo de todo su cauce modificará de manera considerable la capacidad de mismo, puesto que en función del tipo de uso de suelo, pendientes o

elevaciones se producirá una mayor o menor escorrentía, multiplicado esto por los varios kilómetros de extensión que poseen los ríos de nuestra ciudad, cualquier detalle por más pequeño que sea deberá ser considerado.

El gran valor que representa el obtener la información de las cuencas de los ríos es la principal motivación para desarrollar este proyecto; se espera que los datos obtenidos sean de gran utilidad para futuros diseños en beneficio y progreso de la ciudad, y que de la misma manera sienta una base metodológica para la réplica de similares estudios sobre otros afluentes.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar las características fisiográficas y uso del suelo de las áreas de aporte a las estaciones hidrológicas en la cuenca del río Yanuncay, que forman parte de la red hidrológica de ETAPA EP; así como clasificar esta información de manera que sea accesible para la comunidad técnica de la región.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar la información existente de la cuenca del río Yanuncay, clasificarla y digitalizarla para su posterior análisis.
- Determinar, con la ayuda de software, las características físicas de la cuenca en base a la información reunida.
- Calcular el tiempo de concentración de las áreas de aporte a cada una de las estaciones objeto del presente trabajo, utilizando diferentes metodologías.
- Clasificar el uso de suelo de la cuenca por sectores, así como digitalizar esta información para su posterior uso.
- Presentar la información obtenida durante el estudio en un formato normalizado para la comunidad.

## CAPÍTULO II

### ESTACIONES HIDROLÓGICAS

#### 2.1 Descripción

Cada una de las estaciones hidrológicas sobre las cuales trata el presente estudio obtienen importante información acerca del río Yanuncay y de sus afluentes, esto permite realizar mejores predicciones acerca del comportamiento del flujo en un determinado momento, así como tomar las precauciones y medidas pertinentes en situaciones de emergencia.

En función de las necesidades de cada proyecto, las estaciones pueden ser diseñadas para recolectar varios tipos de datos, que pueden ir desde sencillos niveles hasta complejos análisis físico-químicos. Para el presente caso, las estaciones colocadas están encargadas de medir la altura o nivel de agua que cursa por el río en un tiempo determinado, información que posteriormente es procesada y mediante ecuaciones denominadas Curva de Descarga se puede determinar el caudal que tiene el cauce en ese instante.

#### 2.2 Ubicación

Las estaciones en cuestión, están ubicadas a lo largo de toda la cuenca del río Yanuncay, algunas en su cauce principal y otras sobre ramificaciones de notable importancia. De los planos proporcionados por ETAPA EP se ha obtenido la ubicación exacta de cada una de ellas, las cuales se presentan a continuación en coordenadas del sistema WGS 84:

Tabla 1: ubicación de la estaciones de control en la cuenca del río Yanuncay.

ESTACIÓN	COORDENADA X	COORDENADA Y
Yanuncay A.J. Tarqui (Bomberos)	721831,00	9677508,00
Yanuncay en captación Sustag	705319,55	9673751,10
Yanuncay en Pucán	703348,55	9674079,11
Soldados A.J. Yanuncay	697615,00	9674943,00
Izhcayrrumi A.J. Yanuncay	695689,55	9673419,16
Yanuncay A.J. Izhcayrrumi	695804,55	9672938,16
Bermejós A.J. Yanuncay	696129,00	9671080,00
Galgal A.J. Quinguyacu	692634,55	9672520,18
Cancan A.J. Quinguyacu	689683,53	9669422,20
Aguarongo A.J. Quinguyacu	690421,53	9668614,20
Sigsihuayco A.J. Yantahuayco	688649,51	9666648,21
Yantahuayco (Quimsachogllio) A.J. Sigsihuayco	688473,53	9668551,21

### 2.3 Áreas De Aporte

Se puede definir al área de aporte de una cuenca como la superficie comprendida entre los divisorios topográficos naturales que esta posea; es decir, es la extensión de terreno sobre la cual si cayese una gota de agua, esta llegará a la desembocadura de la cuenca con total certeza. La delimitación de esta área se debe hacer con la guía de un plano o mapa que contenga las curvas de nivel del terreno, y se trazará siguiendo las líneas del parteaguas, que es una línea imaginaria que divide las cuencas contiguas y distribuye el escurrimiento originado por las precipitaciones, que para cada caso fluye hacia el punto de desembocadura de la cuenca. (Villón Béjar, 2002)

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Marco conceptual

Las características físicas más sobresalientes de una cuenca u hoya hidrográfica según el autor Monsalve (Monsalve Sáenz, 1999) son:

- Área de drenaje: es el área plana comprendida entre los divisorios topográficos naturales de la cuenca en cuestión.
- Forma de la cuenca u hoya: factor que indica cómo está distribuida el área de la cuenca respecto a su delimitante físico (perímetro), y que está directamente relacionado con el Tiempo de Concentración. Existen dos factores que nos permiten cuantificar la forma de una cuenca, a saber:
  - Índice de Graveluis o coeficiente de compacidad ( $K_C$ ): establece una relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de igual área plana. Su expresión simplificada es:

$$K_C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P: Perímetro de la cuenca.

A: Área de la cuenca.

Mientras más irregular sea una cuenca, mayor será el valor del coeficiente de compacidad.

- Factor de forma ( $K_f$ ): es la relación existente entre el ancho medio de la cuenca y su longitud axial; la expresión llevada a términos de área plana, es la siguiente:

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

A: Área de la cuenca.

L: Longitud axial de la cuenca.

Una cuenca con un factor de forma más bajo es menos propensa a crecientes que otra con un valor más elevado.

- Sistema de drenaje: dentro de una cuenca está constituido por todos los afluentes y ríos, así como sus tributarios, que concurren por la hoya.
  - Orden de las corrientes de agua: referente al grado de ramificación de los ríos dentro de la cuenca.
  - Densidad de drenaje ( $D_d$ ): relación existente entre la longitud de los cursos de agua en la cuenca y el área total plana de ésta.

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

L: Longitud total de las corrientes de agua.

A: Área de la cuenca.

- Extensión media de la escorrentía superficial ( $l$ ): se puede definir como la distancia media que el agua lluvia debe recorrer sobre los terrenos de la cuenca hasta el punto más próximo de un lecho de río, suponiendo que esta se moviese en línea recta. Dicha distancia, teóricamente, está dada por la expresión:

$$l = \frac{A}{4L}$$

A: Área de la cuenca.

L: Longitud total de las corrientes de agua.

- Sinuosidad de las corrientes de agua (S): relación entre la longitud del río principal medida a lo largo de su cauce y la longitud del valle del río principal medida en línea curva o recta, está dado por:

$$S = \frac{L}{L_T}$$

L: Longitud del río principal medida a lo largo de su cauce.

$L_T$ : Longitud del valle del río principal en línea curva o recta.

- Características del relieve de una cuenca u hoya
  - Pendiente de la cuenca: a grandes rasgos representa el desnivel de la cuenca desde su origen hasta su desemboque, característica que controla en parte la velocidad con la que se mueve la escorrentía superficial hasta llegar a los flujos o ríos.
  - Curva hipsométrica: es la representación gráfica del relieve de una cuenca, mostrando las variaciones de la elevación de los varios terrenos de la hoya con referencia al nivel medio del mar.
  - Elevación media de la cuenca: altitud promedio de los terrenos de la cuenca medidos sobre el nivel del mar. Se puede definir como:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (Cota_i \times Area_i)}{\sum_{i=1}^n (Area_i)}$$

El conocimiento de esta característica es de suma importancia pues ejerce influencia sobre la precipitación, pérdidas por evaporación y transpiración, caudal medio, entre otros.

- Pendiente de la corriente principal: representa la relación entre la variación de la elevación entre el inicio y el final del cauce principal y su longitud.

- Rectángulo equivalente: parámetro que permite comparar la influencia de las características de la cuenca hidrográfica sobre la escorrentía que sobre ella se produzca.
- Tiempo de concentración: se define como el tiempo que necesita una gota de agua que cae en el punto más alejado de la corriente para llegar a una determinada sección de la misma; es decir, mide cuanto se demora toda la cuenca en contribuir con escorrentía superficial a una sección considerada.

Este parámetro puede ser medido en minutos u horas, y para el presente proyecto se aplicarán las siguientes expresiones (Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2010):

- Giandotti:

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{S} \times L}$$

- Kirpich:

$$T_C = 0.0078 \times L_P^{0.77} \times S^{-0.385}$$

- Témez:

$$T_C = 0.3 \left[ \frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76}$$

A: Área de la cuenca en kilómetros cuadrados.

L: Longitud del río principal en kilómetros.

S: Pendiente de la corriente principal.

L<sub>P</sub>: Longitud del río principal en pies.

### 3.2 Metodología de cálculo

En el presente capítulo se describirá de la manera más clara y detallada posible cada uno de los procedimientos usados para la determinación de las características fisiográficas



Así se procedió a la limitación de cada una de las cuencas, cuya desembocadura siempre fue la estación bajo la cual estuvo considerada.

En primera instancia, en el diseño de este proyecto se consideró realizar este procedimiento de manera computarizada, es decir, con la ayuda del software ArcGIS determinar automáticamente las cuencas de cada estación, pero debido a la imprecisión generada, se decidió realizar el proceso manualmente; sin embargo, se adjunta a continuación el proceso utilizando dicha herramienta informática, tal como describe el manual ArcGIS – Operaciones Básicas (Delgado Inga, 2012).

El primer paso será crear el Modelo Digital del Terreno (MDT), que a grandes rasgos se puede decir que es un archivo que relaciona las alturas del terreno respecto a su superficie plana, por lo cual se necesita como prerrequisito las curvas de nivel y los límites del espacio a calcular. Una vez con esta información, se crea el TIN (triangulated irregular network) del terreno, usando la herramienta Create TIN, en la cual se introduce los prerrequisitos, como se indica:

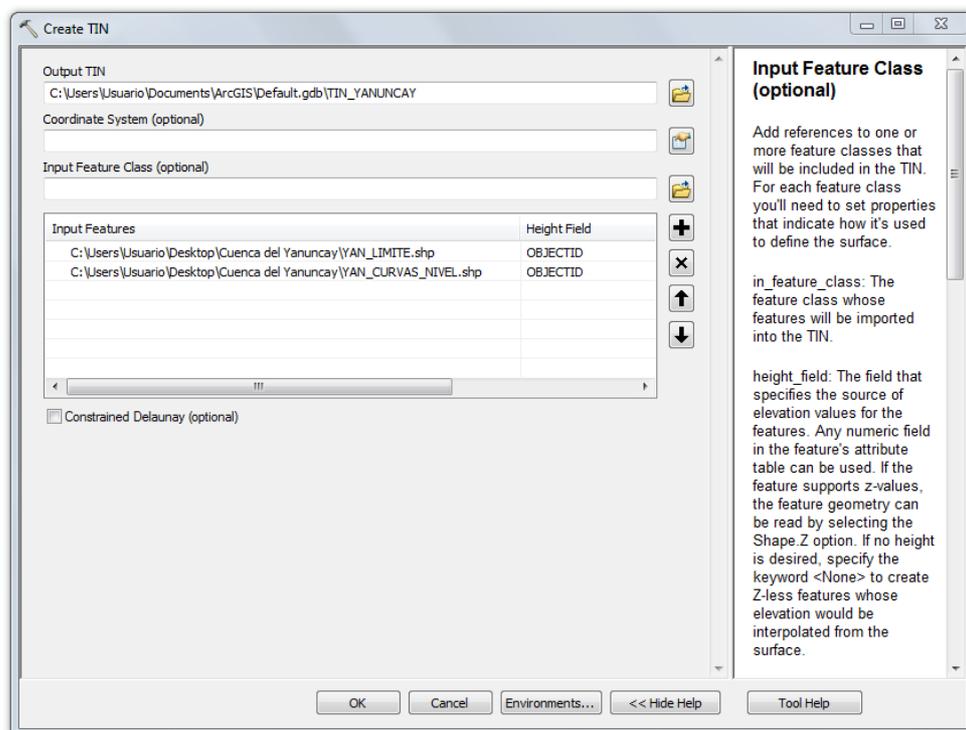


Figura 2: herramienta Create TIN en ArcGIS.

Pero el modelo aquí obtenido, gráficamente es complejo y presentará problemas al trabajar con él, razón por la cual se convierte este archivo a uno más liviano, usando la herramienta TIN to Raster, así:

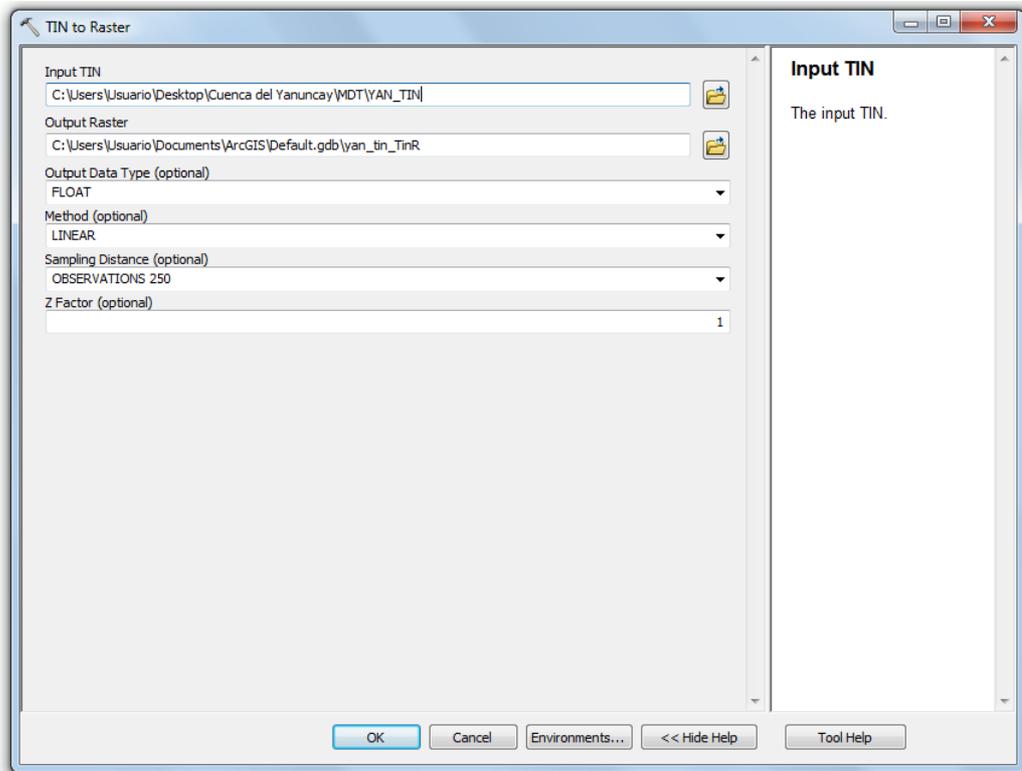


Figura 3: herramienta TIN to Raster en ArcGIS.

Así, se obtiene el MDT del terreno en cuestión:

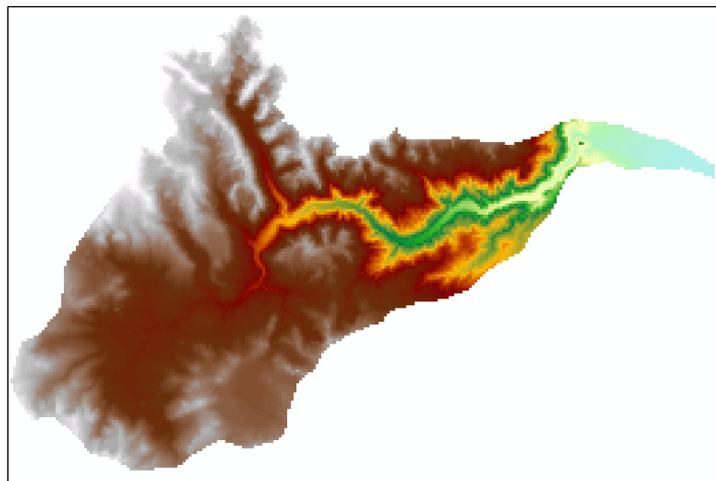


Figura 4: modelo digital del terreno de la cuenca del río Yanuncay.

Una vez obtenido el MDT, se debe filtrar este archivo por una serie de herramientas que corregirán y completarán las zonas donde existan errores o ausencia de datos; es un proceso directo y sencillo que comienza con la aplicación de la función Fill:

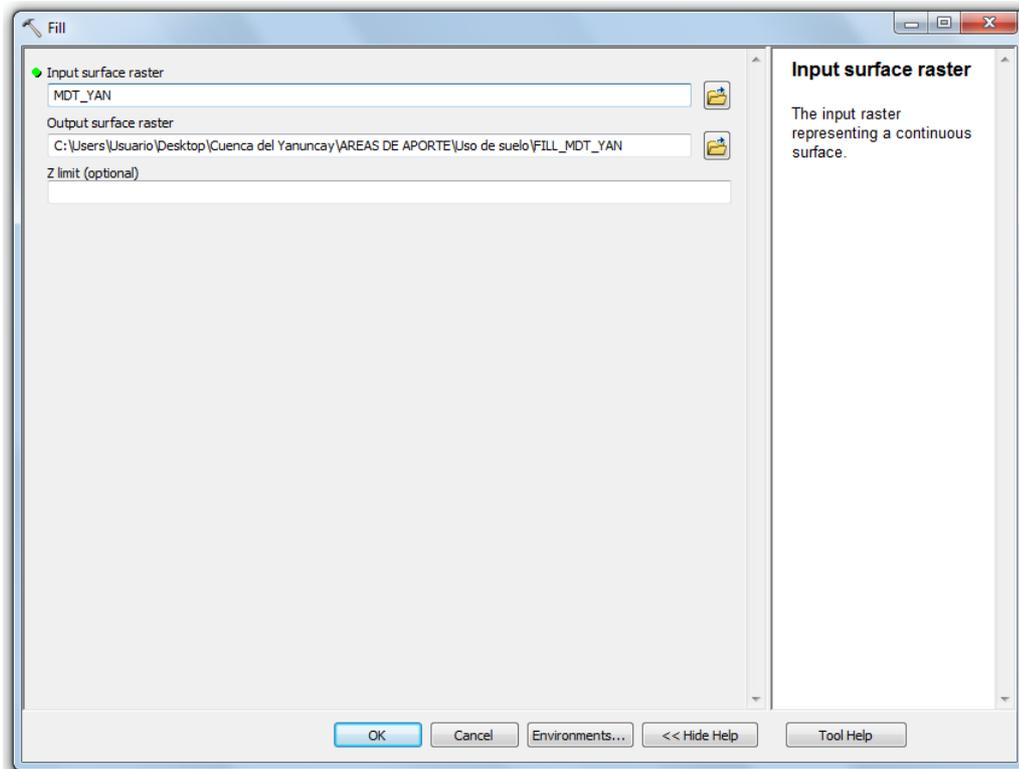


Figura 5: herramienta Fill en ArcGIS.

El archivo resultante de este proceso, ahora se introduce en la herramienta Flow Direction, que usando el desnivel existente en el terreno, agrupará las celdas que presenten un mismo sentido de flujo, logrando así armar los diferentes cauces que atraviesan por la cuenca:

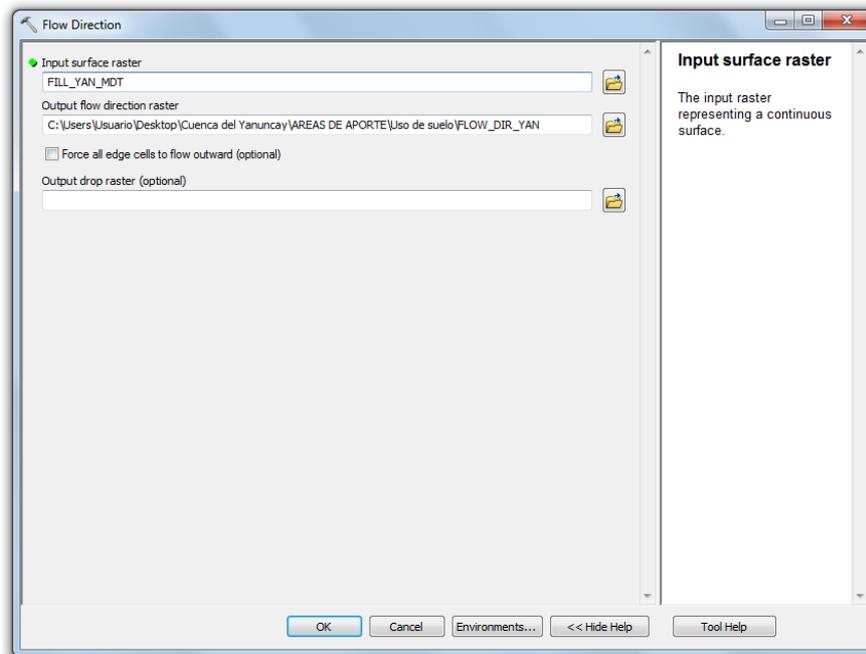


Figura 6: herramienta Flow Direction en ArcGIS.

Al nuevo archivo generado, se le aplica la función de la herramienta Flow Accumulation:

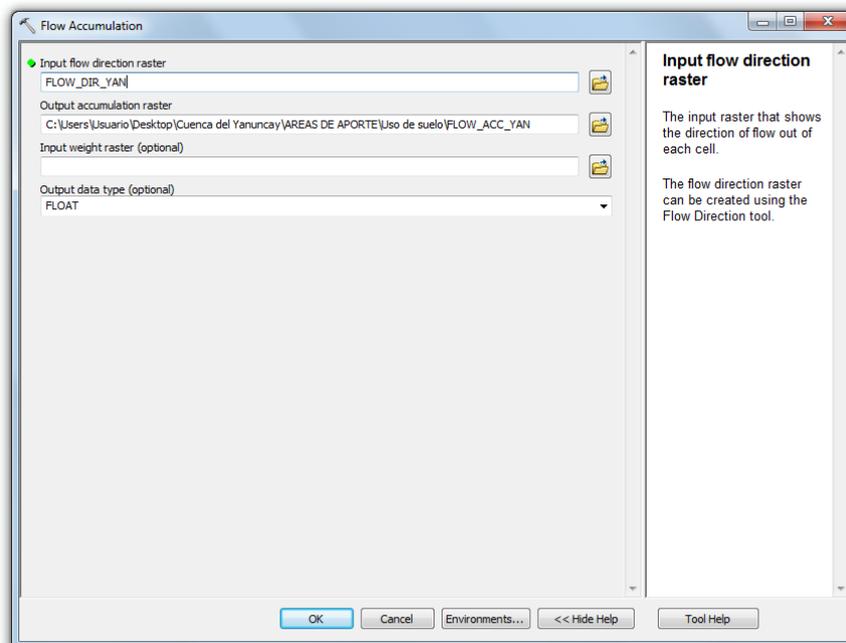


Figura 7: herramienta Flow Accumulation en ArcGIS.

Ahora, se emplea la herramienta Con, que identifica que celdas del ráster son parte de la red hidrográfica:

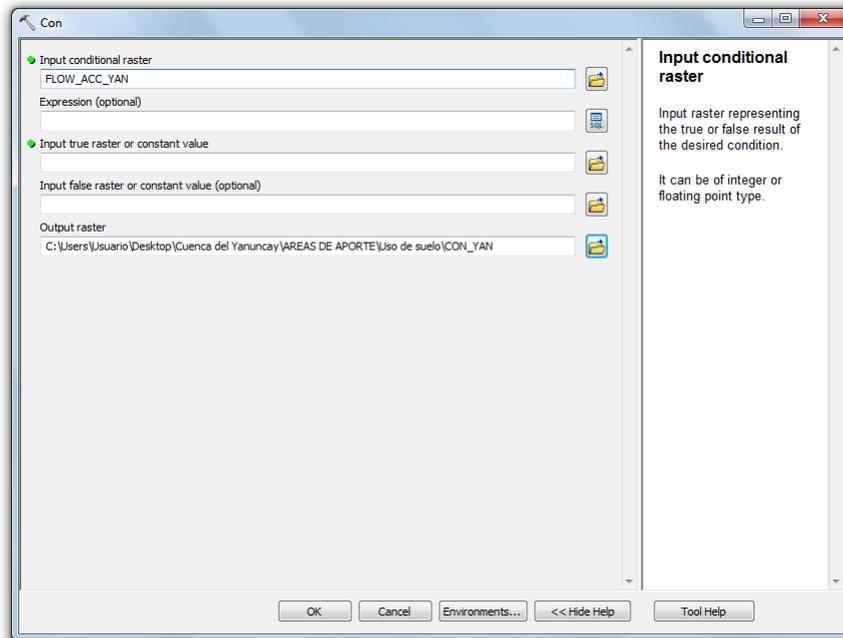


Figura 8: herramienta Con en ArcGIS.

El penúltimo paso en el proceso es la herramienta Stream Link:

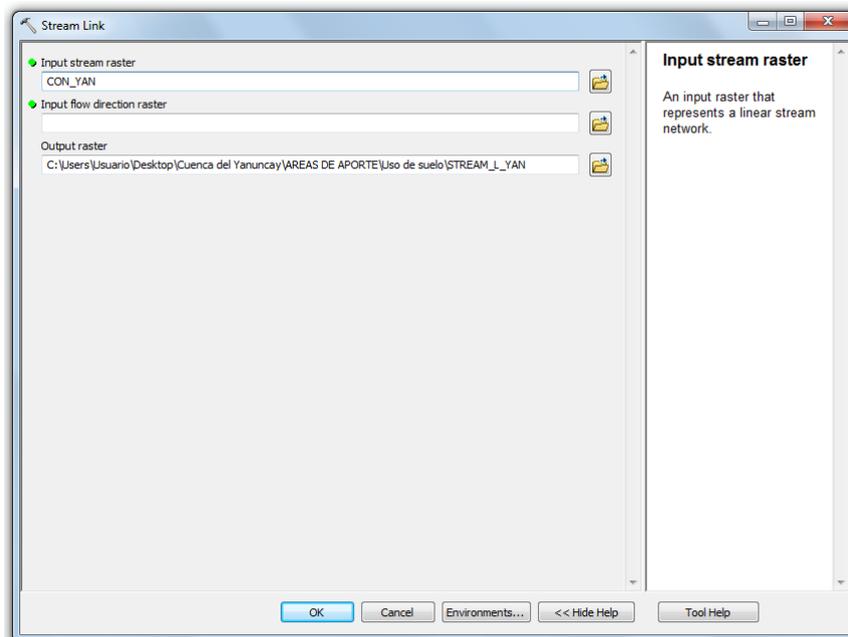


Figura 9: herramienta Stream Link en ArcGIS.

Y la última herramienta usada en el proceso es Watershed, que recopilará la información obtenida en los procedimientos anteriores y creará las subcuencas solicitadas:

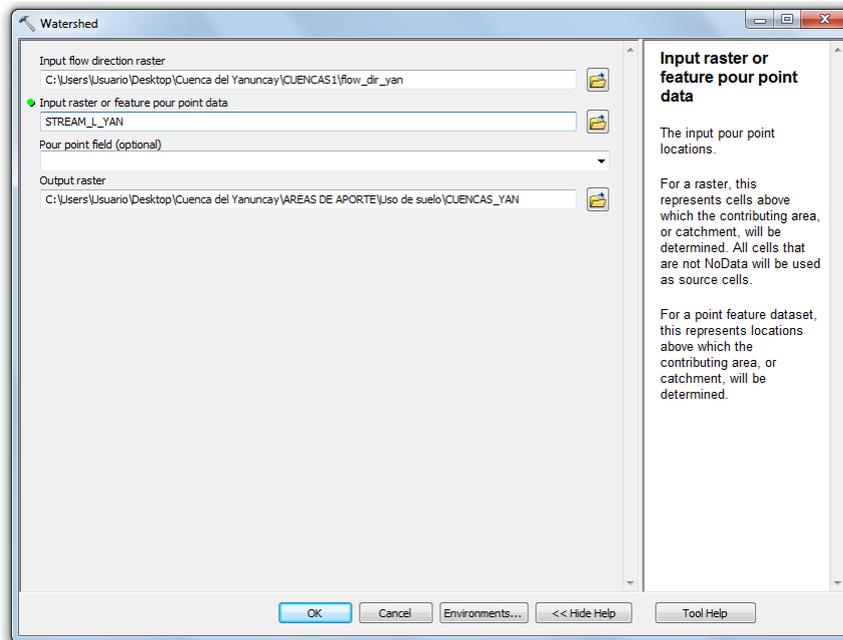


Figura 10: herramienta Watershed en ArcGIS.

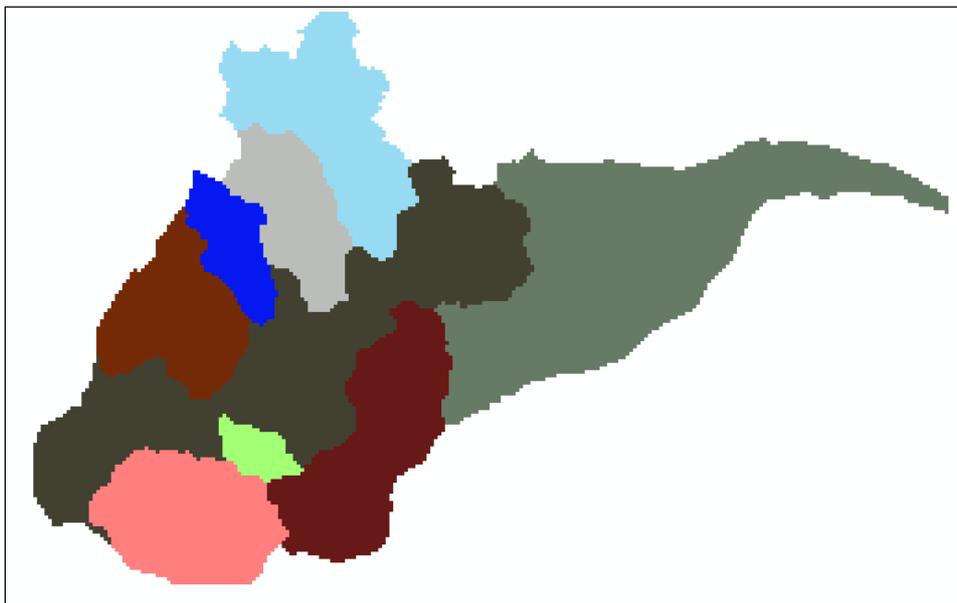
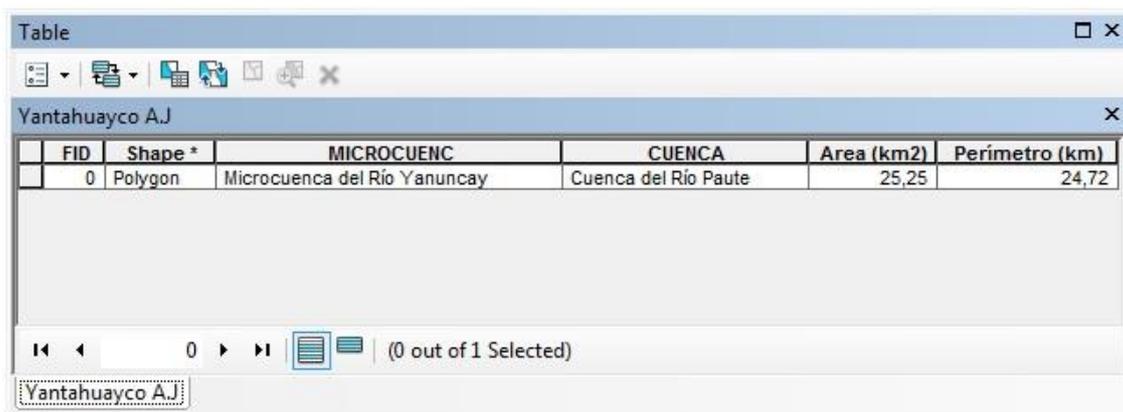


Figura 11: ráster de áreas de aporte a la estaciones generadas por ArcGIS.

## Forma de la cuenca u hoya

Para definir estos parámetros se usa principalmente dos indicadores, el índice de Graveluis o coeficiente de compacidad ( $K_C$ ) y el factor de forma ( $K_f$ ), los cuales están en función de los valores del perímetro, superficie y longitud axial de la cuenca en cuestión.

Para obtener estos valores y poder calcular los parámetros antes mencionados, se utilizó el área de la cuenca trazada anteriormente y con la ayuda del software ArcGIS se pudo obtener la información necesaria de manera ágil y precisa, como se muestra a continuación:



FID	Shape *	MICROCUENC	CUENCA	Area (km2)	Perímetro (km)
0	Polygon	Microcuenca del Río Yanuncay	Cuenca del Río Paute	25,25	24,72

Figura 12: atributos de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco tomados de ArcGIS.

Para determinar la longitud axial de la cuenca, sobre el límite trazado previamente se trazó una línea que una la desembocadura de la hoya con el punto más alejado de la misma, y luego se midió su longitud, así:

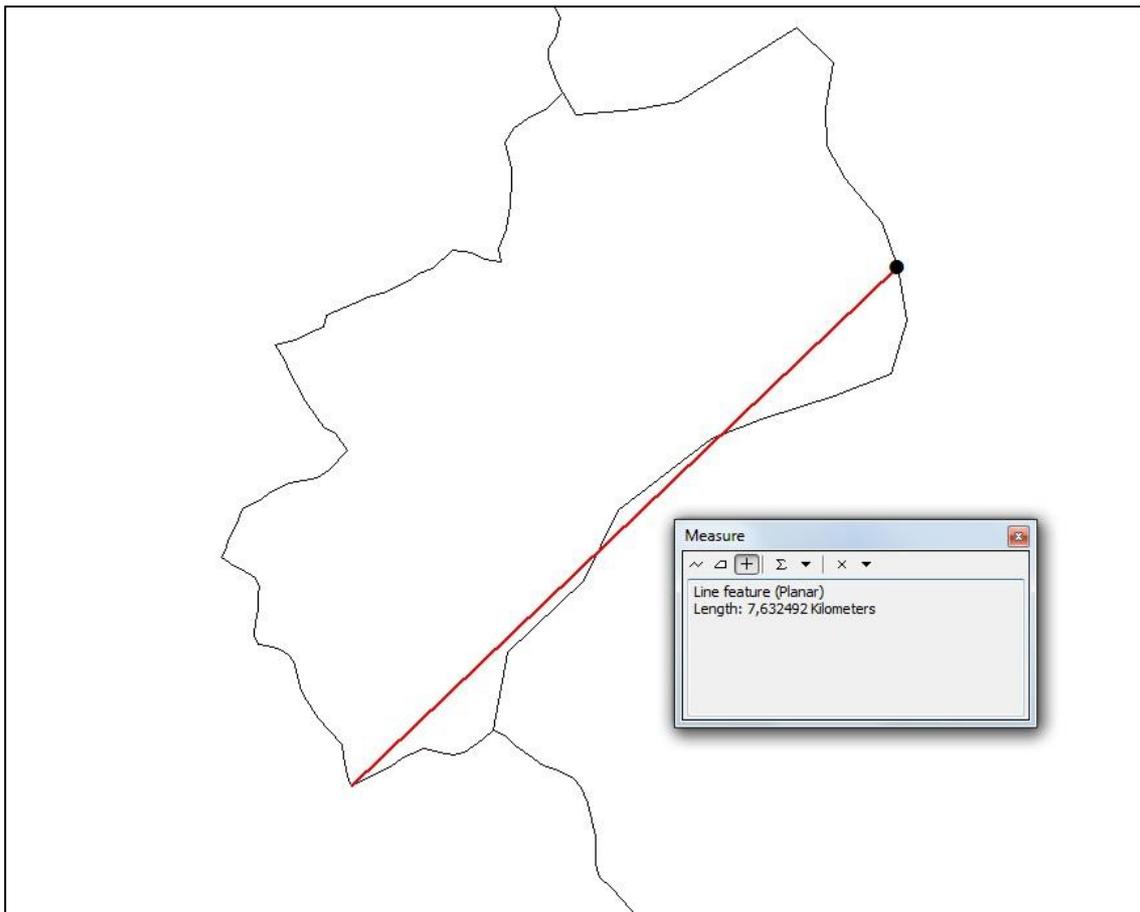


Figura 13: longitud axial de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Una vez obtenidos estos valores, para calcular los parámetros de forma de la hoya solamente fue necesario desarrollar la aritmética en cuestión.

### **Sistema de drenaje**

El sistema de drenaje que posee una cuenca hidrográfica está determinado por tres parámetros fundamentales, cada uno de los cuales brinda información diferenciada acerca de la hoya que se analiza. El primero de estos parámetros es el orden de las corrientes de agua que circulan por la cuenca, que jerarquiza a los ríos en función de su grado de ramificación. Esta información se presenta de manera gráfica, y para el presente proyecto se procedió a diferenciar los ríos mediante un código de color, obteniendo el siguiente resultado:

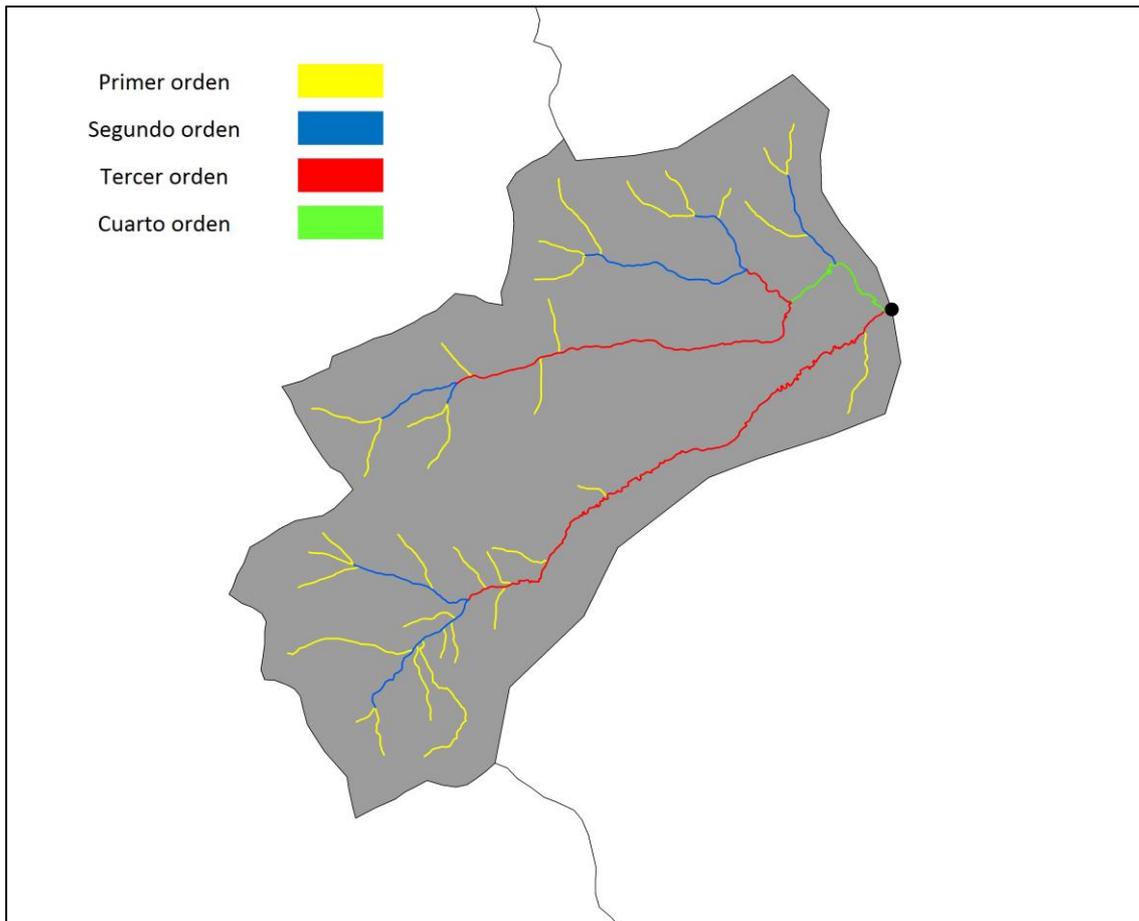


Figura 14: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

El mismo procedimiento se repitió para cada una de las áreas de aporte a la estaciones, obteniendo así una serie de mapas de fácil revisión e interpretación por parte del usuario.

Para la determinación de los parámetros restantes, la densidad de drenaje ( $D_d$ ), la extensión media de la esorrentía superficial ( $I$ ) y la sinuosidad de las corrientes de agua ( $S$ ), era necesario el cálculo de las longitudes de los cursos de agua de cada cuenca, tanto del total de los mismos como la longitud del cauce principal. Para obtener estos datos una vez más se recurrió a las herramientas que ofrece ArcGIS, y con solo seleccionar los cauces implicados se pudo obtener sus longitudes, como se observa a continuación:

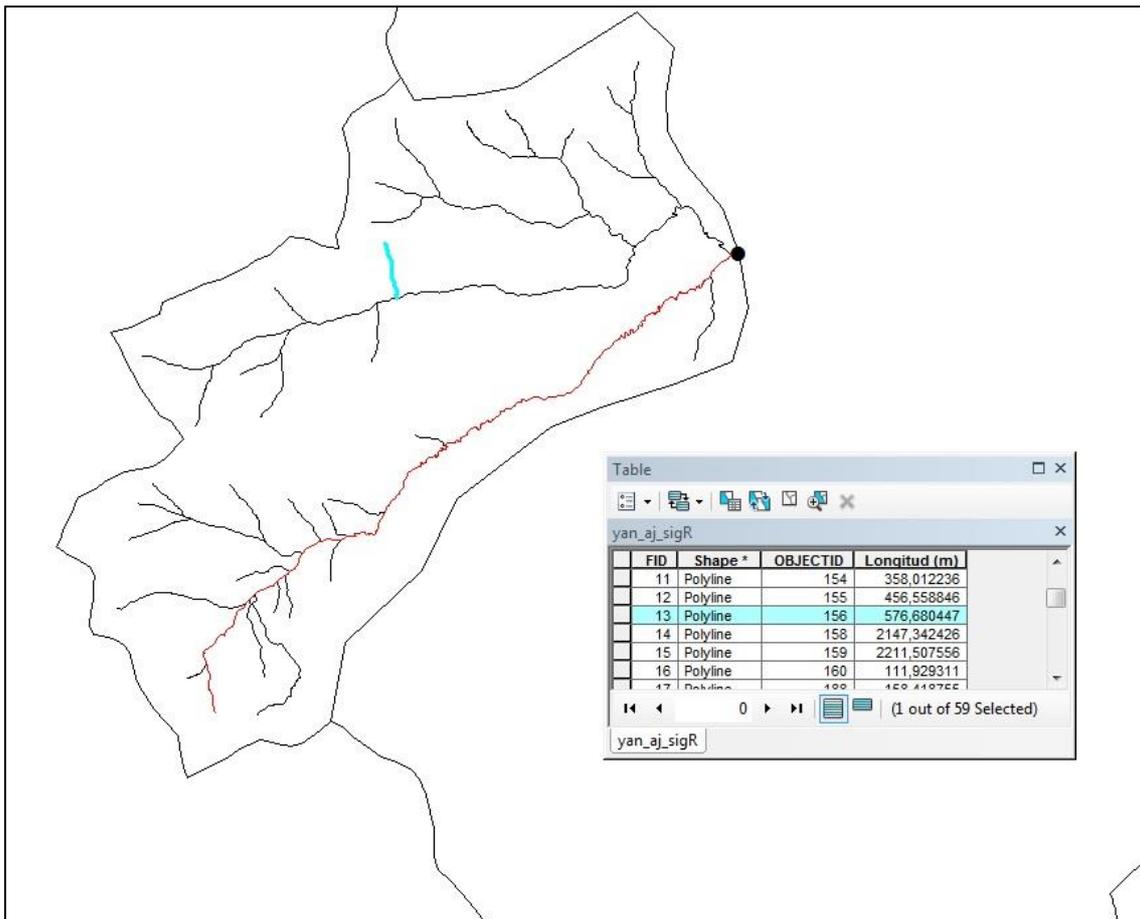


Figura 15: ríos de la cuenca de aporte a la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuyco y sus longitudes en ArcGIS.

Para conocer la longitud del cauce principal medida en línea recta o curva, se procedió a trazar una línea paralela a dicho río en la cual se omitió la sinuosidad del mismo, y realizando un procedimiento similar al presentado anteriormente, se obtuvo dicha longitud:

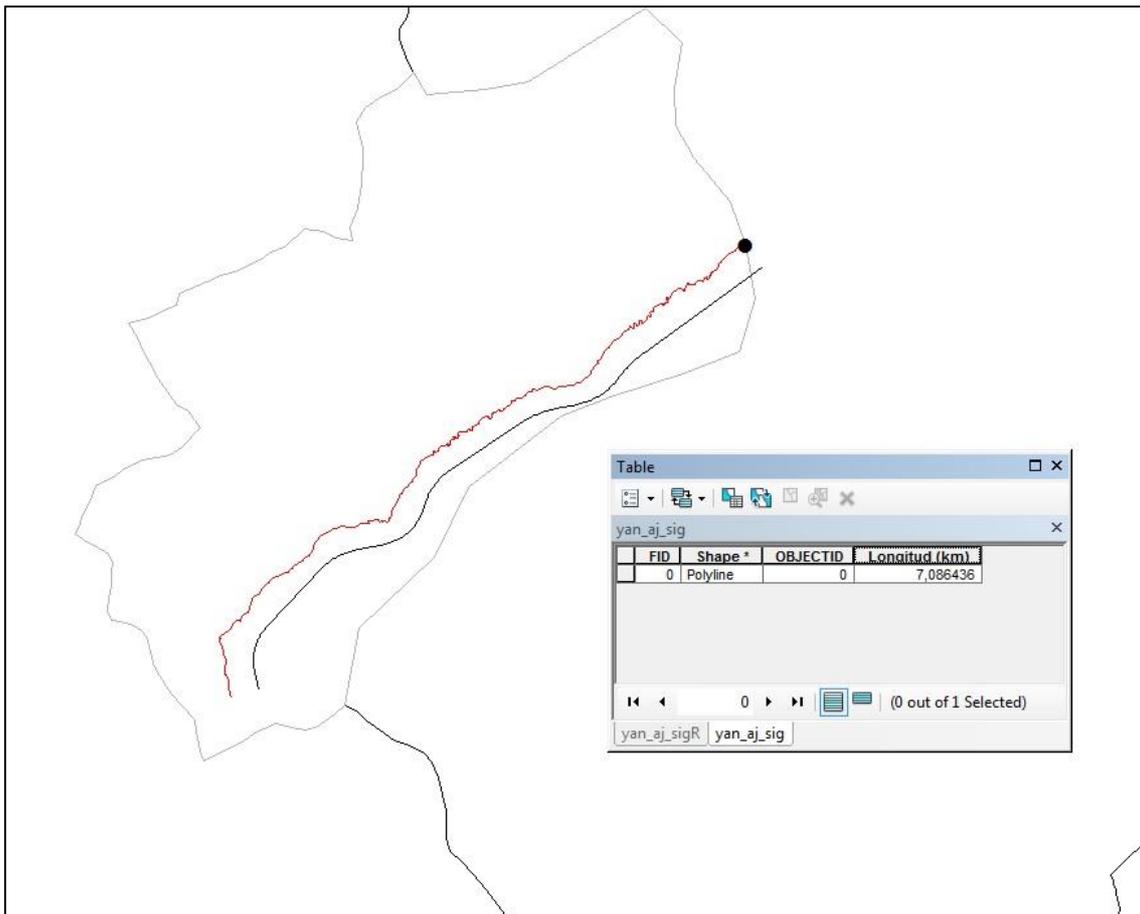


Figura 16: valle del cauce principal de la cuenca de aporte a la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Una vez recopilada esta información, el cálculo de los parámetros restantes se reduce a la aplicación aritmética de las fórmulas propuestas, el cual fue realizado en una hoja electrónica del software Excel.

### **Características del relieve de una cuenca u hoya**

Estas características ofrecen información muy importante acerca de una cuenca u hoya hidrográfica, por tal motivo el presente proyecto ha sido desarrollado con especial cautela durante este tramo. Para acelerar los procesos de cálculo y eliminar los errores que se pudiesen presentar en un trabajo realizado manualmente, en los casos en los que ha sido posible se han utilizado las diferentes prestaciones que ofrece ArcGIS con el fin de optimizar recursos así como ofrecer resultados de alta confiabilidad.

El primer parámetro que se determinó es la pendiente media de la cuenca, característica que controla en parte la velocidad con la que se mueve la escorrentía superficial hasta llegar a los flujos o ríos; para su obtención el primer requisito fundamental fue obtener el mapa de pendientes de la cuenca, el cual usando las curvas de nivel y la función Slope que incluye ArcGIS, puede ser trazado de manera bastante precisa.

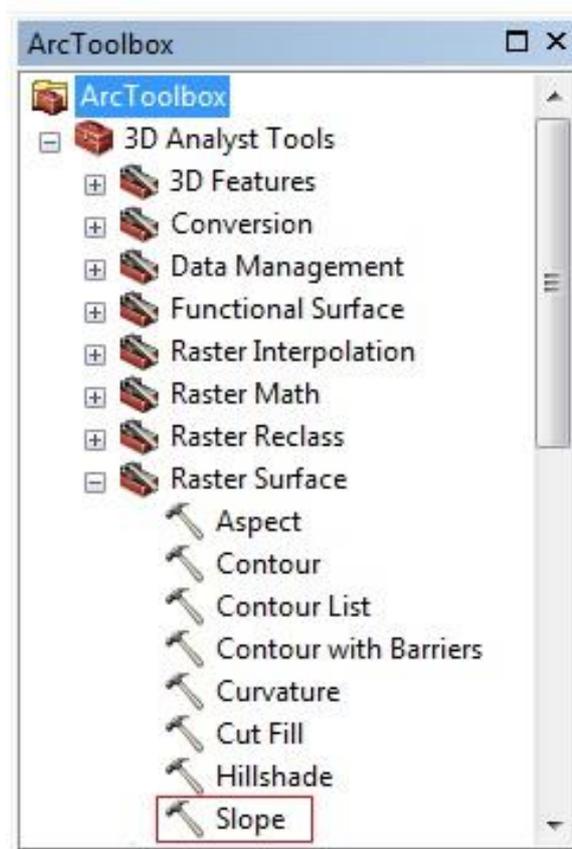


Figura 17: herramienta Slope en ArcGIS.

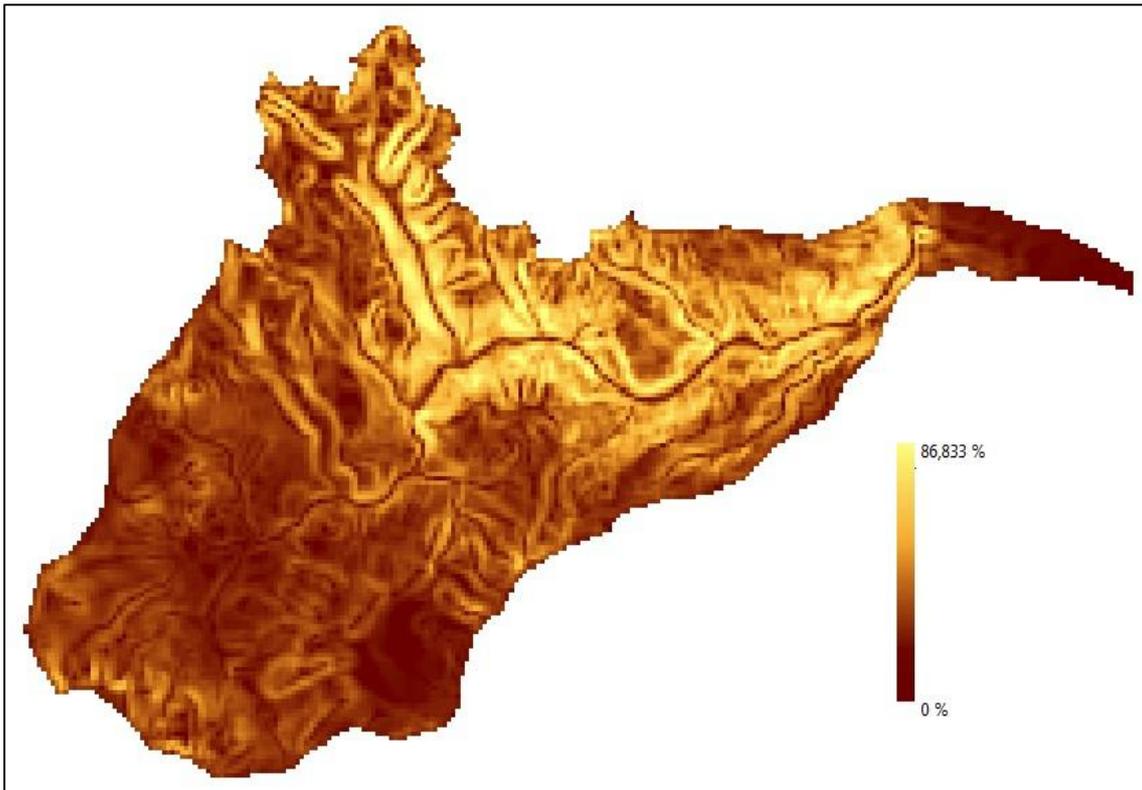


Figura 18: mapa de pendientes de la cuenca del río Yanuncay.

Una vez obtenido este mapa, que a grandes rasgos se puede decir que contiene información de la pendiente del terreno en cualquier punto, lo que se realizó fue un proceso estadístico para la cuenca de cada estación, en el cual se determina la pendiente media de una superficie determinada en el mapa.

Para esta actividad se utilizó la herramienta Zonal Statistics as Table, que ofrece resultados como el valor medio, máximo, mínimo, rango, entre otros, de una superficie determinada de un mapa. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

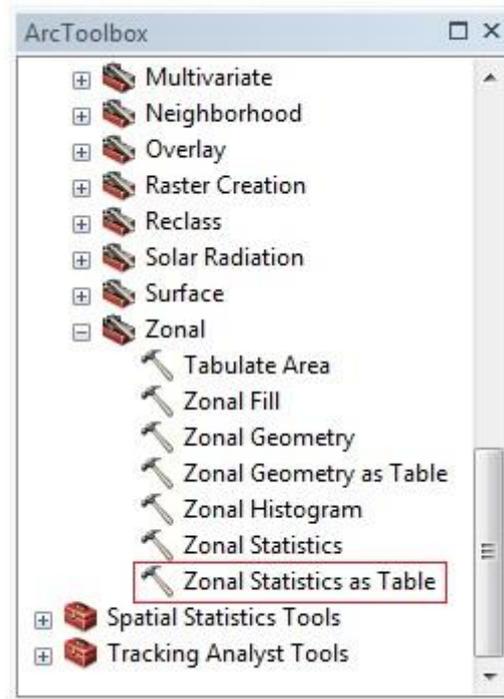


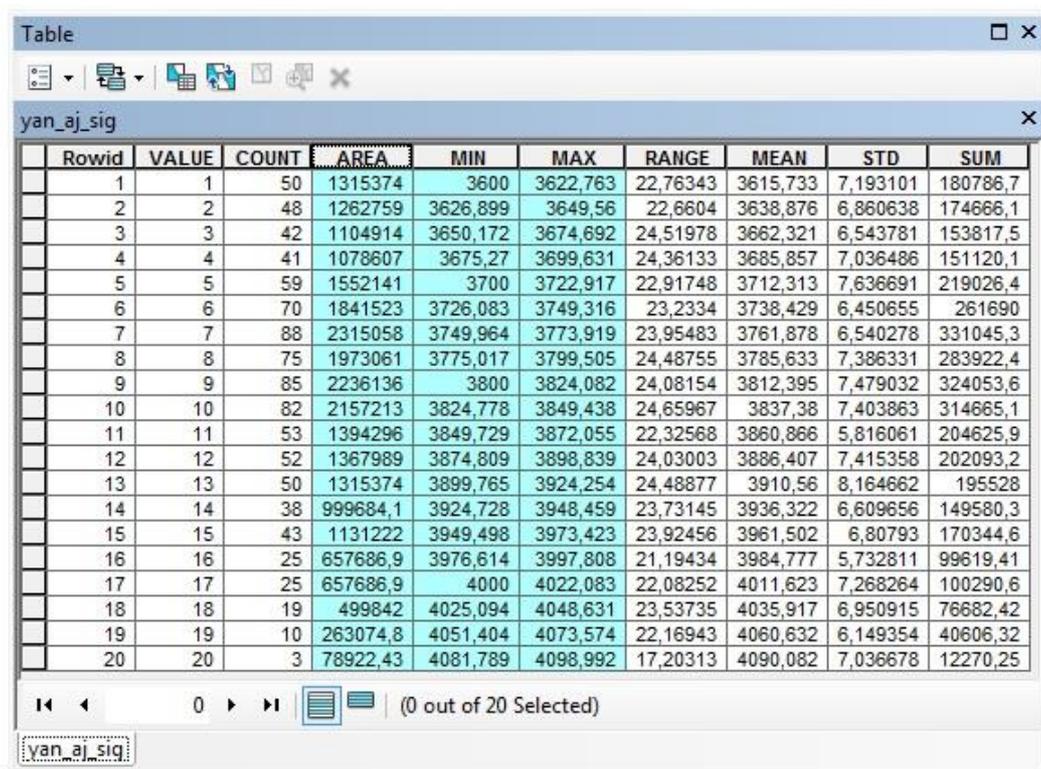
Figura 19: herramienta Zonal Statistics as Table en ArcGIS.

Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	958	2520256	0,113167	41,78995	41,67678	12,20429	6,469256	11691,71

Figura 20: tabla de pendientes de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

De esta tabla de resultados se puede obtener toda la información necesaria acerca de la pendiente de la cuenca, cuya precisión estará directamente en dependencia de con cuanta pericia y minuciosidad fueron tomadas las curvas de nivel del terreno que se está analizando.

El siguiente parámetro dentro de las características de relieve que se obtendrá, es la curva hipsométrica, para lo cual una vez más utilizarán las herramientas que ofrece el software en cuanto a procesos estadísticos. Para este procedimiento es primordial conocer el área que existe entre las curvas de nivel en el trazado de la cuenca, para lo cual se va a utilizar la herramienta Zonal Statistics as Table y se aplicará al modelo digital del terreno (MDT) que se había obtenido previamente utilizando las curvas de nivel; es importante saber que este modelo debe estar reclasificado en función del número de puntos que se desee graficar en la curva. El resultado de aplicar esta herramienta será una tabla que presenta la siguiente información:



Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	50	1315374	3600	3622,763	22,76343	3615,733	7,193101	180786,7
2	2	48	1262759	3626,899	3649,56	22,6604	3638,876	6,860638	174666,1
3	3	42	1104914	3650,172	3674,692	24,51978	3662,321	6,543781	153817,5
4	4	41	1078607	3675,27	3699,631	24,36133	3685,857	7,036486	151120,1
5	5	59	1552141	3700	3722,917	22,91748	3712,313	7,636691	219026,4
6	6	70	1841523	3726,083	3749,316	23,2334	3738,429	6,450655	261690
7	7	88	2315058	3749,964	3773,919	23,95483	3761,878	6,540278	331045,3
8	8	75	1973061	3775,017	3799,505	24,48755	3785,633	7,386331	283922,4
9	9	85	2236136	3800	3824,082	24,08154	3812,395	7,479032	324053,6
10	10	82	2157213	3824,778	3849,438	24,65967	3837,38	7,403863	314665,1
11	11	53	1394296	3849,729	3872,055	22,32568	3860,866	5,816061	204625,9
12	12	52	1367989	3874,809	3898,839	24,03003	3886,407	7,415358	202093,2
13	13	50	1315374	3899,765	3924,254	24,48877	3910,56	8,164662	195528
14	14	38	999684,1	3924,728	3948,459	23,73145	3936,322	6,609656	149580,3
15	15	43	1131222	3949,498	3973,423	23,92456	3961,502	6,80793	170344,6
16	16	25	657686,9	3976,614	3997,808	21,19434	3984,777	5,732811	99619,41
17	17	25	657686,9	4000	4022,083	22,08252	4011,623	7,268264	100290,6
18	18	19	499842	4025,094	4048,631	23,53735	4035,917	6,950915	76682,42
19	19	10	263074,8	4051,404	4073,574	22,16943	4060,632	6,149354	40606,32
20	20	3	78922,43	4081,789	4098,992	17,20313	4090,082	7,036678	12270,25

Figura 21: tabla de resultados del MDT de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Los resultados más importantes de esta tabla son la cota mínima, cota máxima y el área comprendida entre ellas; esta información es la necesaria para poder construir la curva hipsométrica de la cuenca, proceso llevado a cabo en una hoja electrónica de Excel para lo cual los datos fueron exportados y el resultado fue el siguiente:

Tabla 2: datos procesados en Excel previo al gráfico de la curva hipsométrica.

Nº	Cotas			Área		
	Mínima	Máxima	Promedio	Intercurvas	Acumulada	% Acumulado
1	3600,00	3622,76	3611,38	1,3154	25,2026	100,00
2	3626,90	3649,56	3638,23	1,2628	23,8872	94,78
3	3650,17	3674,69	3662,43	1,1049	22,6244	89,77
4	3675,27	3699,63	3687,45	1,0786	21,5195	85,39
5	3700,00	3722,92	3711,46	1,5521	20,4409	81,11
6	3726,08	3749,32	3737,70	1,8415	18,8888	74,95
7	3749,96	3773,92	3761,94	2,3151	17,0472	67,64
8	3775,02	3799,51	3787,26	1,9731	14,7322	58,46
9	3800,00	3824,08	3812,04	2,2361	12,7591	50,63
10	3824,78	3849,44	3837,11	2,1572	10,5230	41,75
11	3849,73	3872,06	3860,89	1,3943	8,3658	33,19
12	3874,81	3898,84	3886,82	1,3680	6,9715	27,66
13	3899,77	3924,25	3912,01	1,3154	5,6035	22,23
14	3924,73	3948,46	3936,59	0,9997	4,2881	17,01
15	3949,50	3973,42	3961,46	1,1312	3,2884	13,05
16	3976,61	3997,81	3987,21	0,6577	2,1572	8,56
17	4000,00	4022,08	4011,04	0,6577	1,4995	5,95
18	4025,09	4048,63	4036,86	0,4998	0,8418	3,34
19	4051,40	4073,57	4062,49	0,2631	0,3420	1,36
20	4081,79	4098,99	4090,39	0,0789	0,0789	0,31

Una vez que se ha procesado y ordenado la información extraída de ArcGIS, se procede al gráfico de la curva hipsométrica de la cuenca; en el eje de las ordenadas se colocan las cotas promedio de la elevación y en las abscisas el porcentaje del área acumulada con respecto a la total, y el resultado es el siguiente:

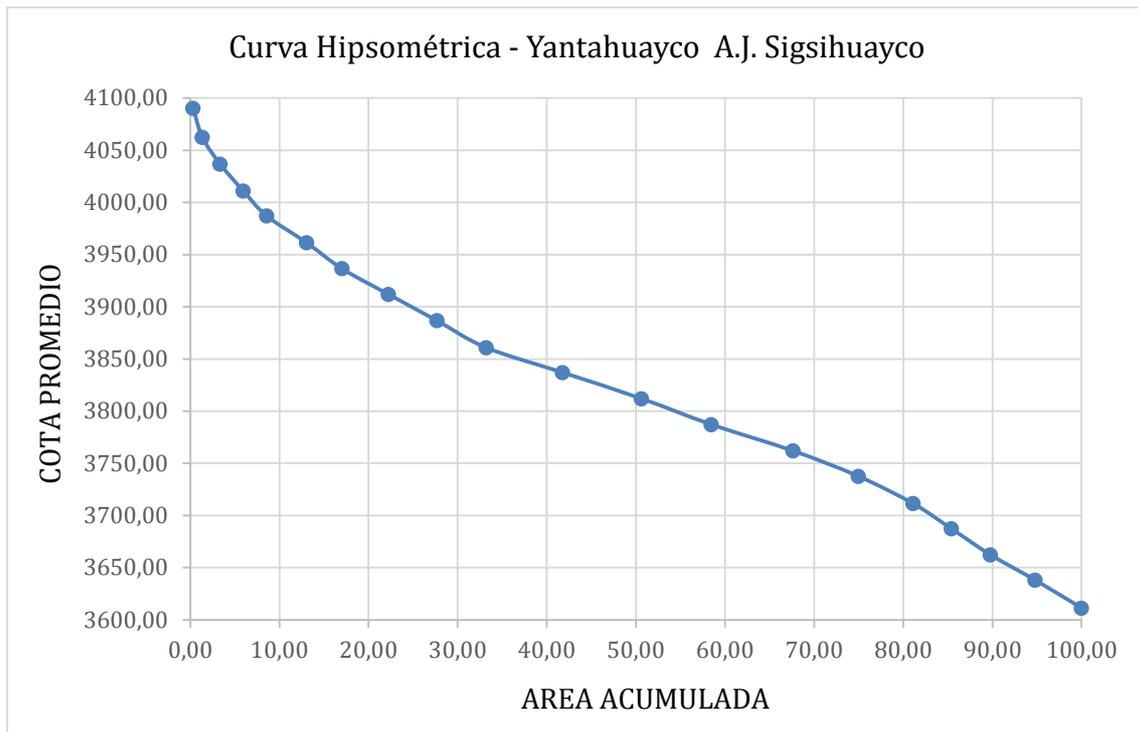


Figura 22: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

La precisión de este grafico es tan alta como minuciosa haya sido la toma de las curvas de nivel en campo, pues ambos parámetros están estrictamente relacionados uno con el otro.

Para el cálculo del siguiente parámetro que es la elevación media de la cuenca, el procedimiento será similar al realizado anteriormente, se aplicará la herramienta Zonal Statistics as Table sobre el modelo digital del terreno (MDT) del área que se desea obtener la información, como resultado se obtendrá una tabla que indica las estadísticas con respecto al parámetro que indique el modelo ingresado (elevación) como la siguiente:

Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	958	2520256	3600	4098,992	498,9922	3806,299	113,1233	364643

Figura 23: estadísticas sobre la elevación de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

La tabla de resultados que ofrece el software permite extraer toda la información necesaria, teniendo valores importantes como la elevación media, mínima, máxima, rango de variación, entre otros.

La pendiente de la corriente principal, por concepto, se define como el cociente entre una variación en altura sobre una distancia dada; la longitud de la corriente principal se había obtenido en procedimientos anteriores, y el desnivel se puede calcular como la diferencia entre las curvas de nivel tanto al inicio como al final del cauce, información que podemos obtener directamente de ArcGIS como se muestra a continuación:

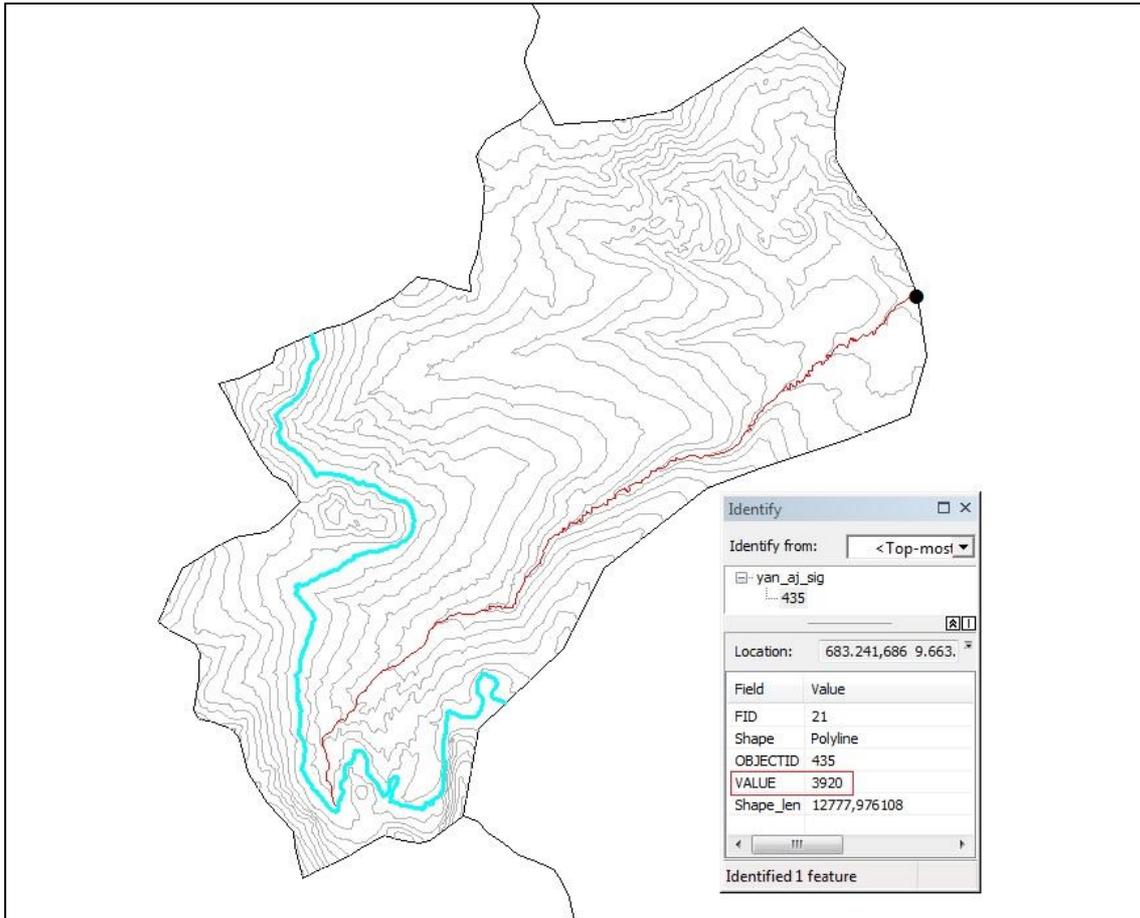


Figura 24: valor de la cota inicial del río principal de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Una vez obtenidos los valores de la cota inicial y final del cauce principal, junto con la longitud del mismo, usando aritmética simple puede obtenerse la pendiente de la corriente, la cual para el presente proyecto, esta expresada en porcentaje.

Para el gráfico del rectángulo equivalente de la cuenca, lo primero que se debe buscar son los lados  $L$  y  $l$  del cuadrilátero, los cuales están en función del área y perímetro de cada cuenca y están dados por las siguientes expresiones (Monsalve Sáenz, 1999):

$$L = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \times \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{1.12^2}{K_C^2}} \right]$$

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

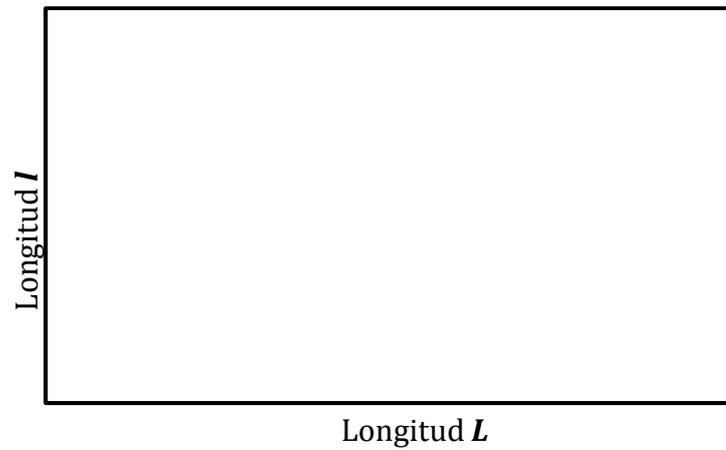


Figura 25: representación gráfica de las longitudes  $l$  y  $L$ .

Una vez determinados estos valores y usando la información obtenida anteriormente referente a las cotas de la cuenca y el área entre ellas comprendida, se procede a armar una tabla previa al gráfico, en donde a la cota que acumule la mayor área se le asignará la longitud  $L$ , y a las demás, un valor proporcional del mismo, como se muestra a continuación:

Tabla 3: tabulación de los valores de  $L$  para cada cota de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

<b>L</b>	<b>l</b>
9,77601023	2,582869769

<b>Rectángulo equivalente</b>		
<b>Cotas promedio (m)</b>	<b>Área acumulada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Longitud acumulada del rectángulo equivalente (km)</b>
3611,38	25,20	9,78
3638,23	23,89	9,27
3662,43	22,62	8,78
3687,45	21,52	8,35
3711,46	20,44	7,93
3737,70	18,89	7,33
3761,94	17,05	6,61
3787,26	14,73	5,71
3812,04	12,76	4,95
3837,11	10,52	4,08
3860,89	8,37	3,25
3886,82	6,97	2,70
3912,01	5,60	2,17
3936,59	4,29	1,66
3961,46	3,29	1,28
3987,21	2,16	0,84
4011,04	1,50	0,58
4036,86	0,84	0,33
4062,49	0,34	0,13
4090,39	0,08	0,03

Una vez con estos valores, se procede a graficar el rectángulo equivalente de la cuenca, cuyos lados serán L y l respectivamente, y para cada cota se trazará un perpendicular a la abscisa a la longitud correspondiente, como se muestra en la siguiente imagen:

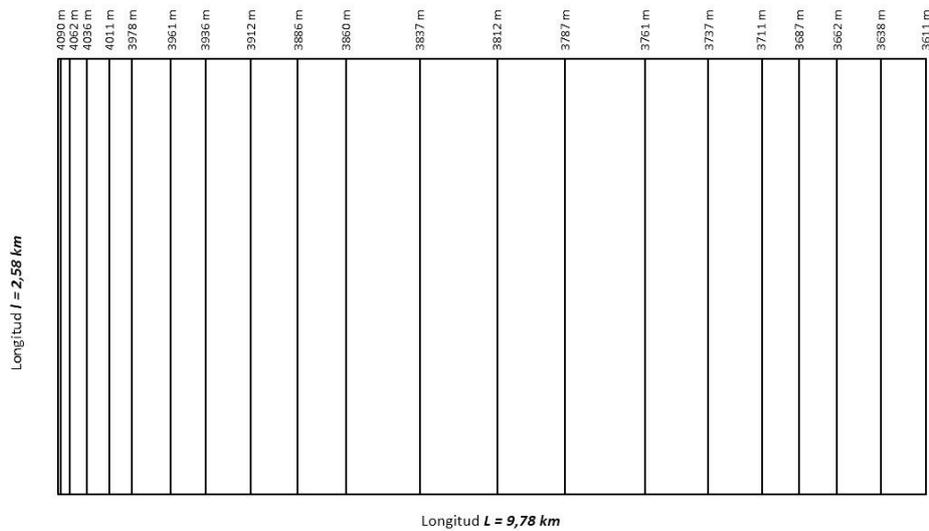


Figura 26: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

**Tiempo de concentración**

Para calcular el tiempo de concentración de las cuencas de las estaciones se usarán distintas expresiones matemáticas, para así poder corroborar los resultados obtenidos; las formulas planteadas por la Universidad Nacional de Colombia (Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2010) involucran parámetros que ya se ha obtenido a lo largo del proyecto, tales como área de la cuenca, longitud del cauce principal, pendiente, entre otros. La determinación de esta característica se reducirá a la aplicación de aritmética básica en las fórmulas planteadas y la corroboración de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS Y USO DE SUELO

#### 4.1 Estación Yanuncay A.J. Tarqui (Bomberos)

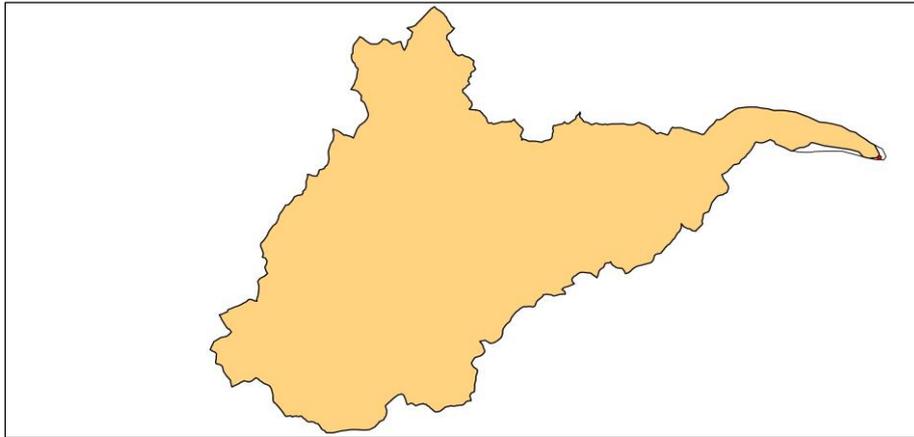


Figura 27: área de la estación Yanuncay A.J. Tarqui respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 4: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

<b>Características geométricas y relieve</b>		<b>Forma de la cuenca y drenaje</b>	
Área (km <sup>2</sup> )	414,729	Índice de Gravelius	1,863
Perímetro (km)	135,482	Factor de forma	0,236
Pendiente media (%)	20,787	Densidad de drenaje	1,702
Elevación media (m)	3638,742	Extensión media de la escorrentía superficial	0,147
Pendiente de la corriente principal (%)	2,355	Sinuosidad de las corrientes de agua	1,164

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	5,697
Kirpich (h)	6,364

Témez (h)	13,305
-----------	--------

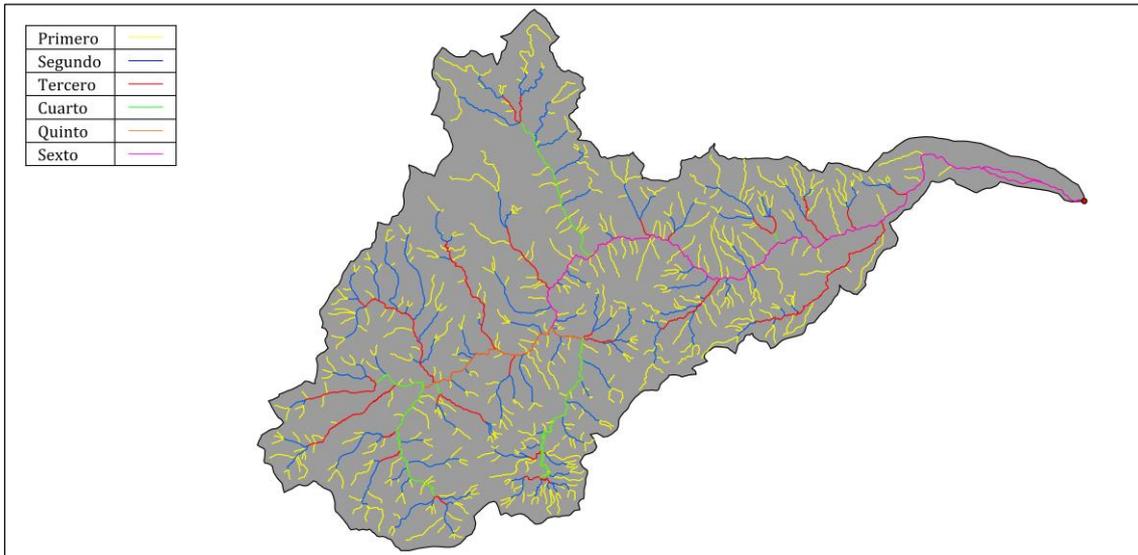


Figura 28: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

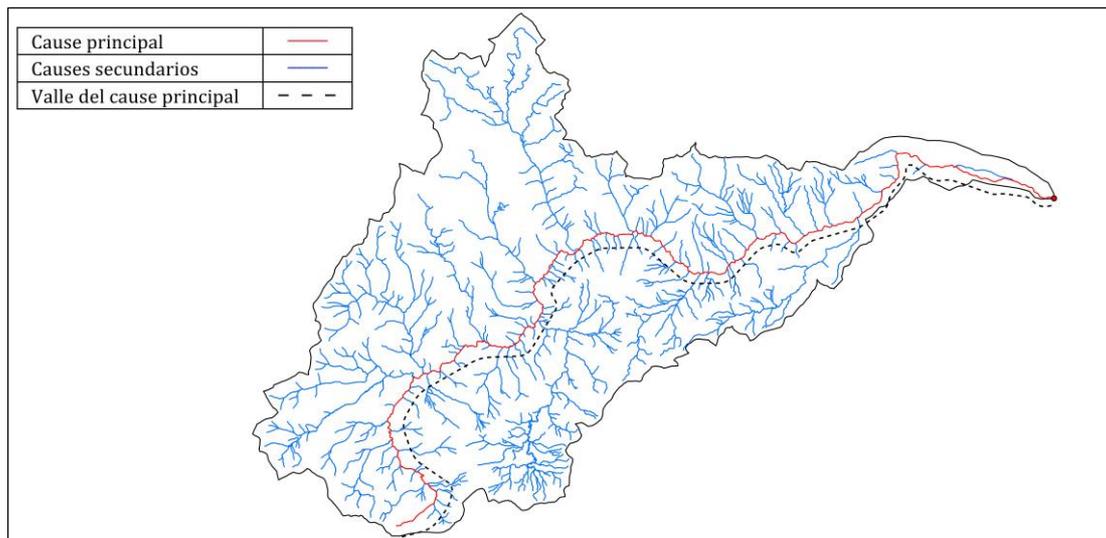


Figura 29: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

Tabla 5: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

Longitud total de las corrientes (km)	706,053
Longitud de la corriente principal (km)	57,540
Longitud del valle de la corriente principal (km)	49,413

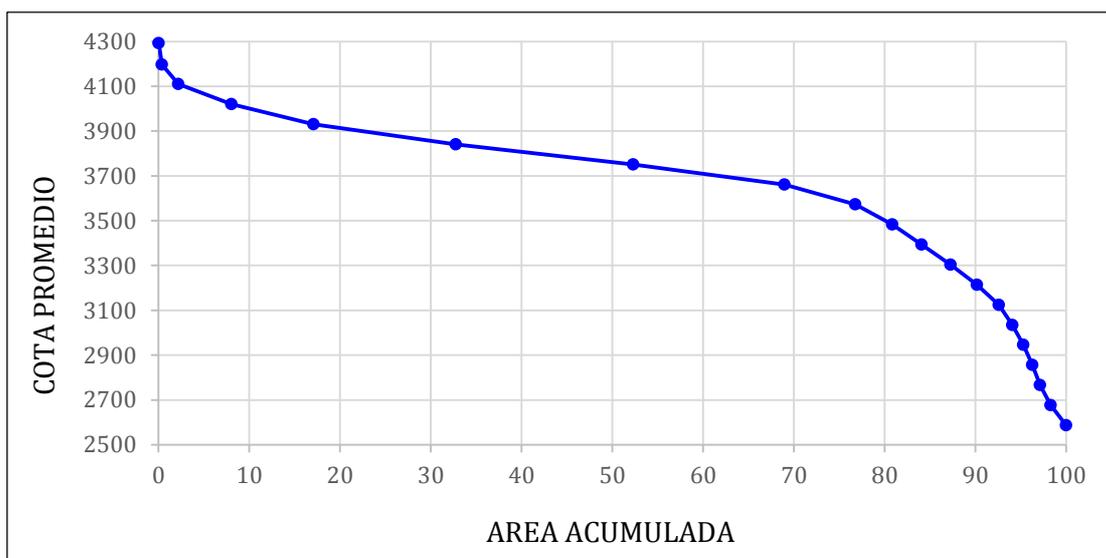


Figura 30: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

Tabla 6: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	27,846	6,714
Bosque de Pino	14,404	3,473
Bosque de Eucaliptus	2,371	0,572
Bosque de Quínoa	4,338	1,046
Suelo de Cultivo (70%) y Pasto (30%)	6,603	1,592
Degradación	4,951	1,194
Laguna	4,713	1,136
Páramo	311,466	75,101
Pasto	30,460	7,344
Población	6,713	1,619
Vía	0,876	0,211

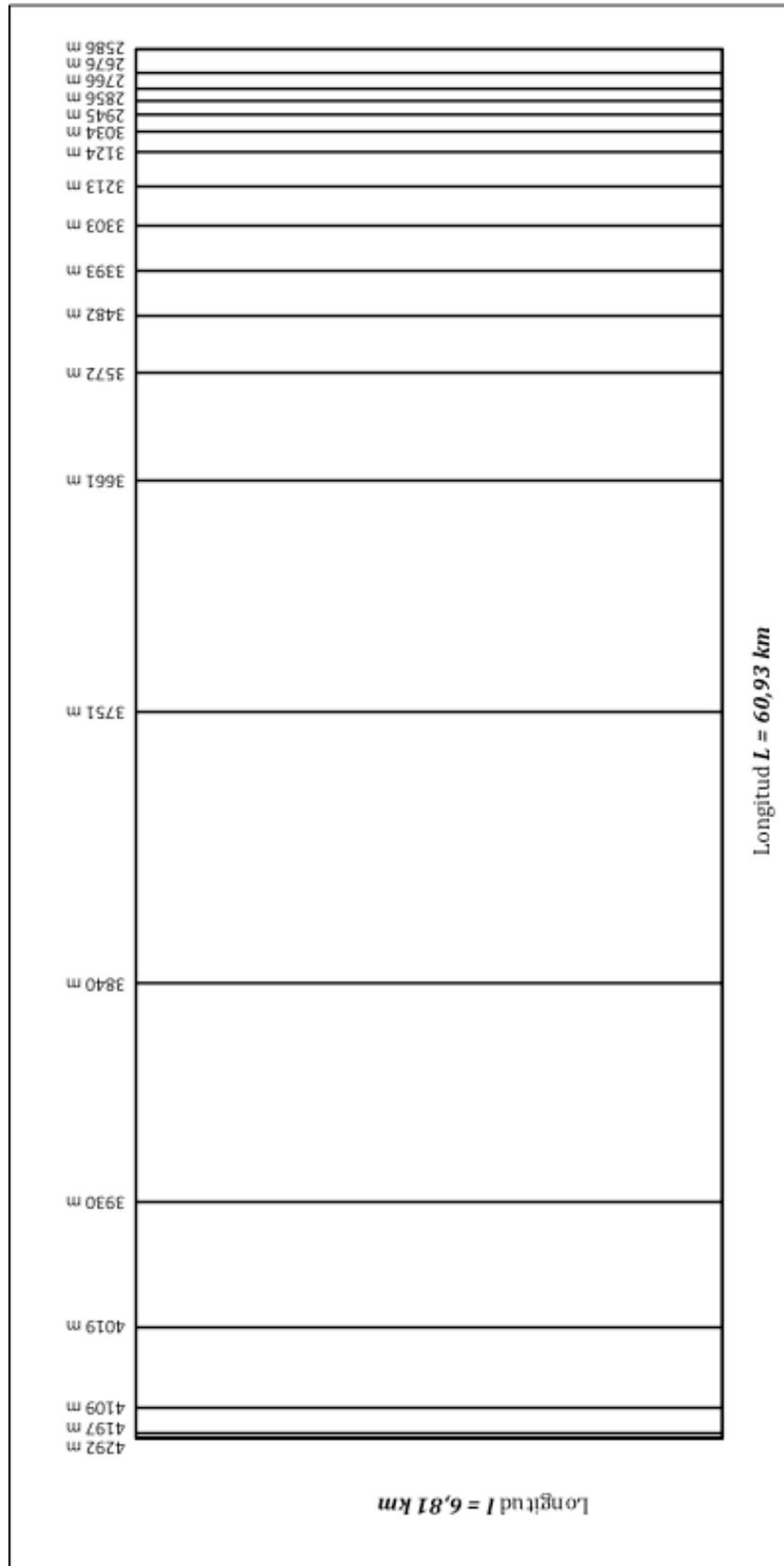


Figura 31: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Tarqui.

## 4.2 Estación Yanuncay en Captación Sustag

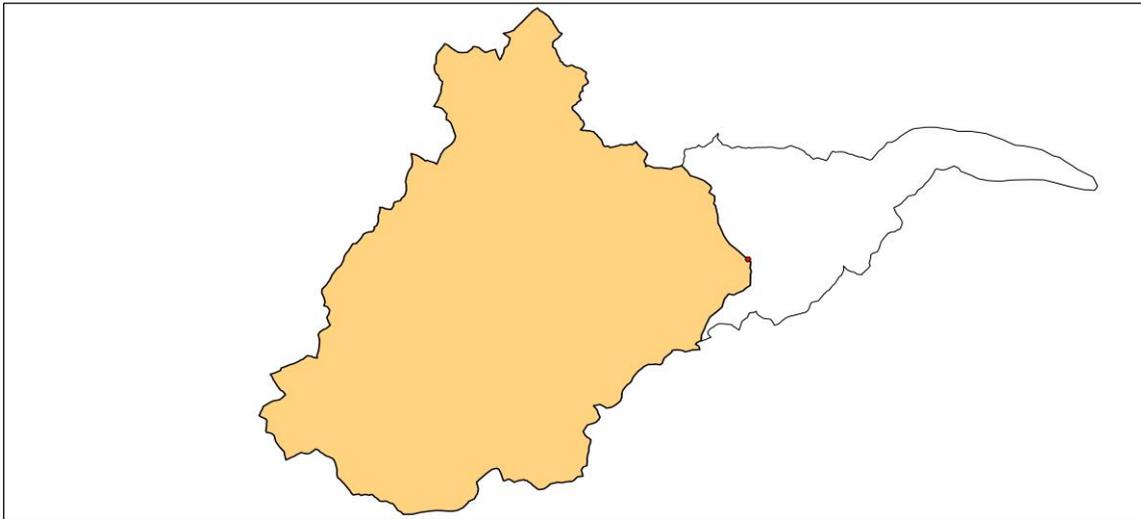


Figura 32: área de la estación Yanuncay en captación Sustag respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 7: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay en captación Sustag.

### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	331,533
Perímetro (km)	96,661

### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,486
Factor de forma	0,529

### Características de relieve

Pendiente media (%)	19,228
Elevación media (m)	3745,707
Pendiente de la corriente principal (%)	2,697

### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,695
Extensión media de la escorrentía superficial	0,147
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,192

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	5,092
Kirpich (h)	4,172

Témez (h)	9,000
-----------	-------

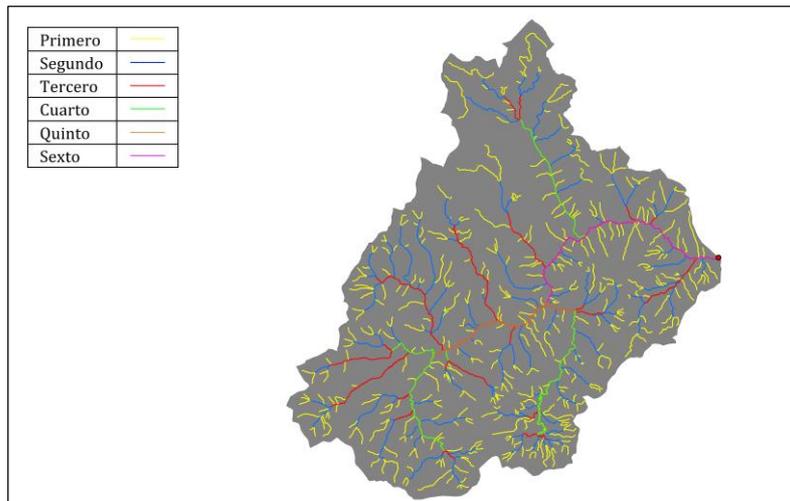


Figura 33: orden de corrientes de agua en la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag.

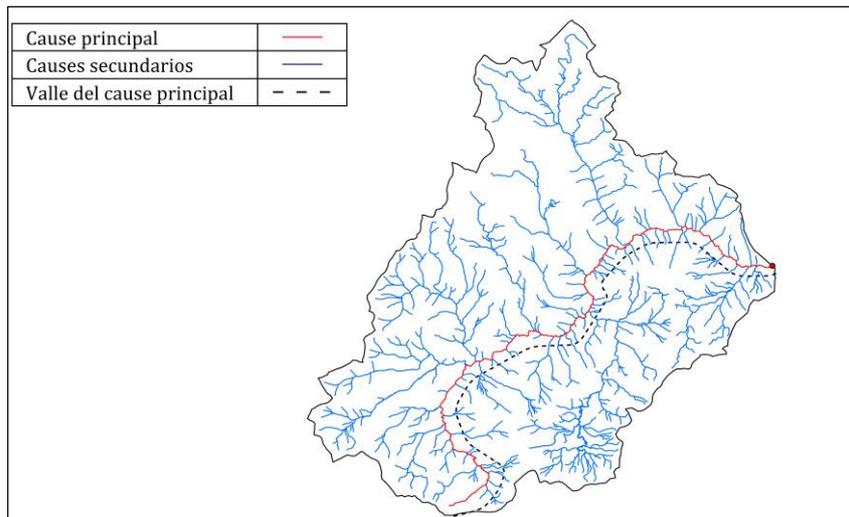


Figura 34: corrientes principales de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag.

Tabla 8: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag.

Longitud total de las corrientes (km)	561,927
Longitud de la corriente principal (km)	35,591
Longitud del valle de la corriente principal (km)	29,868

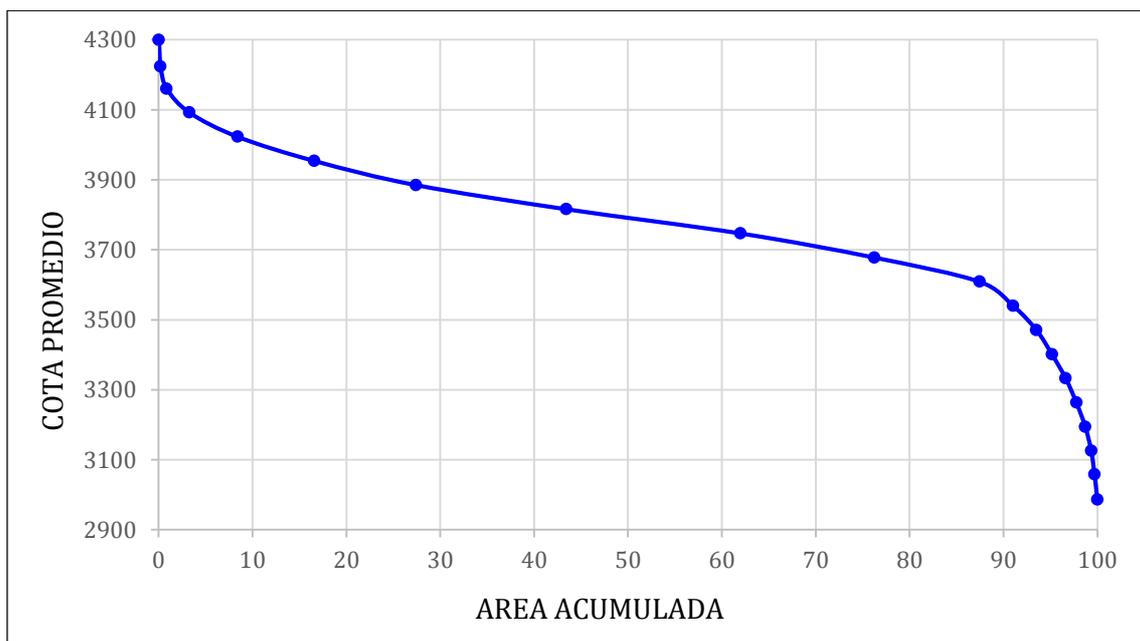


Figura 35: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag.

Tabla 9: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	8,917	2,690
Bosque de Pino	11,388	3,435
Bosque de Quínoa	4,048	1,221
Suelo de Cultivo (70%) y Pasto (30%)	3,179	0,959
Degradación	3,082	0,930
Laguna	4,256	1,284
Páramo	288,314	86,964
Pasto	7,709	2,325
Vía	0,641	0,193

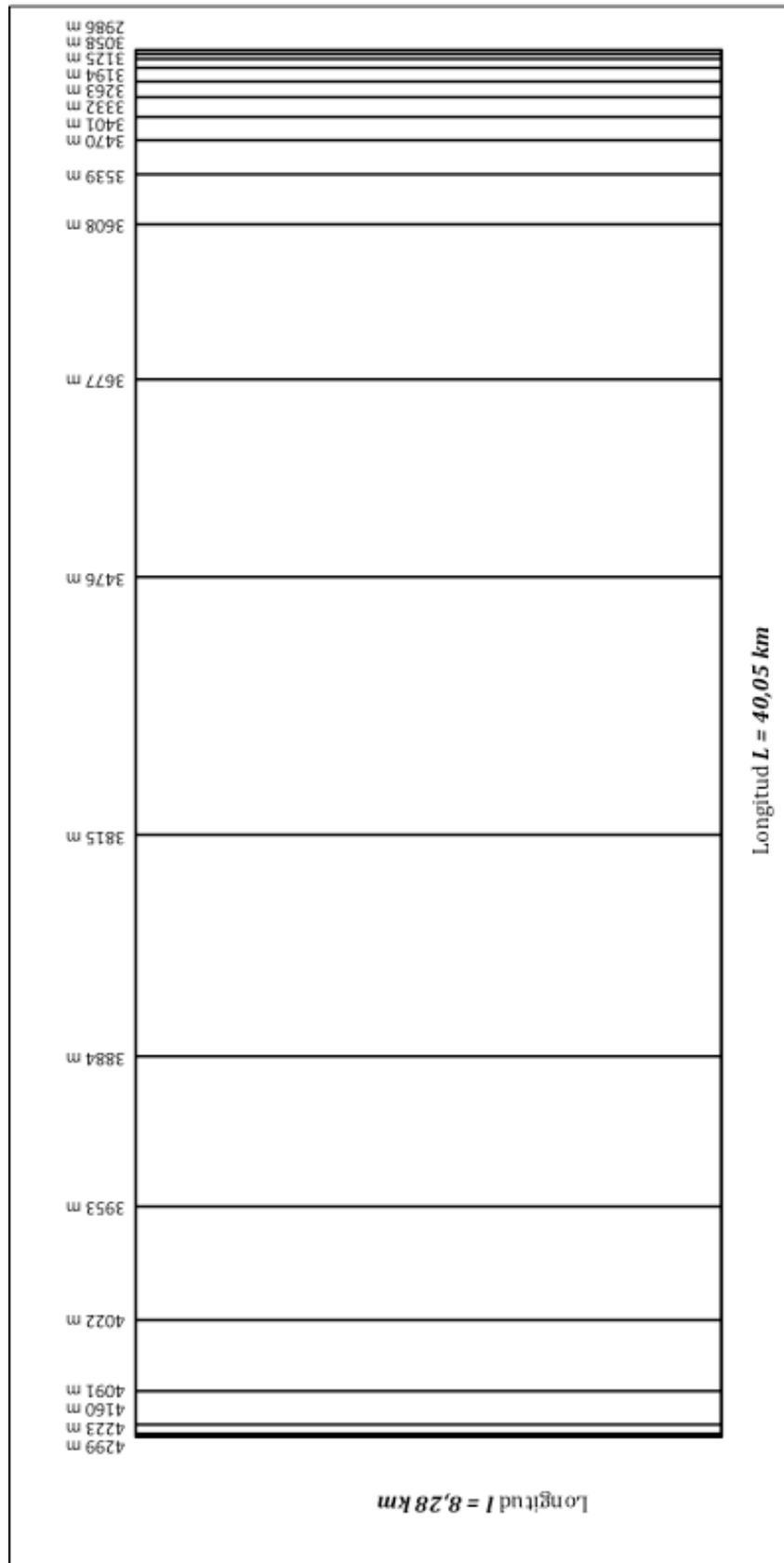


Figura 36: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay en captación Sustag.

### 4.3 Estación Yanuncay en Pucán

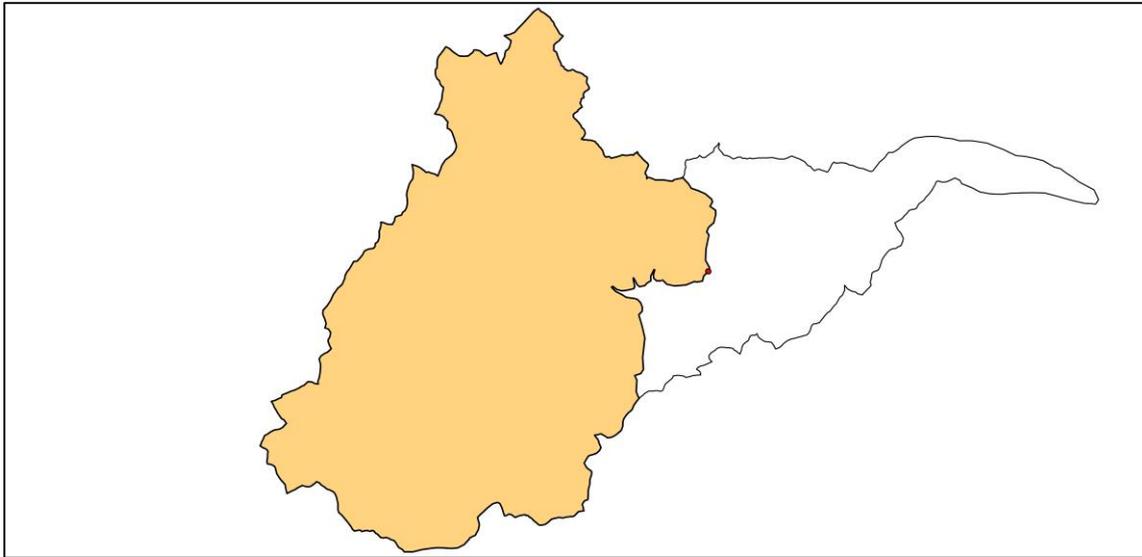


Figura 37: área de la estación Yanuncay en Pucán respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 10: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay en Pucán

#### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	308,573
Perímetro (km)	99,995

#### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,594
Factor de forma	0,569

#### Características de relieve

Pendiente media (%)	18,912
Elevación media (m)	3762,400
Pendiente de la corriente principal (%)	2,706

#### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,674
Extensión media de la escorrentía superficial	0,149
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,224

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	5,006
Kirpich (h)	3,955

Témez (h)	8,543
-----------	-------

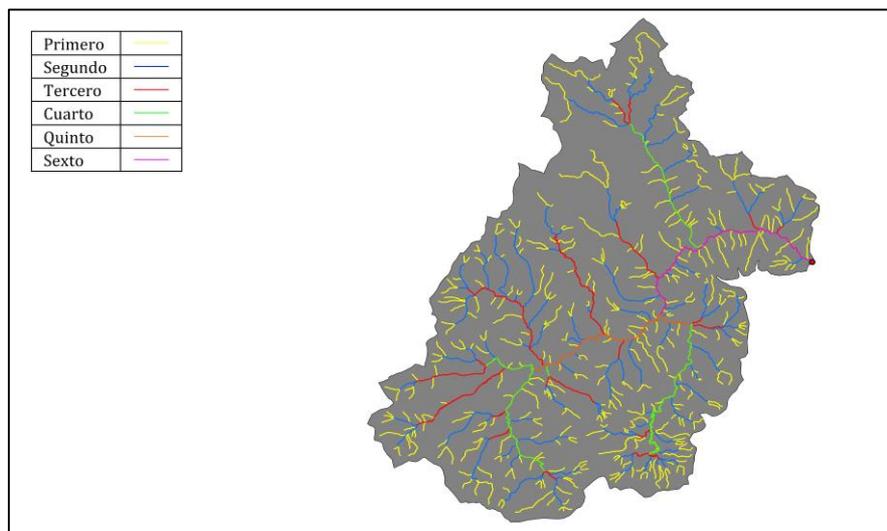


Figura 38: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán.

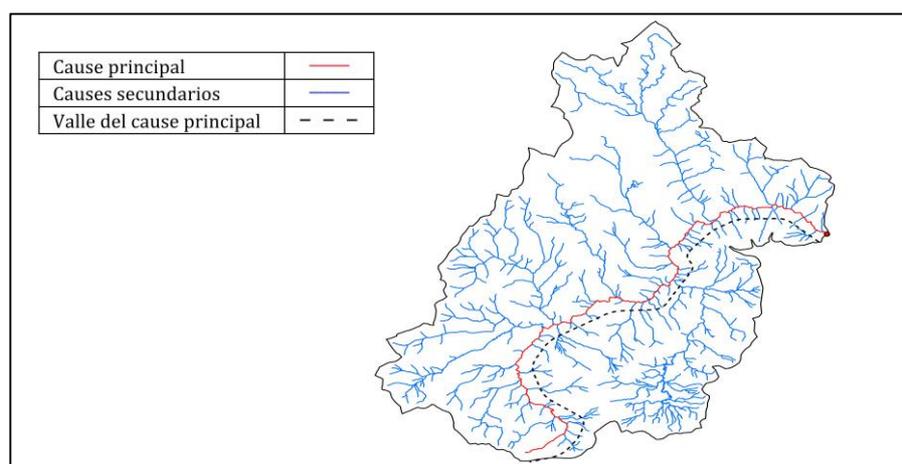


Figura 39: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán.

Tabla 11: longitudes representativas de los causes de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán

Longitud total de las corrientes (km)	516,675
Longitud de la corriente principal (km)	33,257
Longitud del valle de la corriente principal (km)	27,175

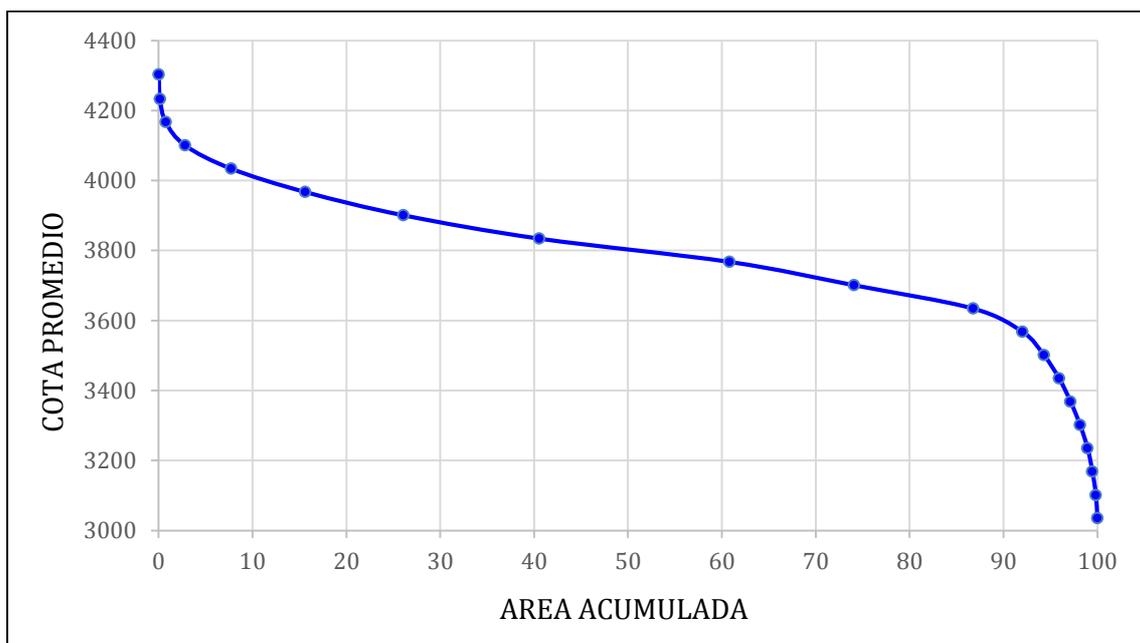


Figura 40: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán.

Tabla 12: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	4,910	1,591
Bosque de Pino	7,182	2,327
Bosque de Quínoa	4,048	1,312
Suelo de Cultivo (70%) y Pasto (30%)	3,179	1,030
Degradación	2,312	0,749
Laguna	4,221	1,368
Páramo	277,579	89,956
Pasto	4,519	1,464
Vía	0,624	0,202

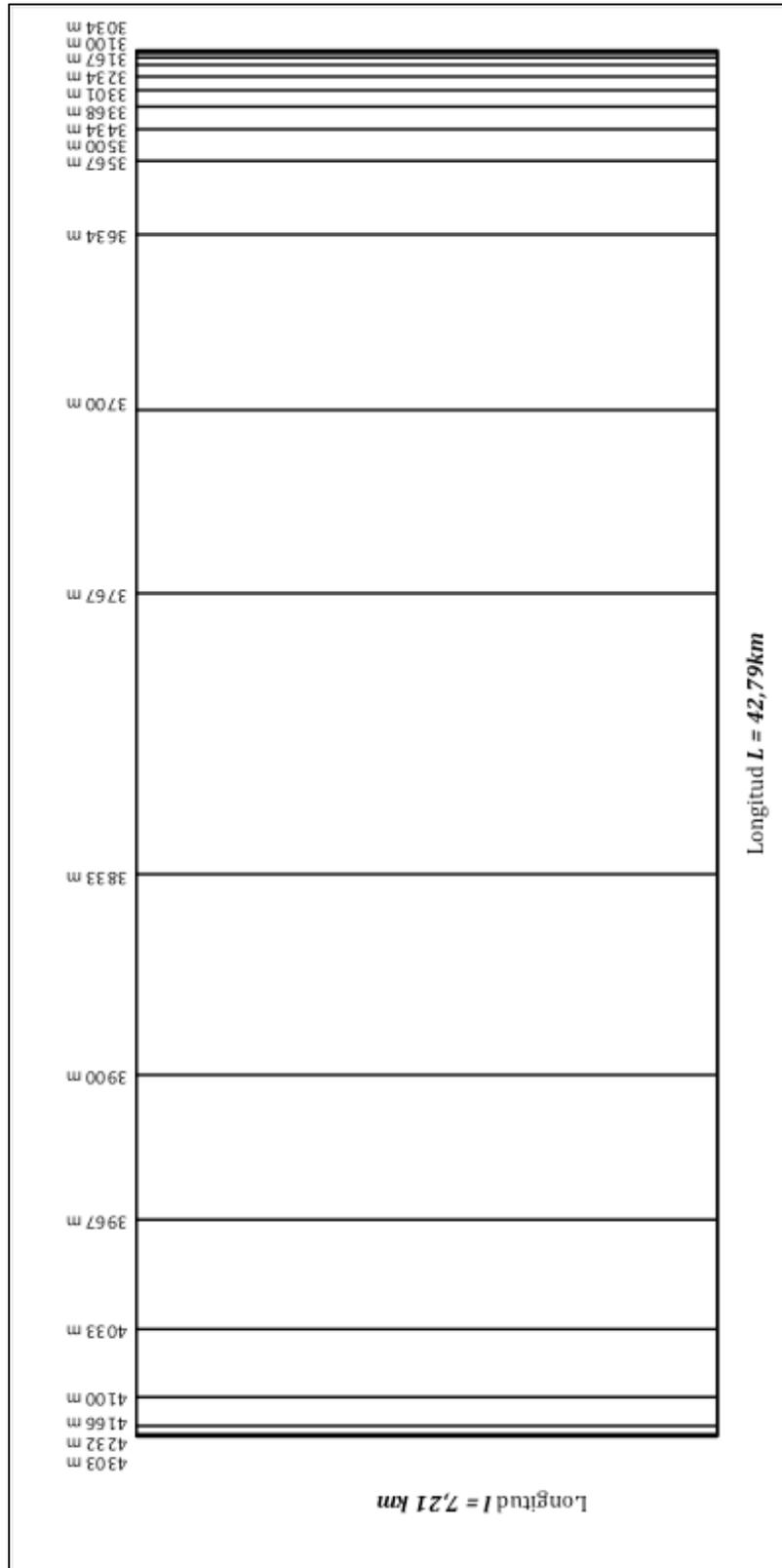


Figura 41: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay en Pucán.

#### 4.4 Estación Soldados A.J. Yanuncay

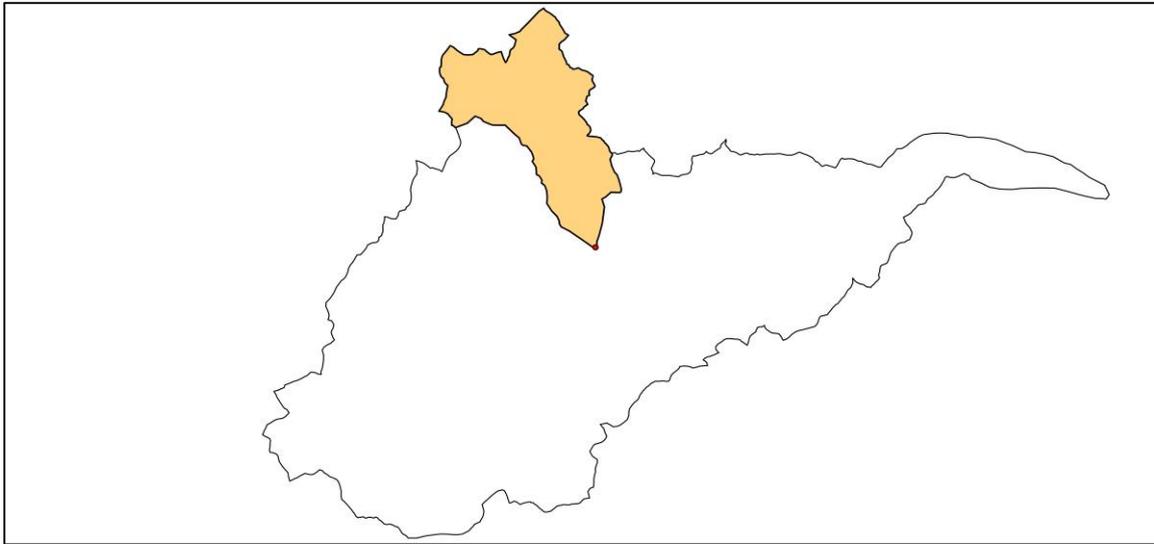


Figura 42: área de la estación Soldados A.J. Yanuncay respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 13: características y tiempo de concentración de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	45,485
Perímetro (km)	39,224

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,628
Factor de forma	0,303

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	31,246
Elevación media (m)	3876,517
Pendiente de la corriente principal (%)	6,149

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,442
Extensión media de la escorrentía superficial	0,173
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,105

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	2,041
Kirpich (h)	1,506

Témez (h)	3,851
-----------	-------

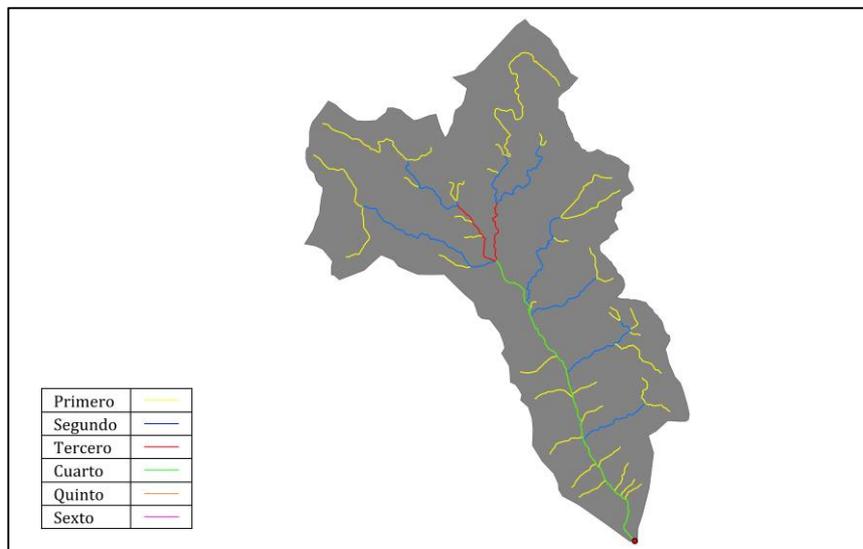


Figura 43: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

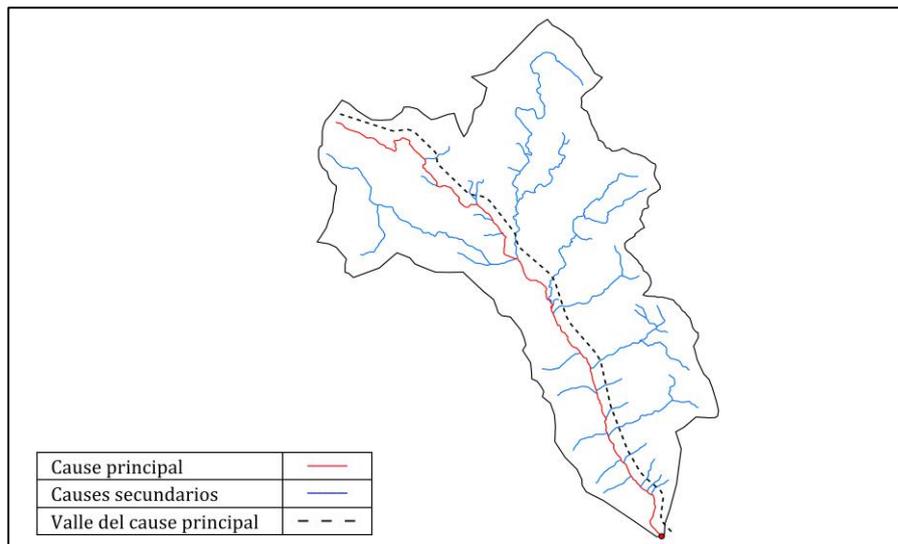


Figura 44: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

Tabla 14: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

Longitud total de las corrientes (km)	706,053
Longitud de la corriente principal (km)	57,540
Longitud del valle de la corriente principal (km)	49,413

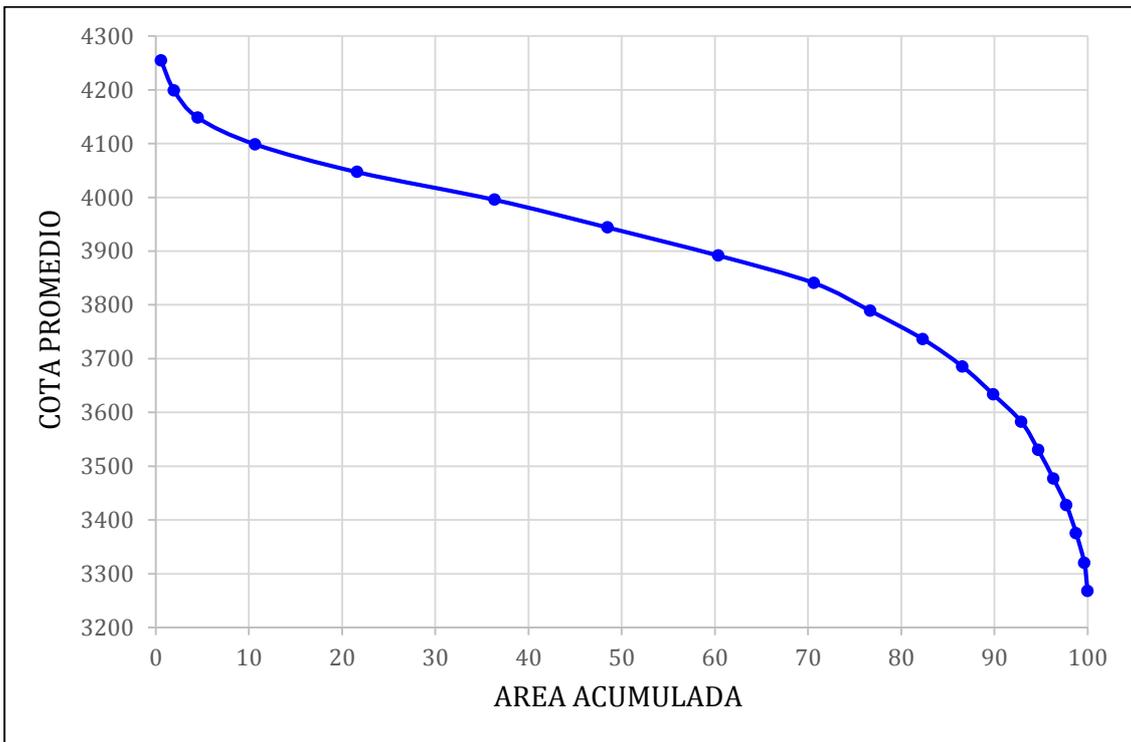


Figura 45: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

Tabla 15: uso de suelo de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	0,107	0,236
Bosque de Quínoa	1,643	3,611
Degradación	0,813	1,788
Laguna	2,302	5,062
Páramo	39,612	87,090
Pasto	1,007	2,214

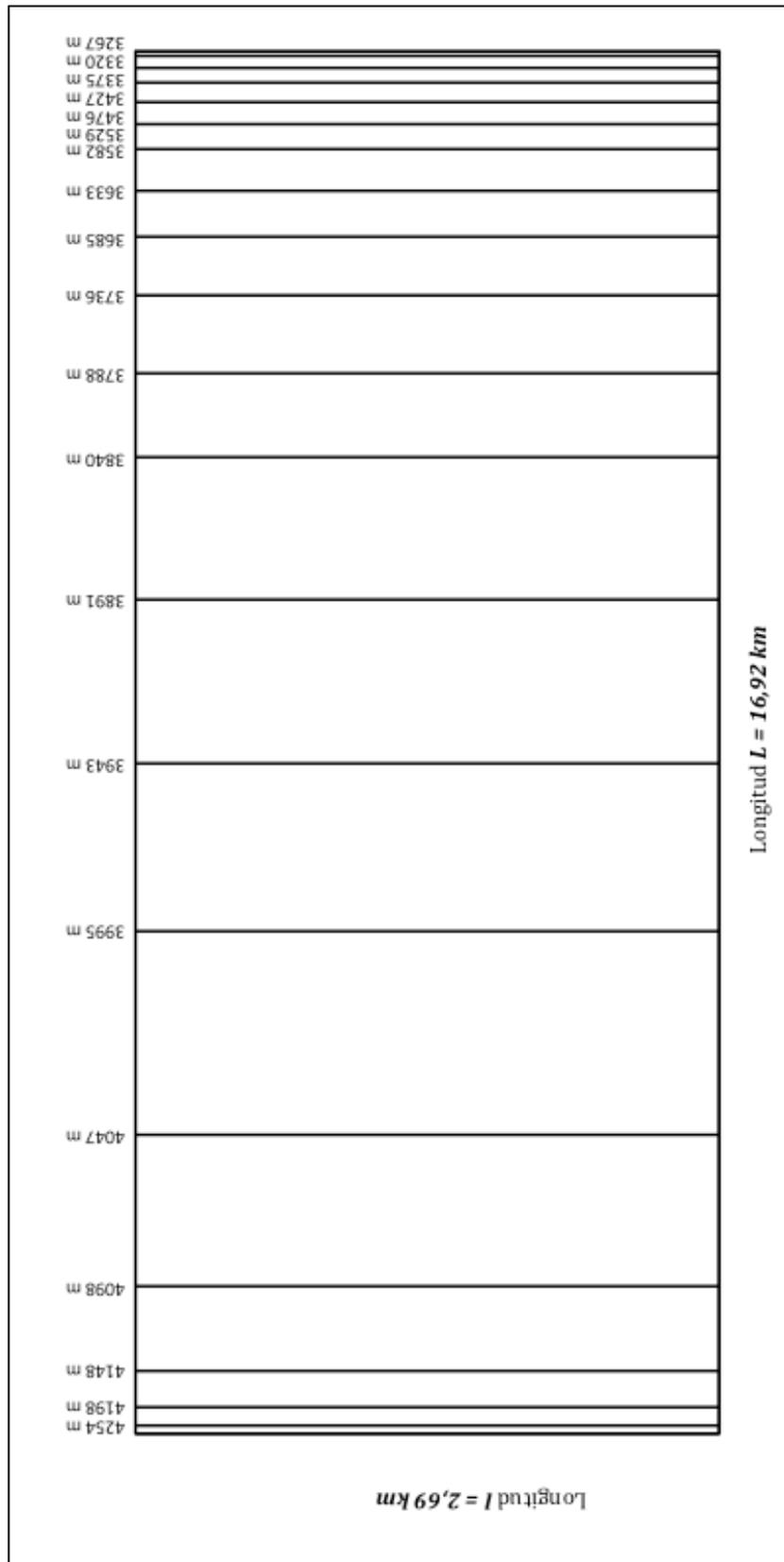


Figura 46: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Soldados A.J. Yanuncay.

#### 4.5 Estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay

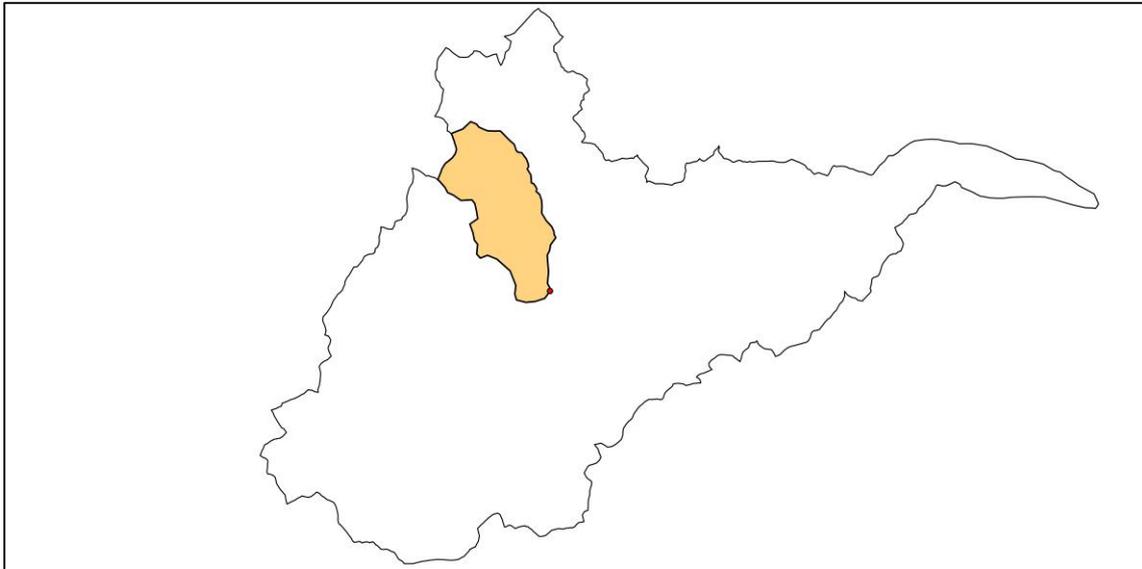


Figura 47: área de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 16: características y tiempo de concentración de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	25,791
Perímetro (km)	24,367

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,343
Factor de forma	0,323

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	20,002
Elevación media (m)	3848,024
Pendiente de la corriente principal (%)	5,788

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	0,817
Extensión media de la escorrentía superficial	0,306
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,139

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	1,860
Kirpich (h)	1,045

Témez (h)	2,654
-----------	-------

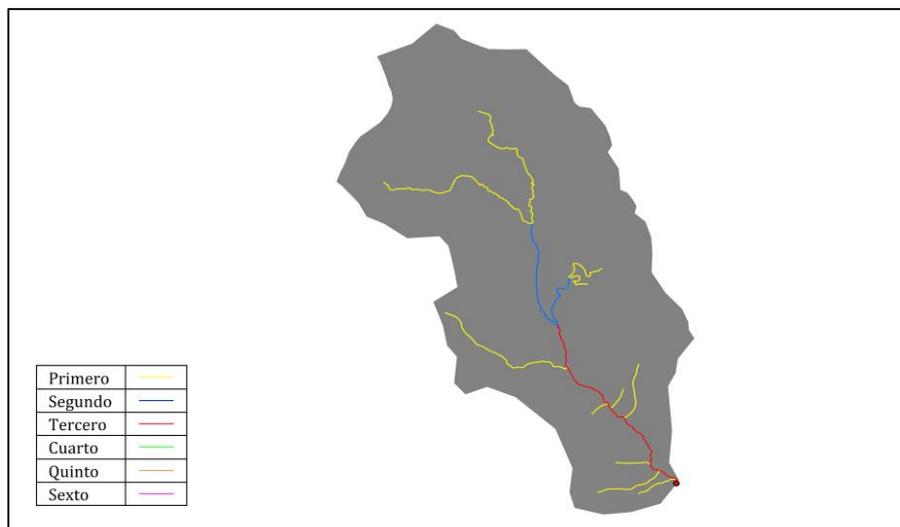


Figura 48: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Izhcayrumi A.J. Yanuncay.

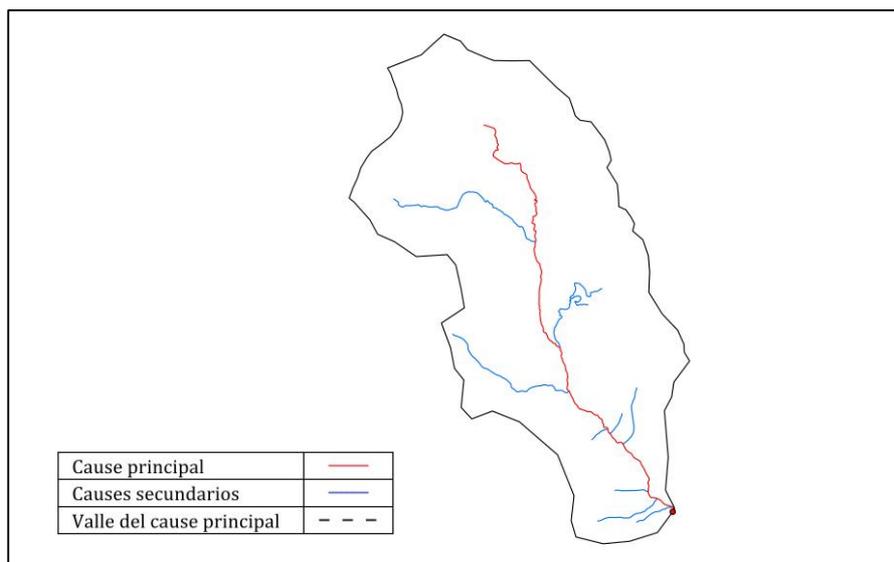


Figura 49: corrientes de la cuenca de la estación Izhcayrumi A.J. Yanuncay.

Tabla 17: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay.

Longitud total de las corrientes (km)	21,082
Longitud de la corriente principal (km)	8,639
Longitud del valle de la corriente principal (km)	7,584

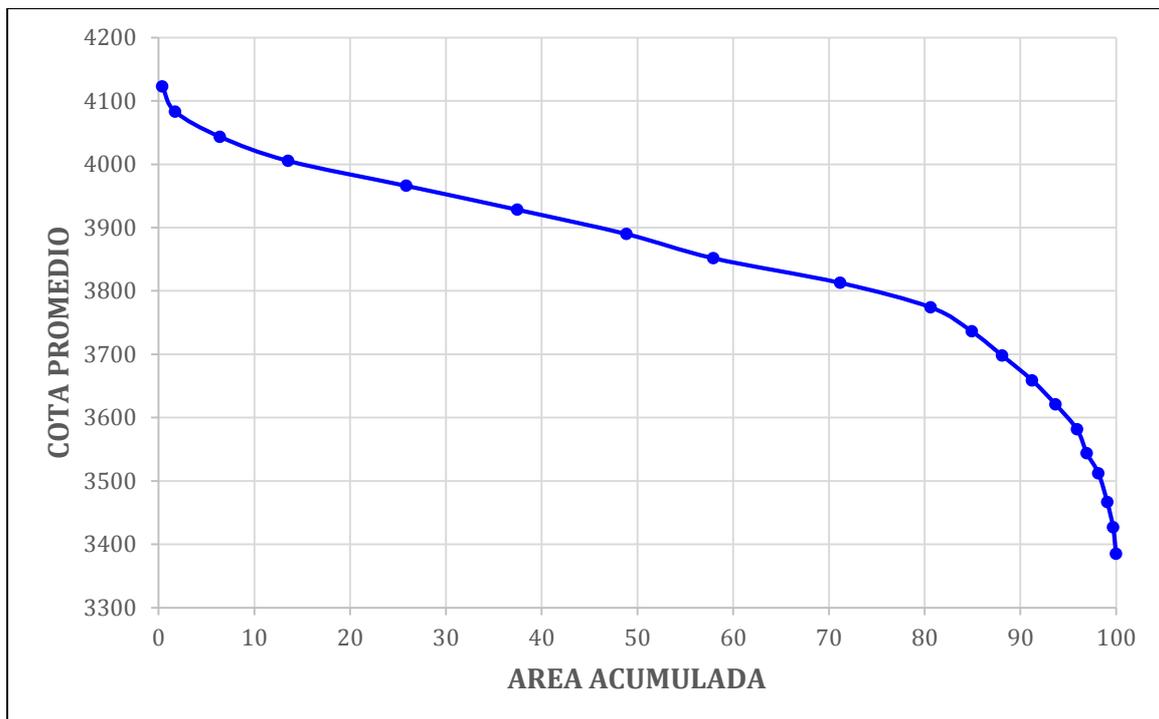


Figura 50: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay.

Tabla 18: uso de suelo de la cuenca de la estación Izhcayrrumi A.J. Yanuncay.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	0,026	0,101
Bosque de Pino	0,128	0,497
Bosque de Quínoa	0,266	1,030
Suelo de Cultivo (70%) y Pasto (30%)	1,509	5,850
Degradación	0,043	0,167
Laguna	0,564	2,186
Páramo	23,097	89,555
Vía	0,168	0,651

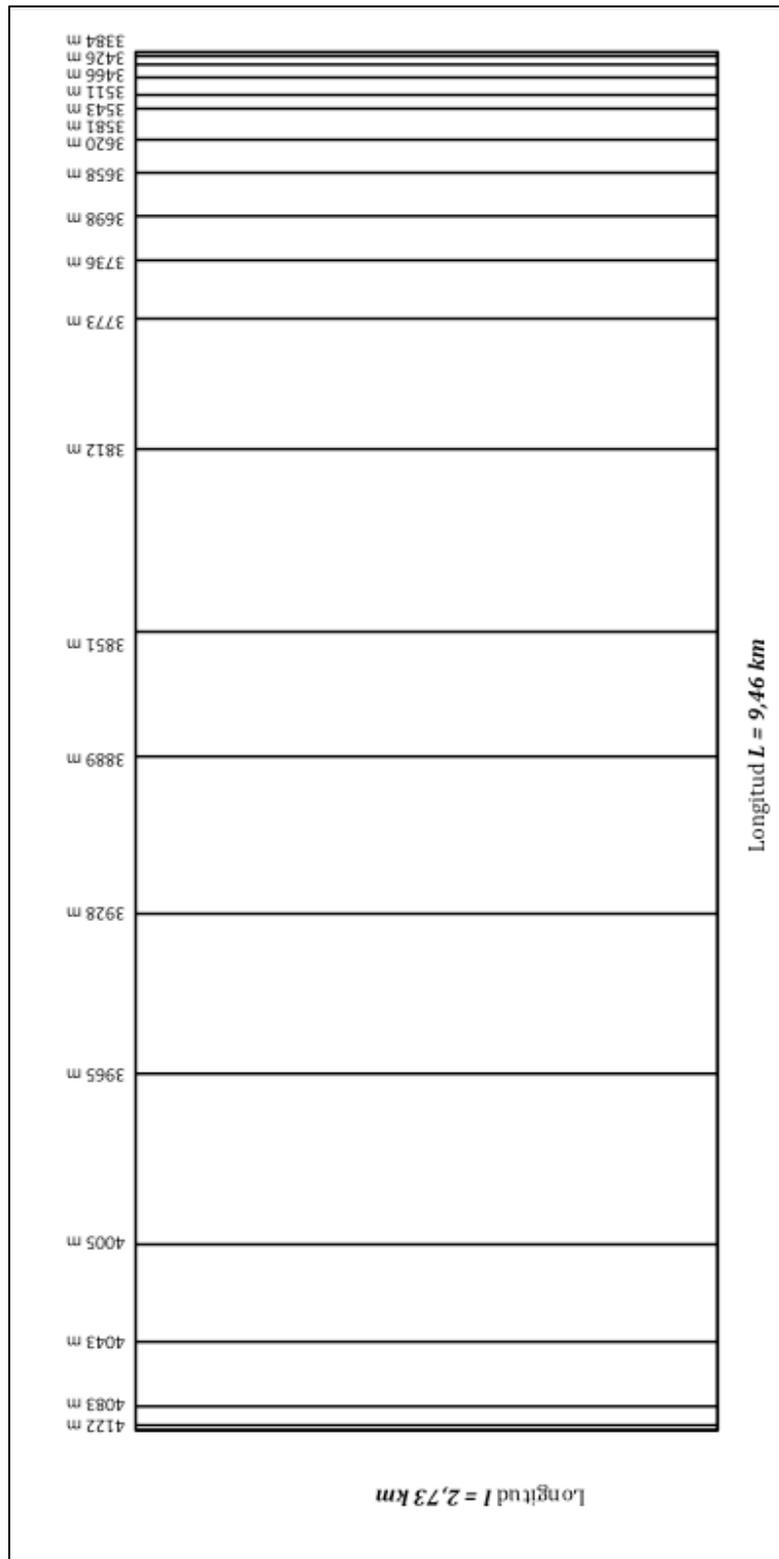


Figura 51: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Izhcayrumi A.J. Yanuncay.

#### 4.6 Estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi

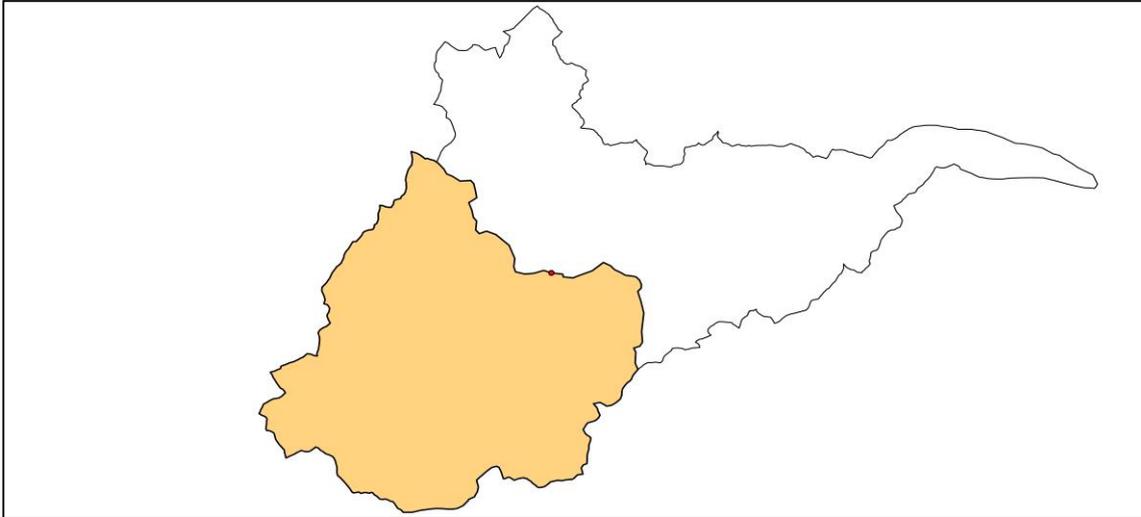


Figura 52: área de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 19: características y tiempo de concentración de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrrumi.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	202,555
Perímetro (km)	70,286

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,383
Factor de forma	0,784

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	12,551
Elevación media (m)	3761,567
Pendiente de la corriente principal (%)	2,503

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,812
Extensión media de la escorrentía superficial	0,138
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,144

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	4,779
Kirpich (h)	3,003

Témez (h)	6,415
-----------	-------

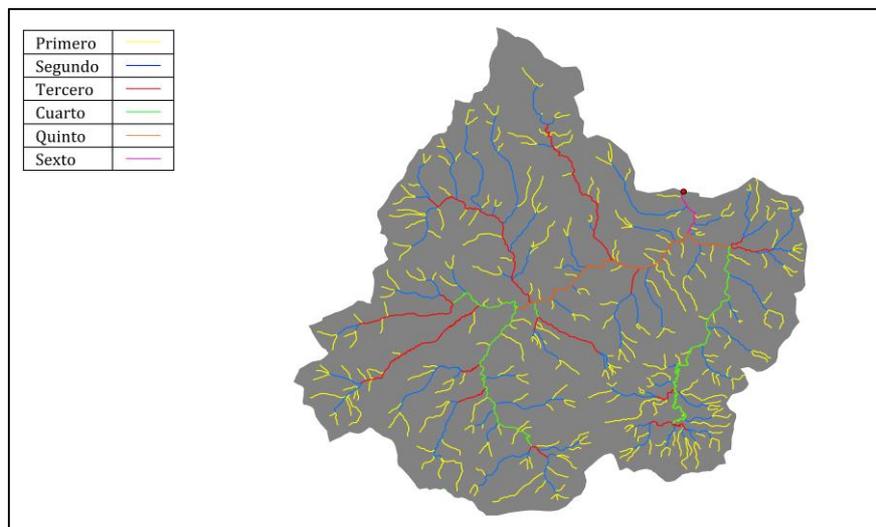


Figura 53: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrumi.

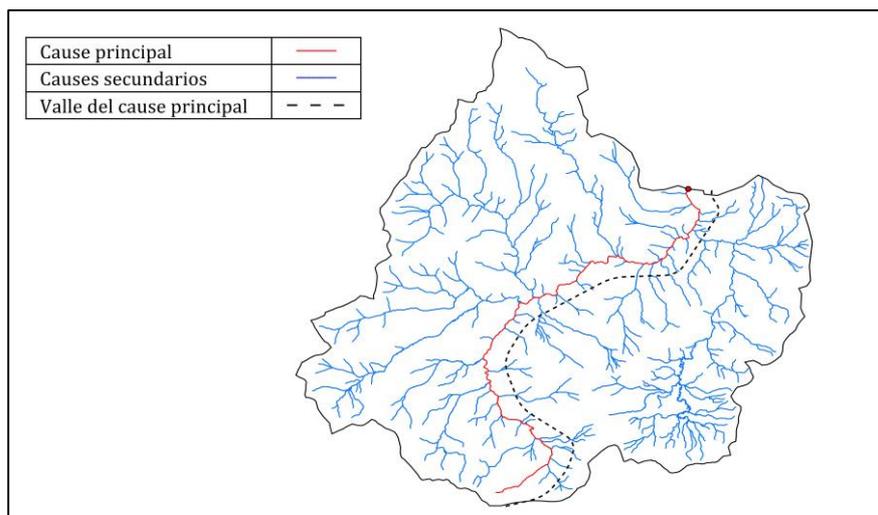


Figura 54: corrientes de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrumi.

Tabla 20: longitudes representativas de los cauces de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrumi.

Longitud total de las corrientes (km)	367,065
Longitud de la corriente principal (km)	22,373
Longitud del valle de la corriente principal (km)	19,552

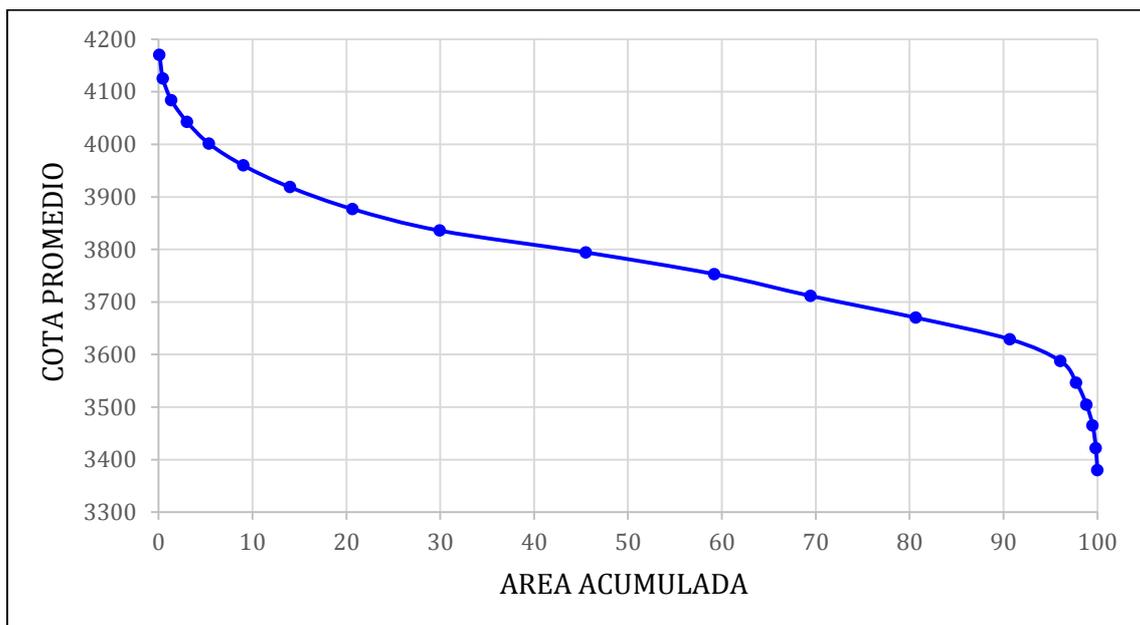


Figura 55: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrumi.

Tabla 21: uso de suelo de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrumi.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	0,220	0,108
Bosque de Pino	6,602	3,259
Bosque de Quínoa	2,004	0,989
Suelo de Cultivo (70%) y Pasto (30%)	0,274	0,135
Degradación	0,883	0,436
Laguna	1,143	0,564
Páramo	191,061	94,325
Pasto	0,030	0,015
Vía	0,339	0,168

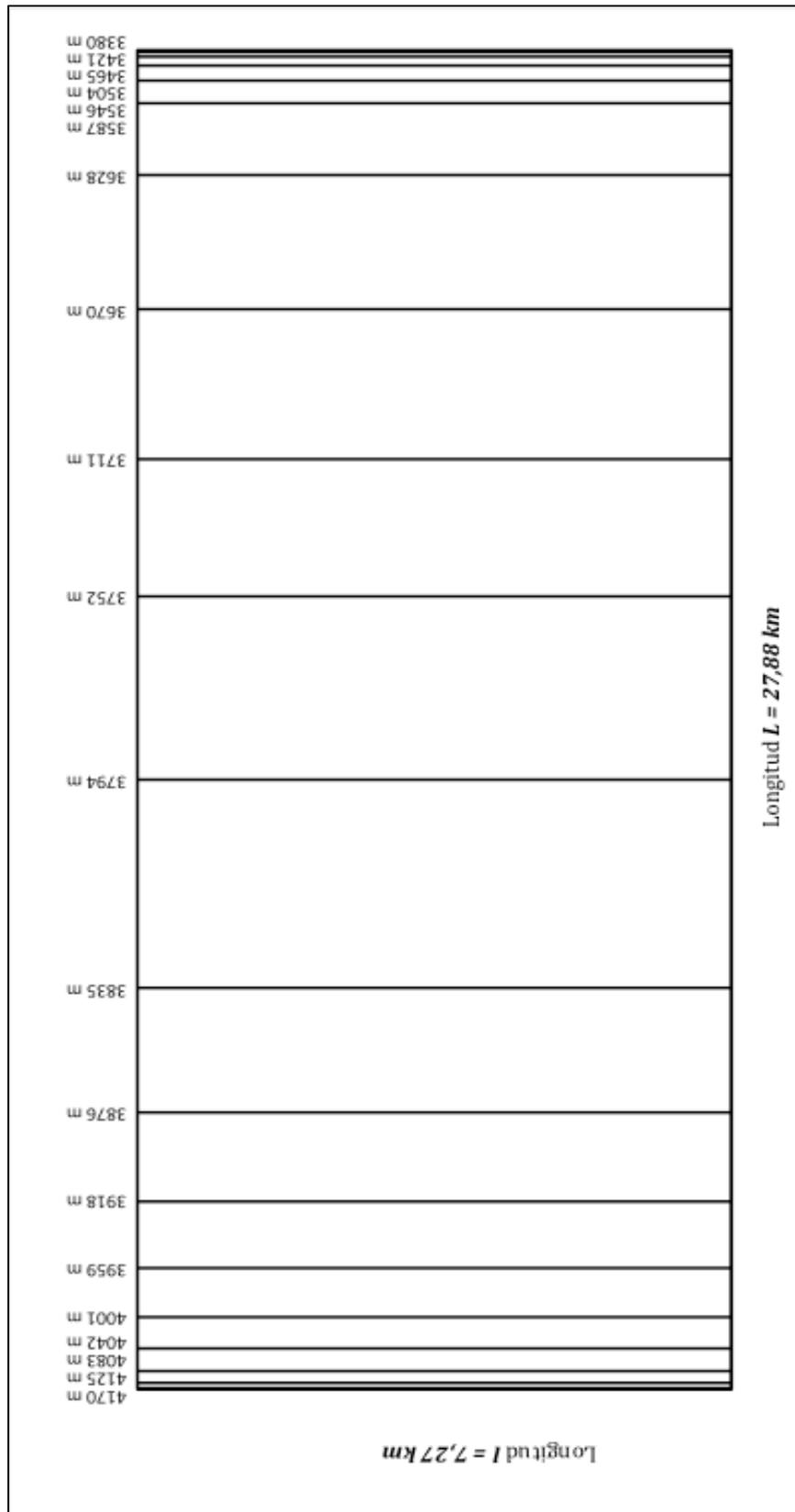


Figura 56: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yanuncay A.J. Izhcayrumi.

#### 4.7 Estación Bermejos A.J. Yanuncay

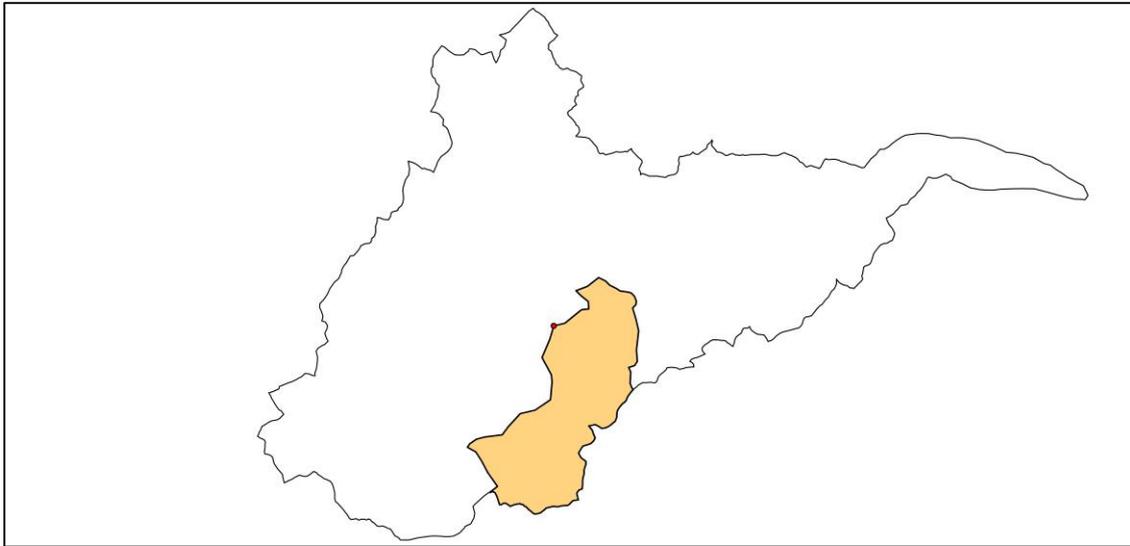


Figura 57: área de la estación Bermejos A.J. Yanuncay respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 22: características y tiempo de concentración de la estación Bermejos A.J. Yanuncay.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	45,168
Perímetro (km)	36,456

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,519
Factor de forma	0,511

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	10,865
Elevación media (m)	3743,349
Pendiente de la corriente principal (%)	2,469

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	2,302
Extensión media de la escorrentía superficial	0,109
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,618

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	3,195
Kirpich (h)	2,489

Témez (h)	5,316
-----------	-------

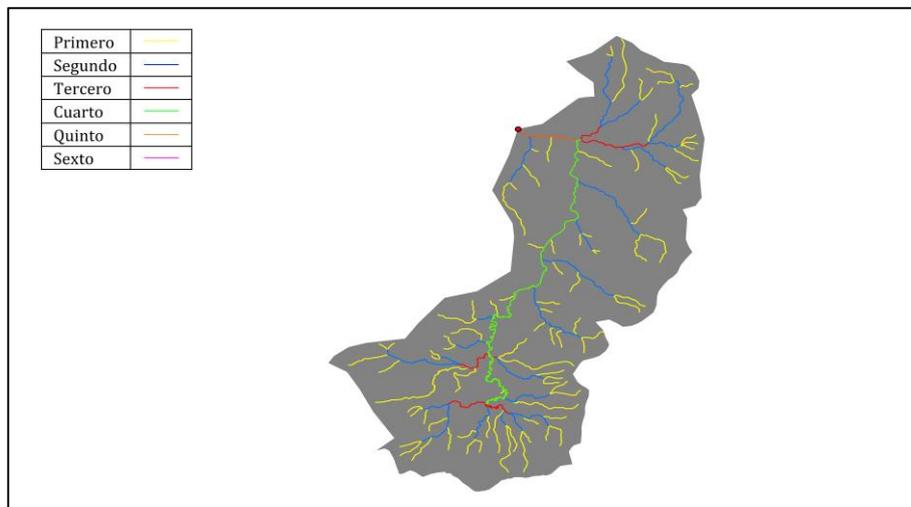


Figura 58: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay.

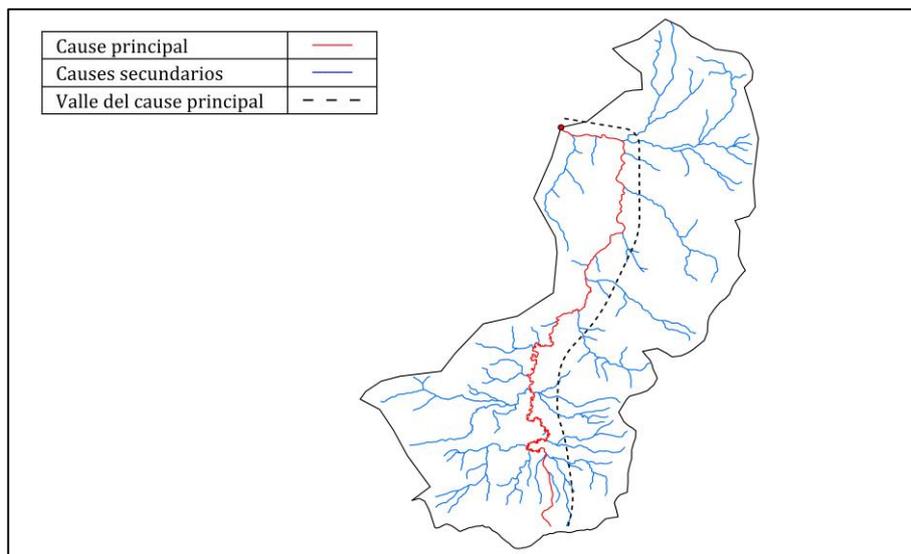


Figura 59: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay.

Tabla 23: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Bermejos A.J. Yanuncay.

Longitud total de las corrientes (km)	103,963
Longitud de la corriente principal (km)	17,413
Longitud del valle de la corriente principal (km)	10,765

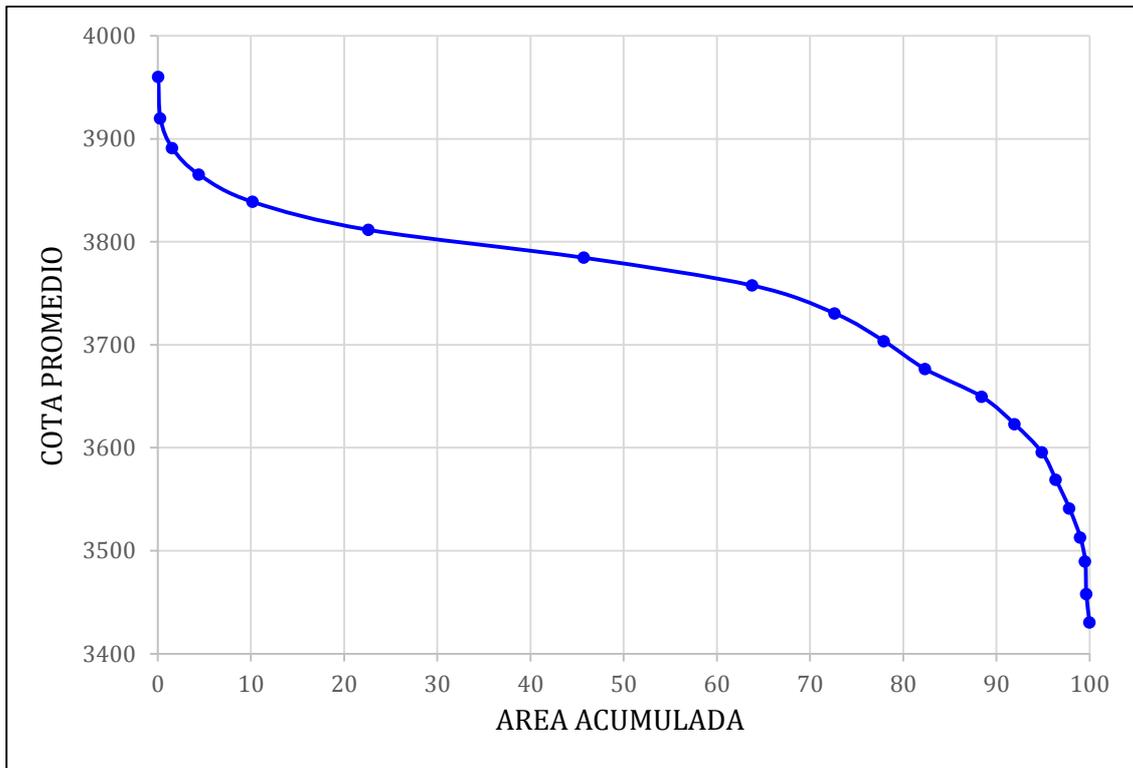


Figura 60: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Bermejos A.J. Yanuncay.

Tabla 24: uso de suelo de la cuenca de la estación Bermejós A.J. Yanuncay.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	0,160	0,355
Bosque de Pino	4,626	10,242
Bosque de Quínoa	0,025	0,055
Degradación	0,479	1,061
Laguna	0,312	0,690
Páramo	39,565	87,596

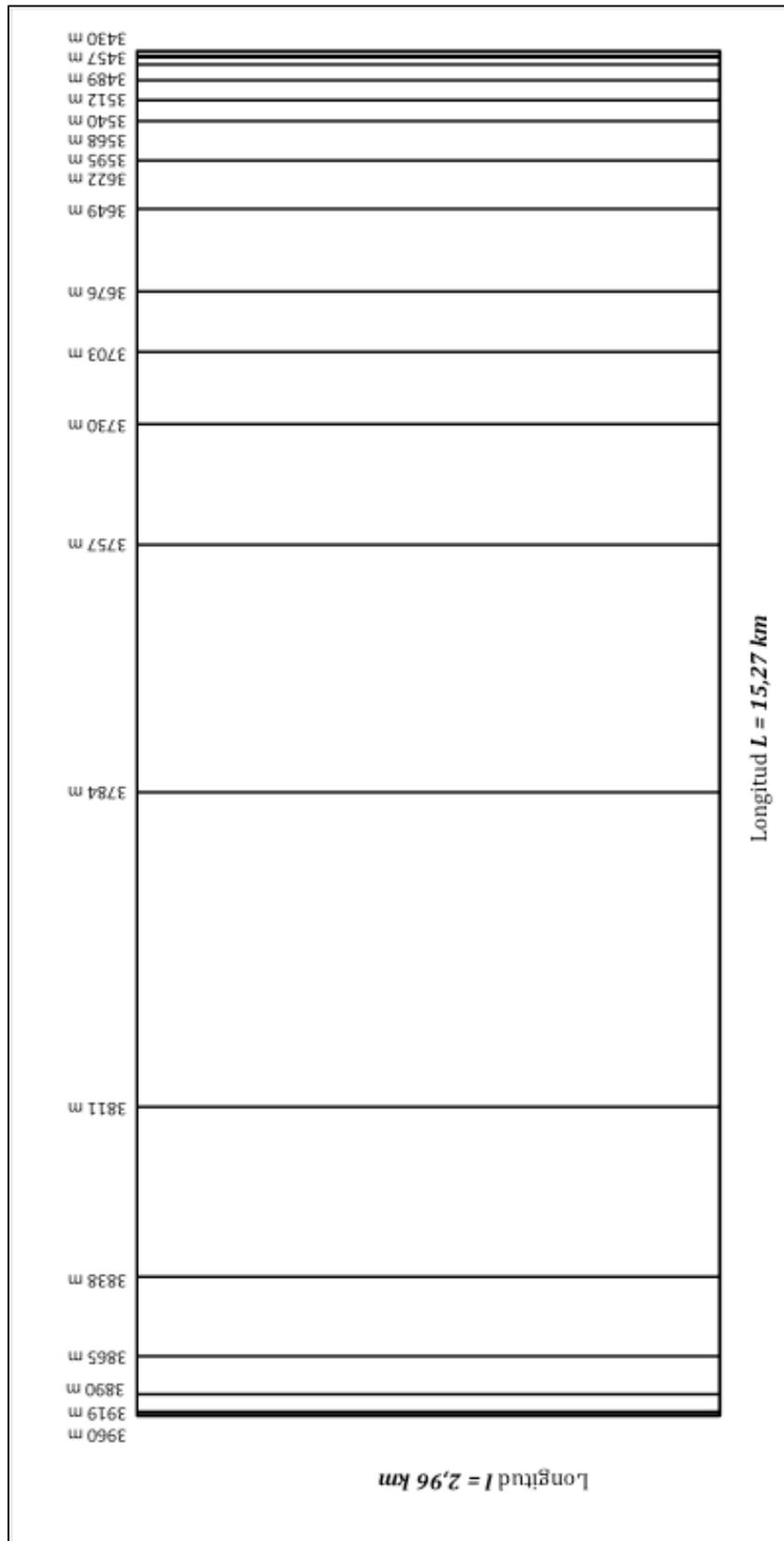


Figura 61: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Bermejos A.J. Yanuncay.

#### 4.8 Estación Galgal A.J. Quinguyacu

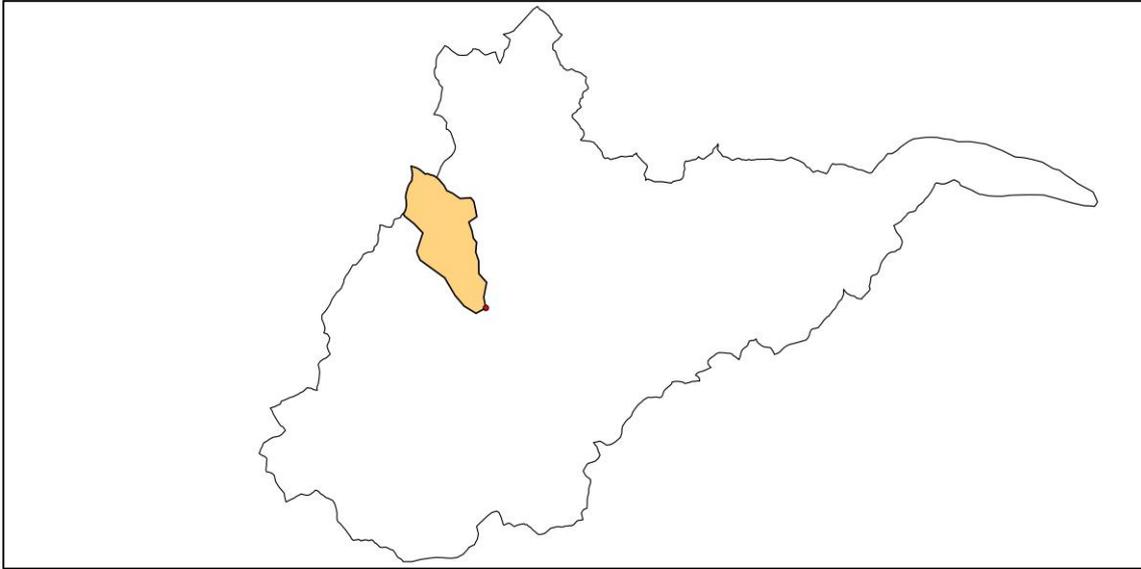


Figura 62: área de la estación Galgal A.J. Quinguyacu respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 25: características y tiempo de concentración de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	14,910
Perímetro (km)	18,689

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,355
Factor de forma	0,254

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	19,241
Elevación media (m)	3902,985
Pendiente de la corriente principal (%)	3,914

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	0,148
Extensión media de la escorrentía superficial	1,694
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,253

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	1,944
Kirpich (h)	1,108

Témez (h)	2,611
-----------	-------

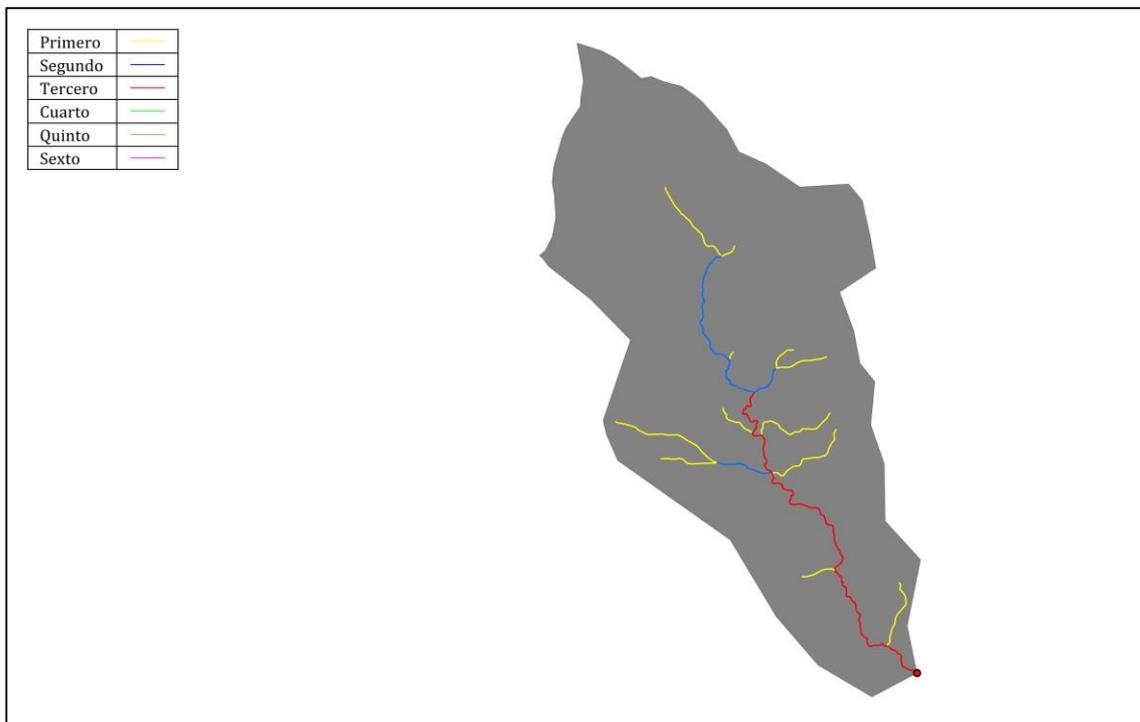


Figura 63: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

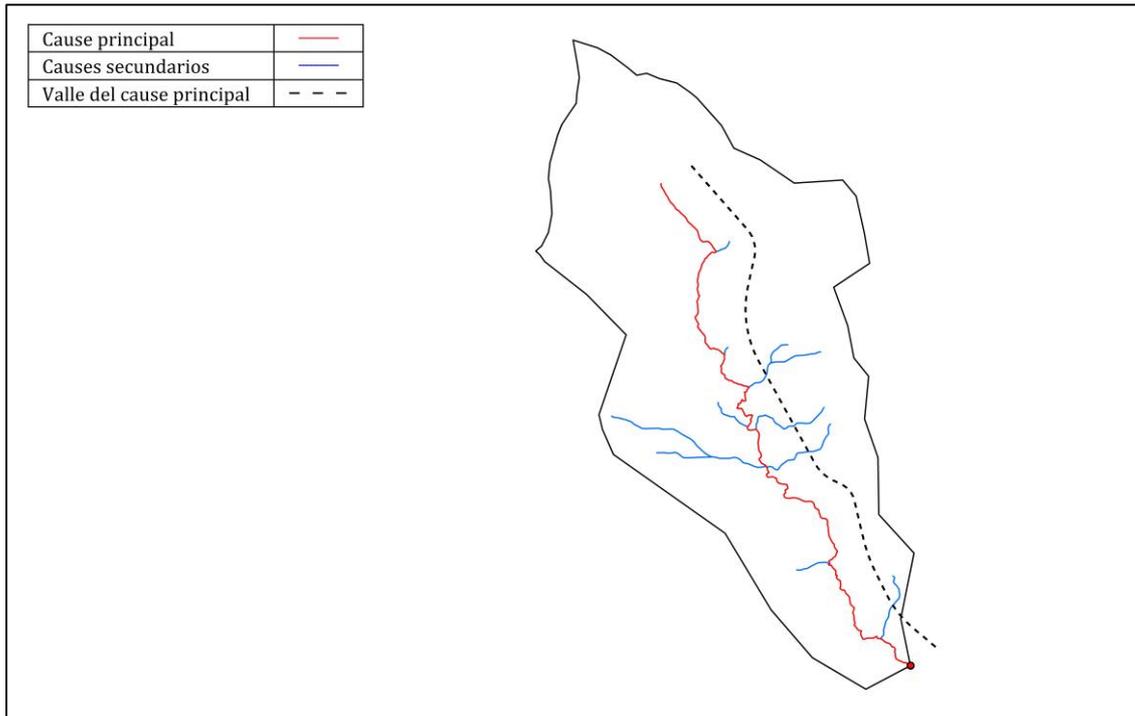


Figura 64: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

Tabla 26: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

Longitud total de las corrientes (km)	2,201
Longitud de la corriente principal (km)	7,665
Longitud del valle de la corriente principal (km)	6,116

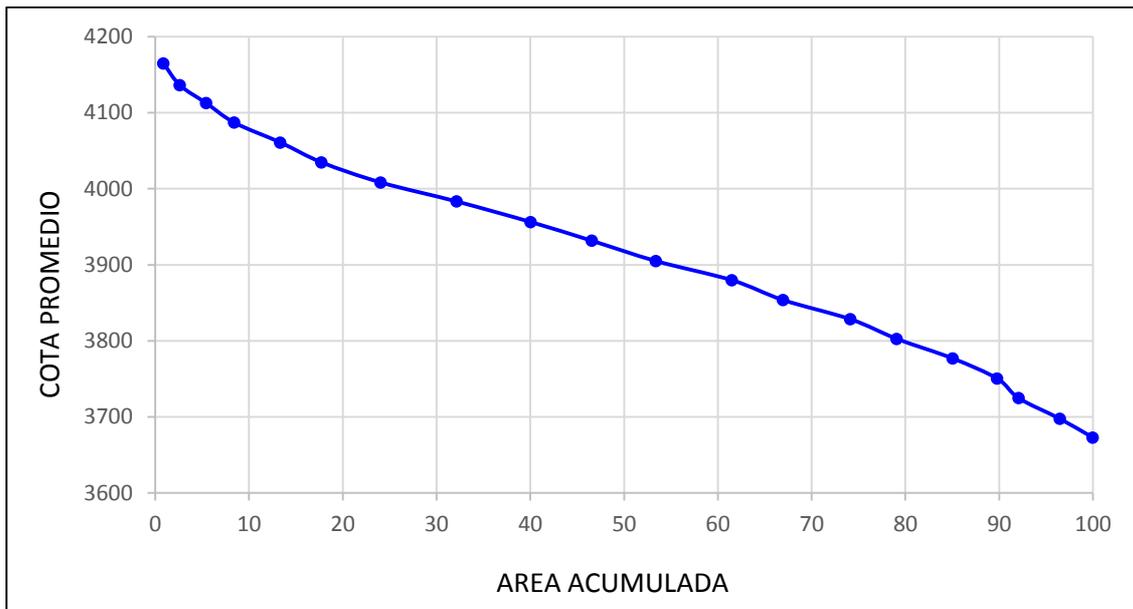


Figura 65: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

Tabla 27: uso de suelo de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

Tipo de suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Bosque de Quínoa	1,025	6,871
Laguna	0,296	1,983
Páramo	13,585	91,110
Pasto	0,002	0,012
Vía	0,004	0,024

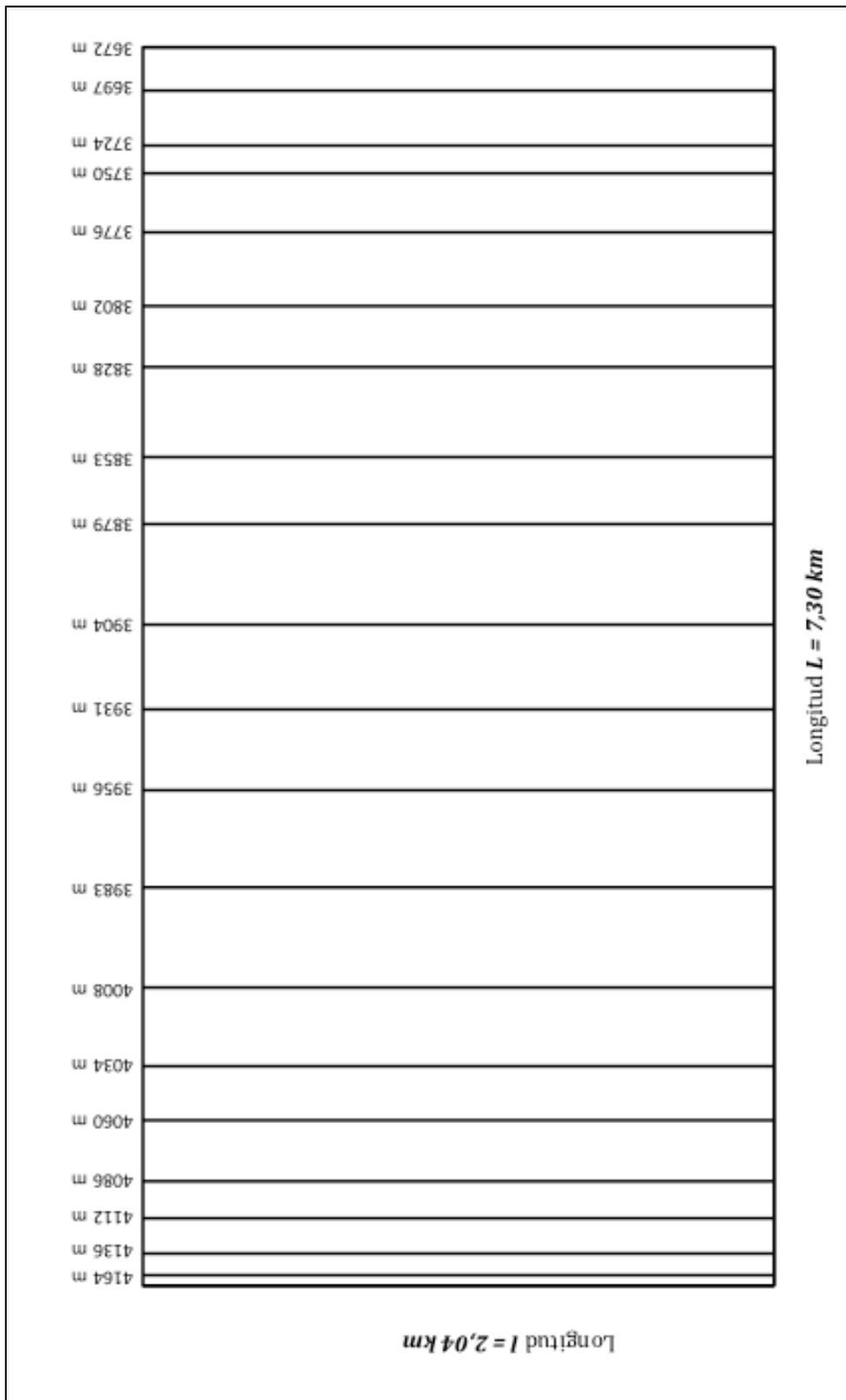


Figura 66: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Galgal A.J. Quinguyacu.

#### 4.9 Estación Cancan A.J. Quinguyacu

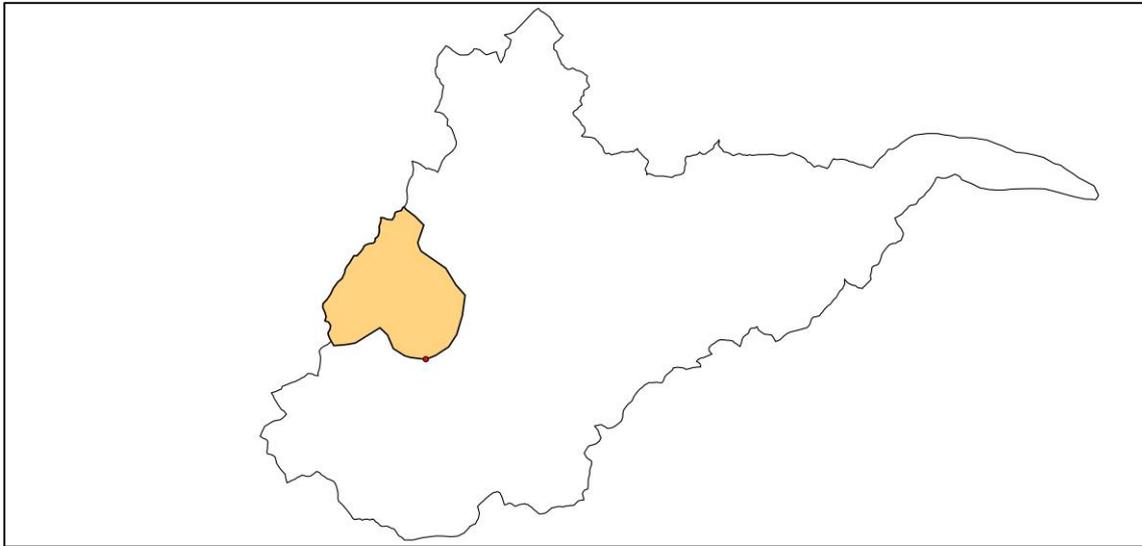


Figura 67: área de la estación Cancan A.J. Quinguyacu respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 28: características y tiempo de concentración de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	31,137
Perímetro (km)	24,564

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,233
Factor de forma	0,531

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	11,739
Elevación media (m)	3801,956
Pendiente de la corriente principal (%)	3,031

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,738
Extensión media de la escorrentía superficial	0,144
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,284

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	2,721
Kirpich (h)	1,353

Témez (h)	3,029
-----------	-------

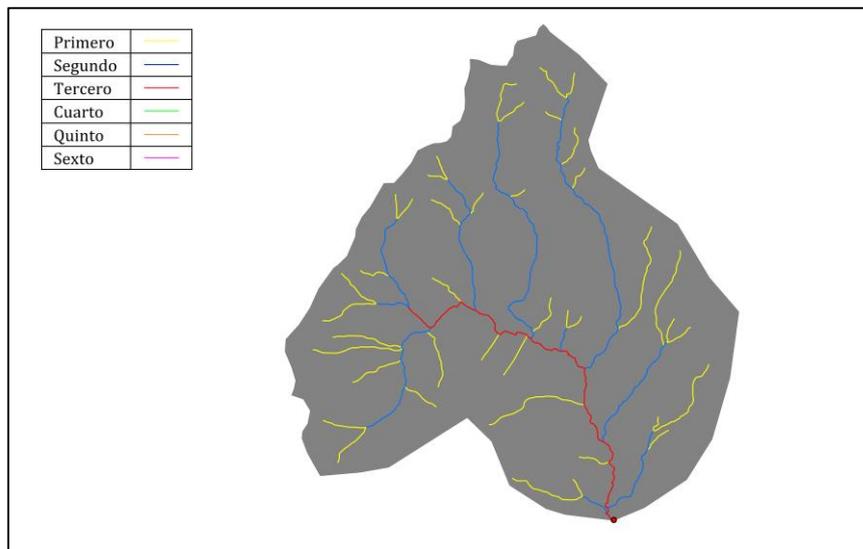


Figura 68: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

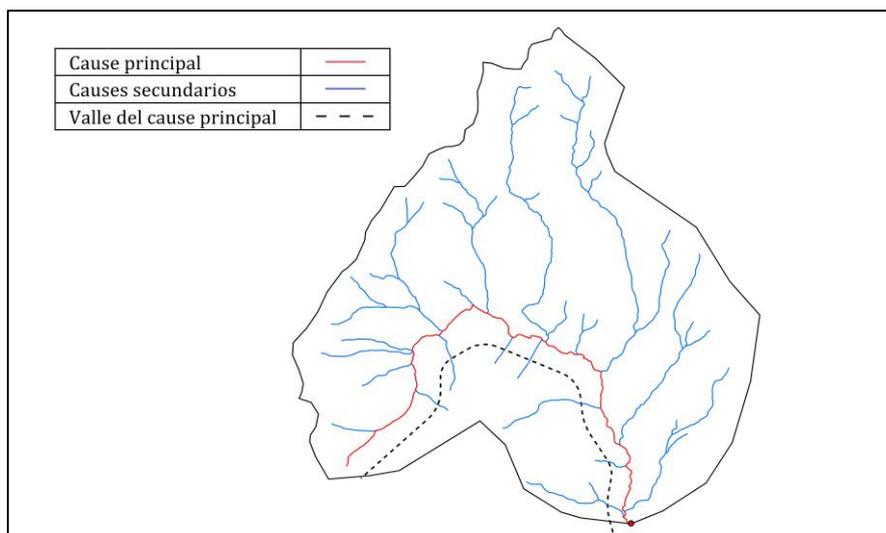


Figura 69: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

Tabla 29: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

Longitud total de las corrientes (km)	54,124
Longitud de la corriente principal (km)	8,743
Longitud del valle de la corriente principal (km)	6,810

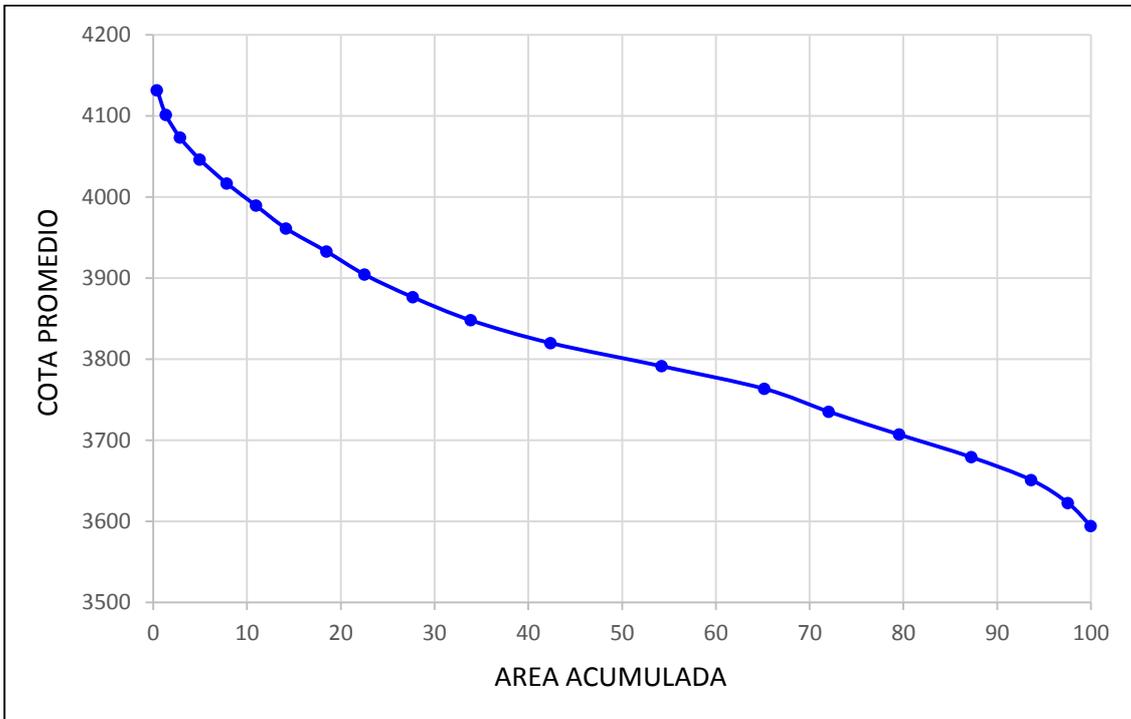


Figura 70: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

Tabla 30: uso de suelo de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	0,055	0,177
Bosque de Pino	1,446	4,643
Bosque de Quínoa	0,182	0,585
Degradación	0,147	0,473
Laguna	0,034	0,108
Páramo	29,132	93,559
Vía	0,142	0,455

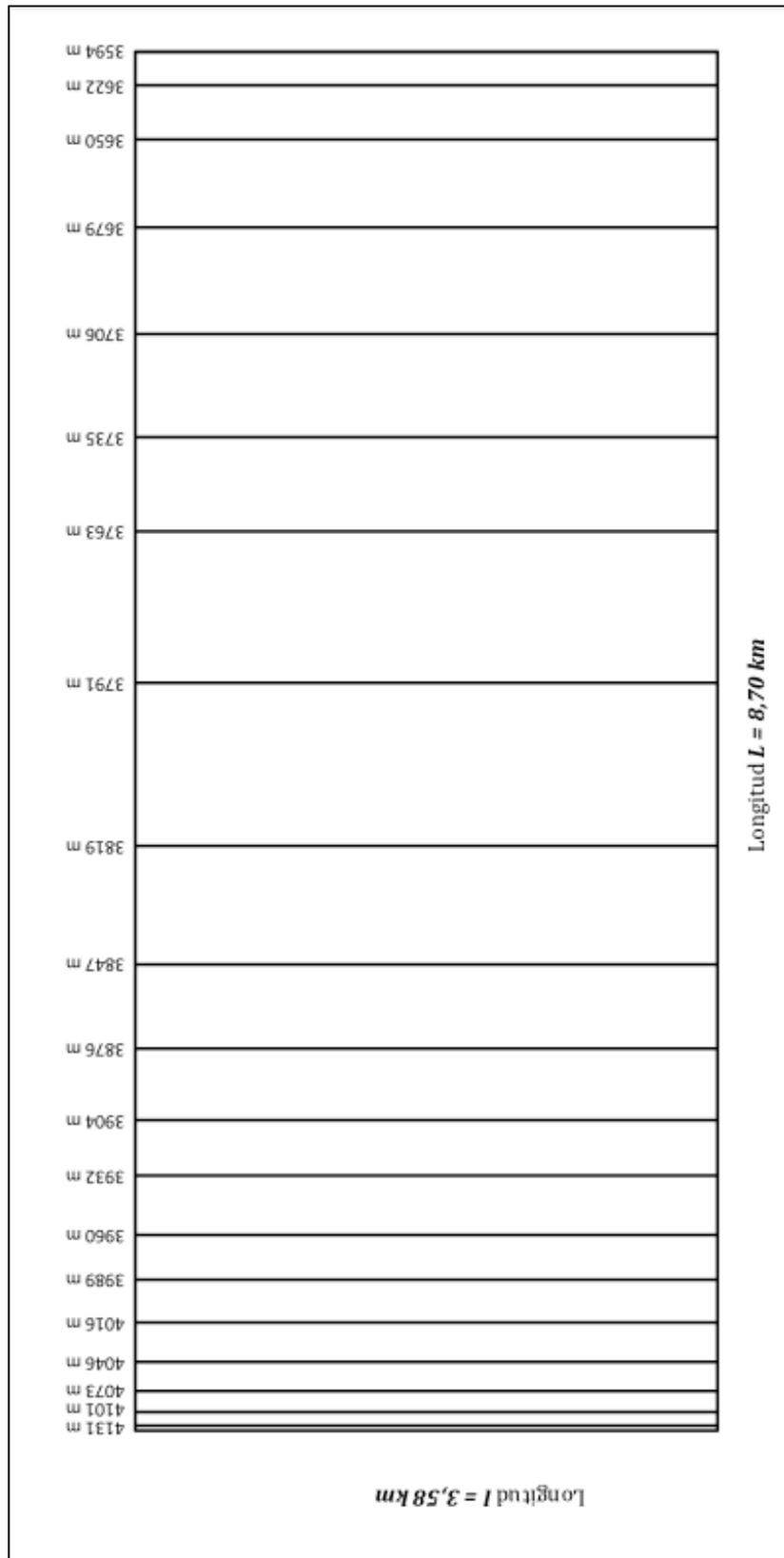


Figura 71: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Cancan A.J. Quinguyacu.

#### 4.10 Estación Aguarongo A.J. Quinguyacu

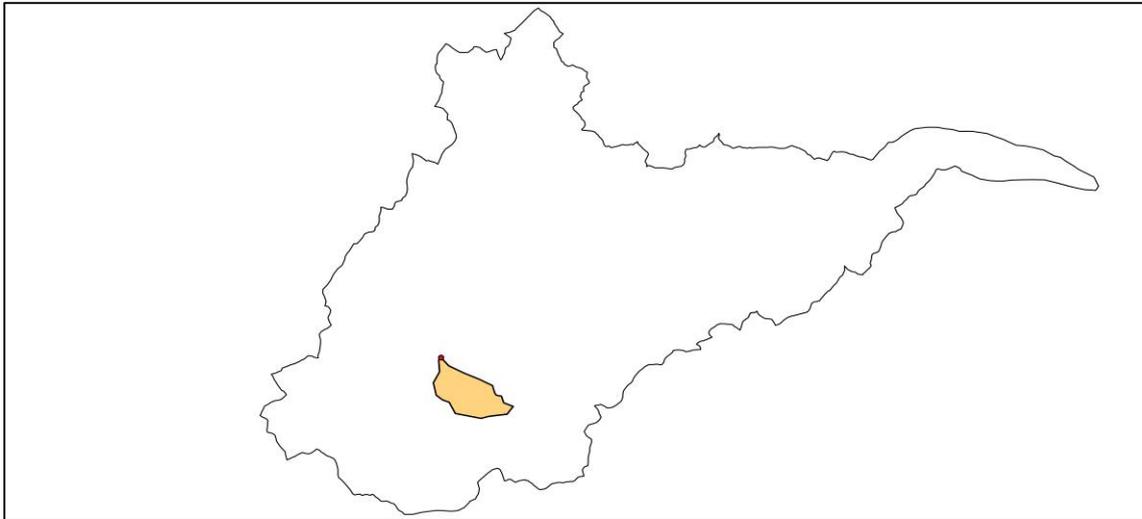


Figura 72: área de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 31: características y tiempo de concentración de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	6,254
Perímetro (km)	11,105

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,243
Factor de forma	0,336

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	9,656
Elevación media (m)	3719,222
Pendiente de la corriente principal (%)	5,417

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	2,199
Extensión media de la escorrentía superficial	0,114
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,039

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	1,343
Kirpich (h)	0,641

Témez (h)	1,618
-----------	-------

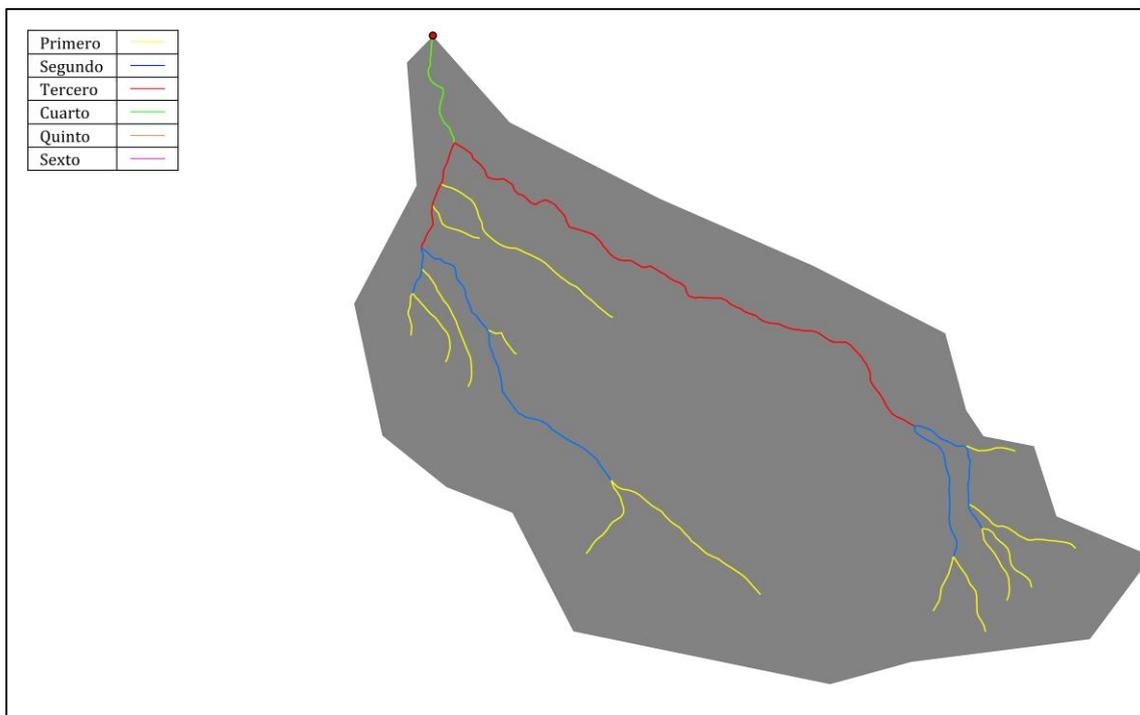


Figura 73: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

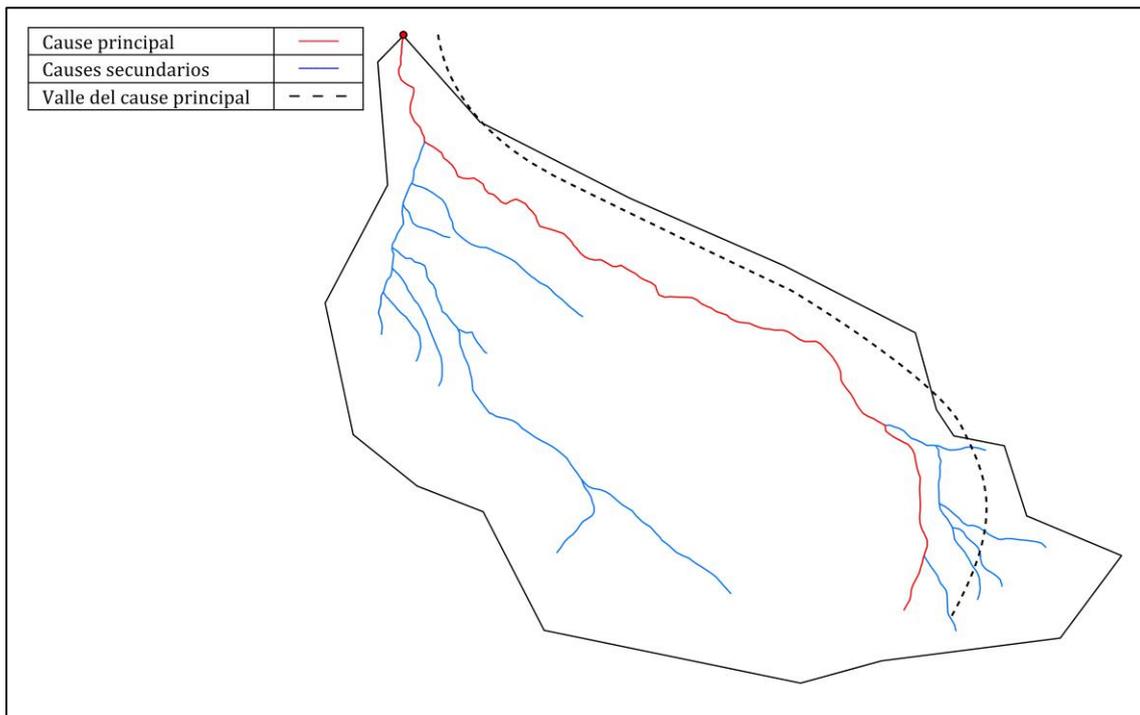


Figura 74: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

Tabla 32: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

Longitud total de las corrientes (km)	13,754
Longitud de la corriente principal (km)	4,430
Longitud del valle de la corriente principal (km)	4,266

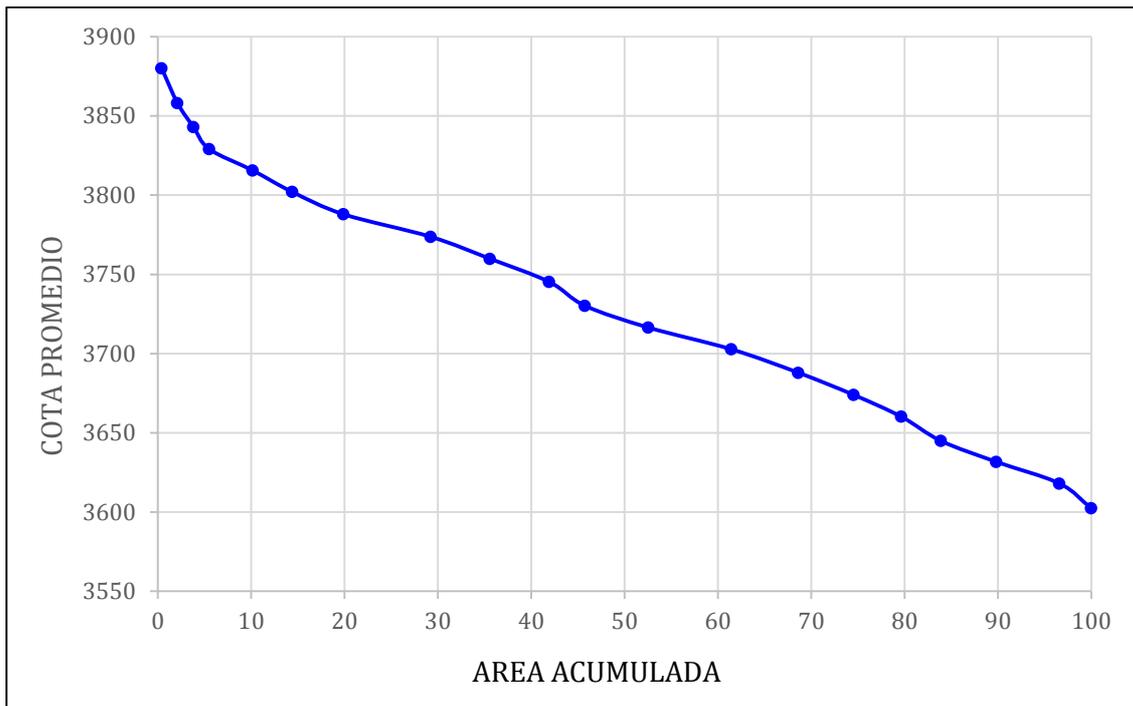


Figura 75: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

Tabla 33: uso de suelo de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

Tipo de suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Laguna	0,004	0,070
Páramo	6,250	99,930

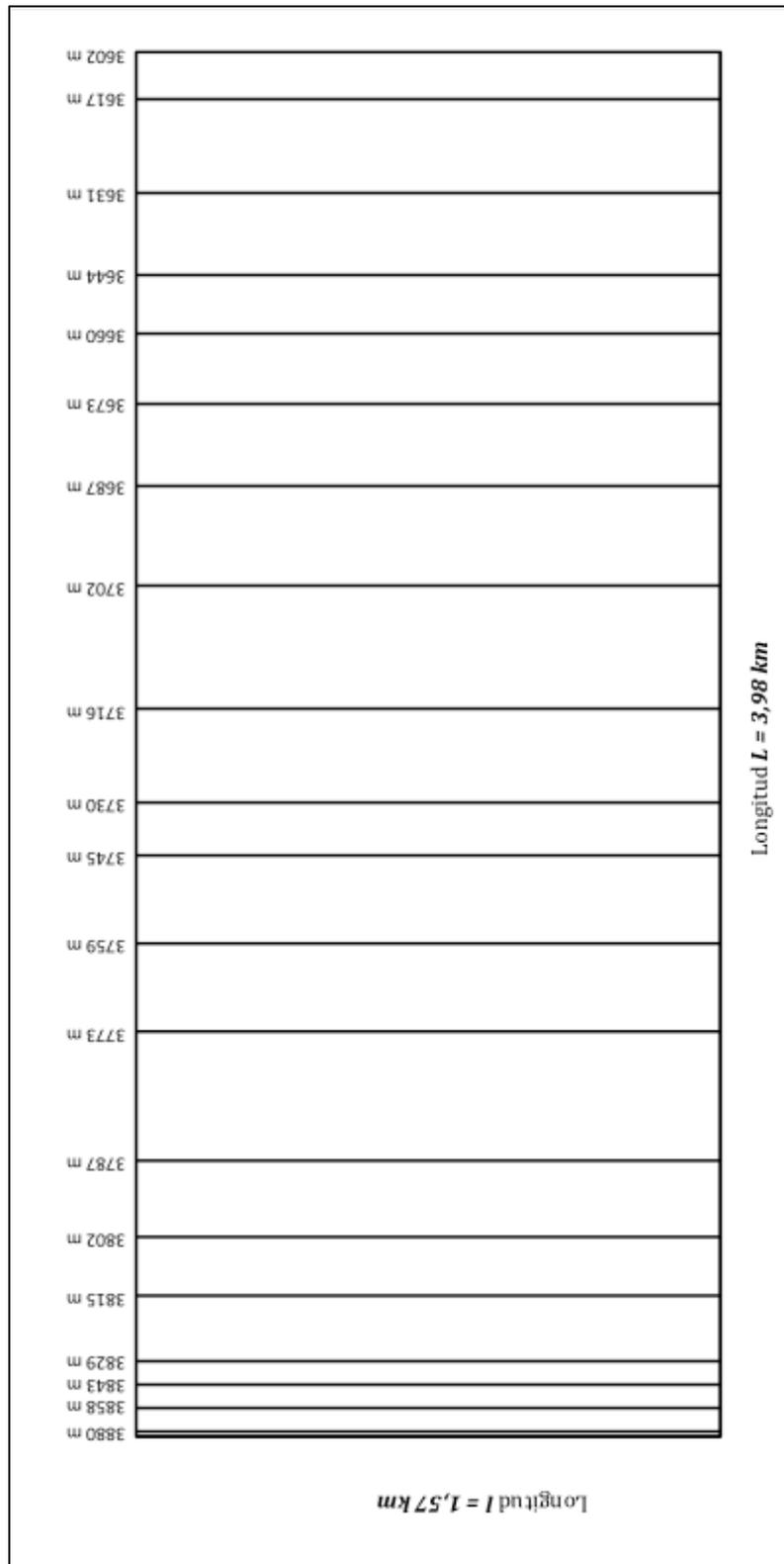


Figura 76: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Aguarongo A.J. Quinguyacu.

#### 4.11 Estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco

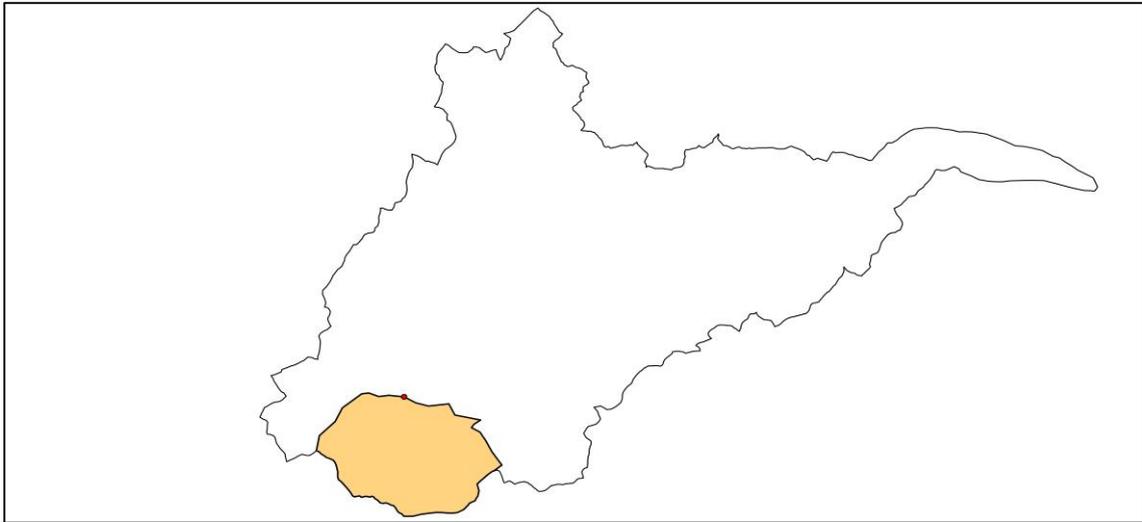


Figura 77: área de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 34: características y tiempo de concentración de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	39,027
Perímetro (km)	25,509

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,143
Factor de forma	0,910

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	13,150
Elevación media (m)	3788,800
Pendiente de la corriente principal (%)	3,278

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,674
Extensión media de la escorrentía superficial	0,149
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,110

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	2,781
Kirpich (h)	1,395

Témez (h)	3,168
-----------	-------

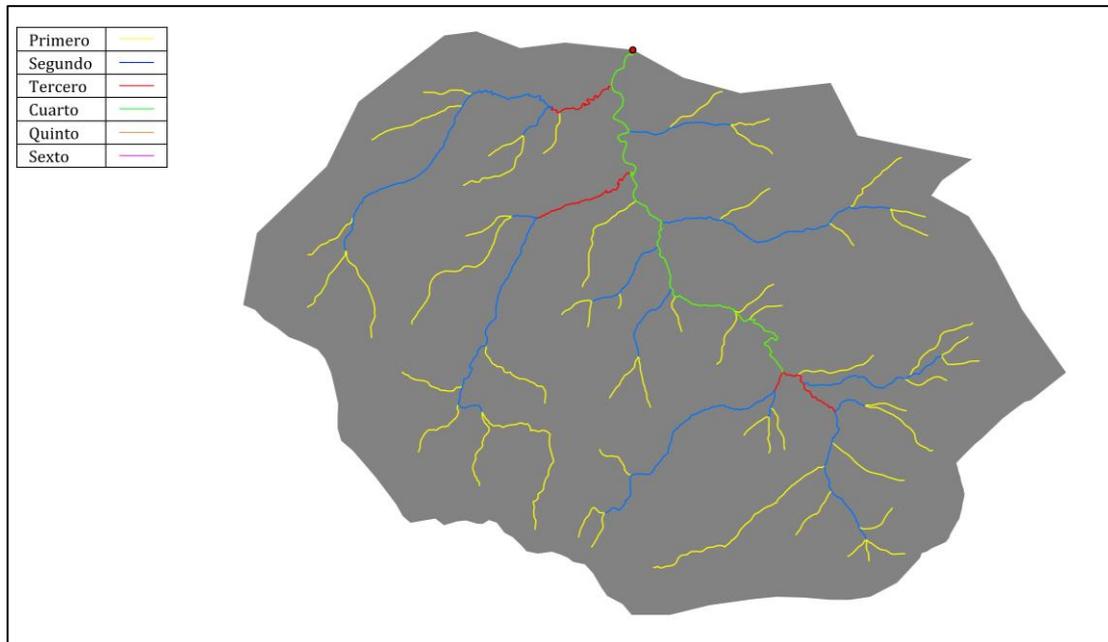


Figura 78: orden de las corrientes de agua que atraviesan la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.

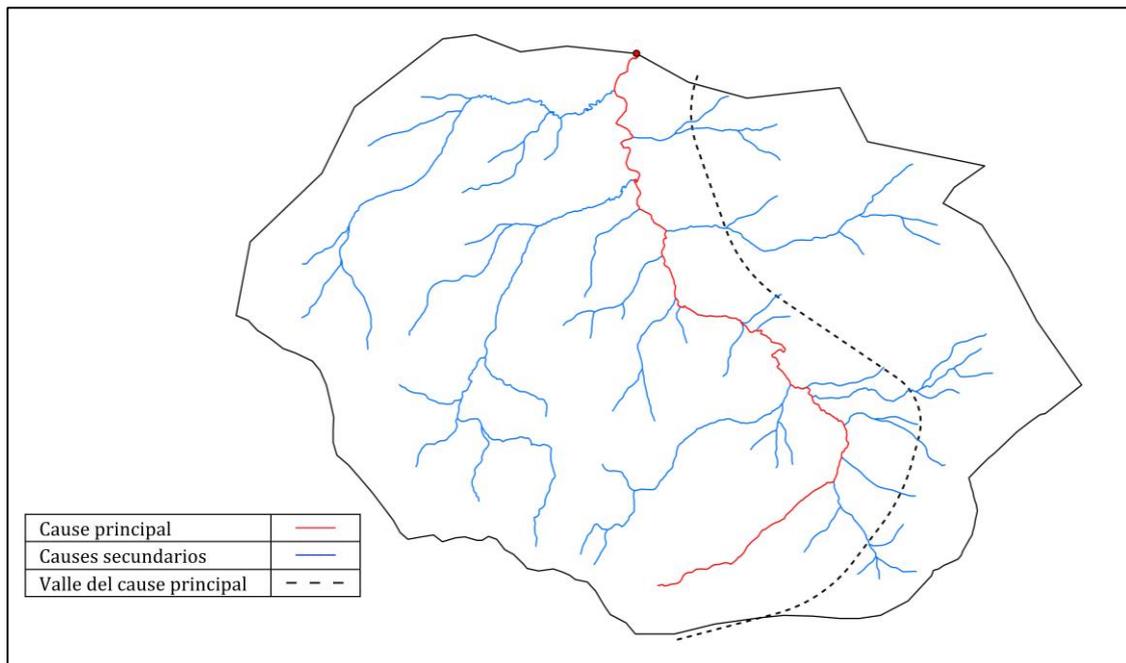


Figura 79: corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.

Tabla 35: longitudes de los causes de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.

Longitud total de las corrientes (km)	65,318
Longitud de la corriente principal (km)	9,458
Longitud del valle de la corriente principal (km)	8,522

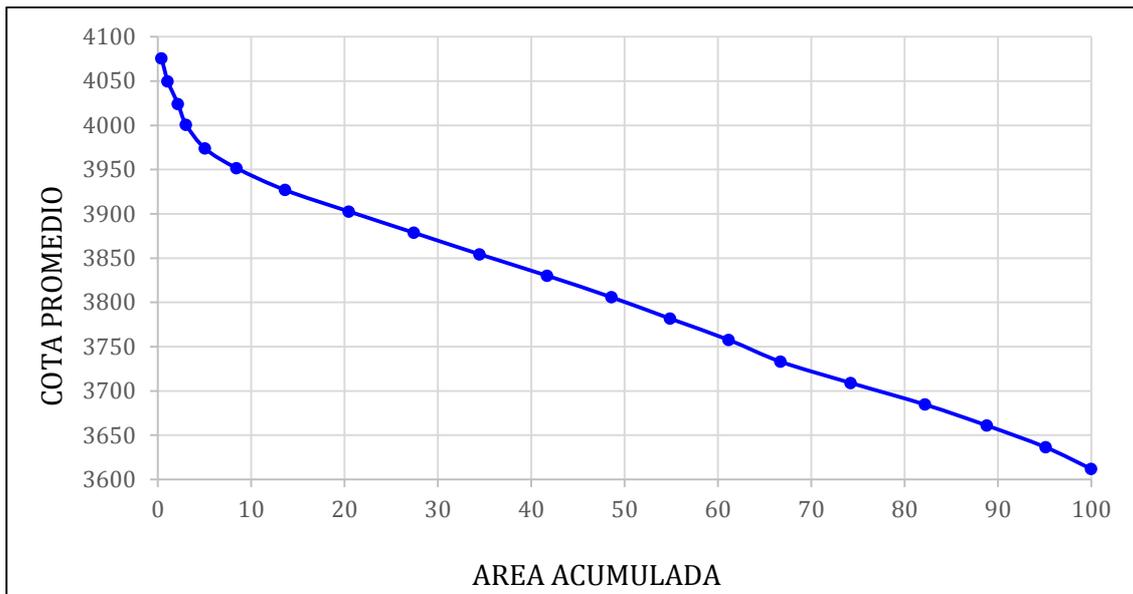


Figura 80: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.

Tabla 36: uso de suelo de la cuenca de la estación Sigsihuayco A.J. Yantahuayco.

Tipo de suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Bosque de Quínoa	0,278	0,713
Degradación	0,077	0,198
Laguna	0,319	0,817
Páramo	38,337	98,232
Vía	0,016	0,041

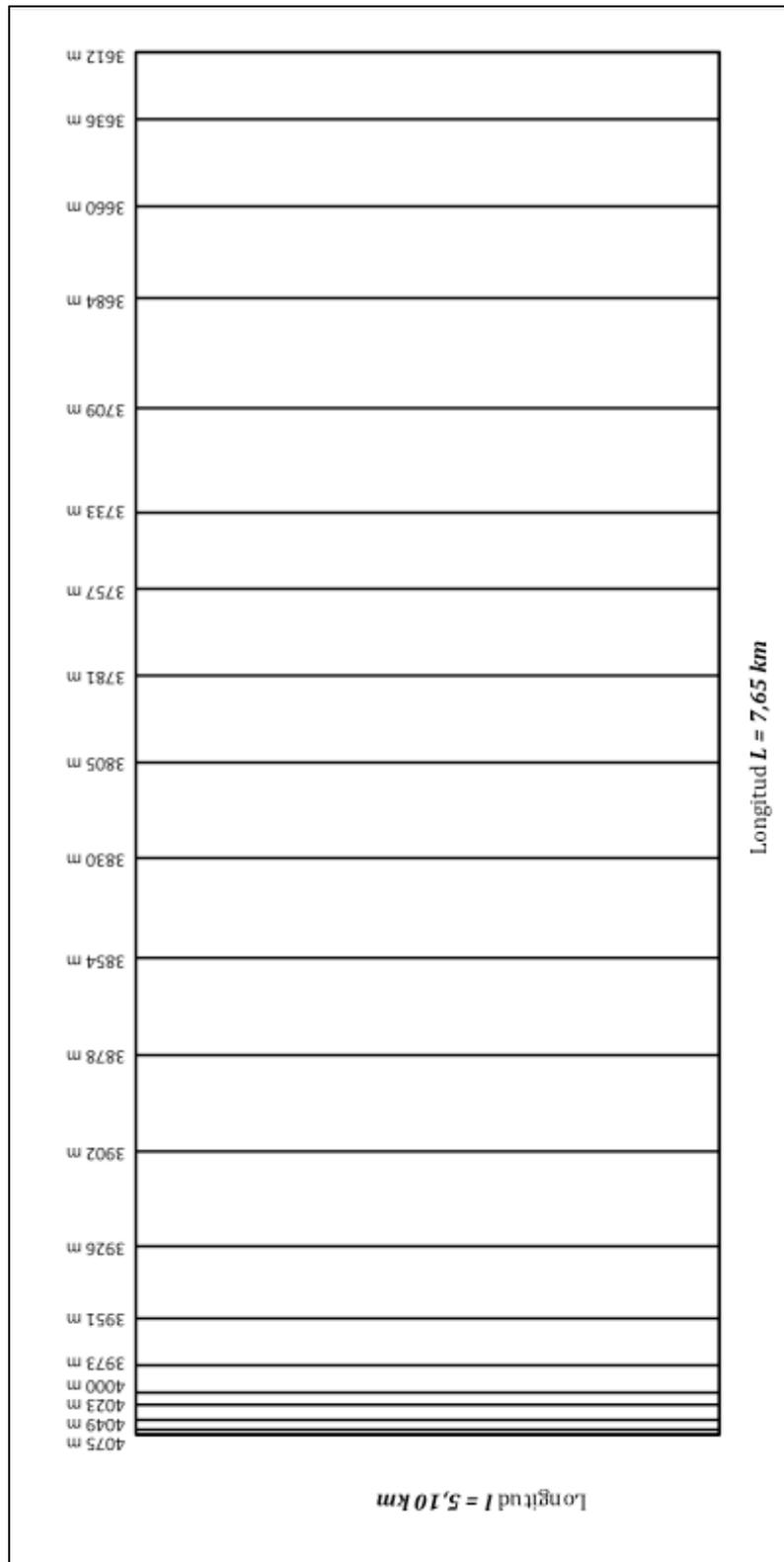


Figura 81: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Sigsihuyco A.J. Yantahuayco.

#### 4.12 Estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco

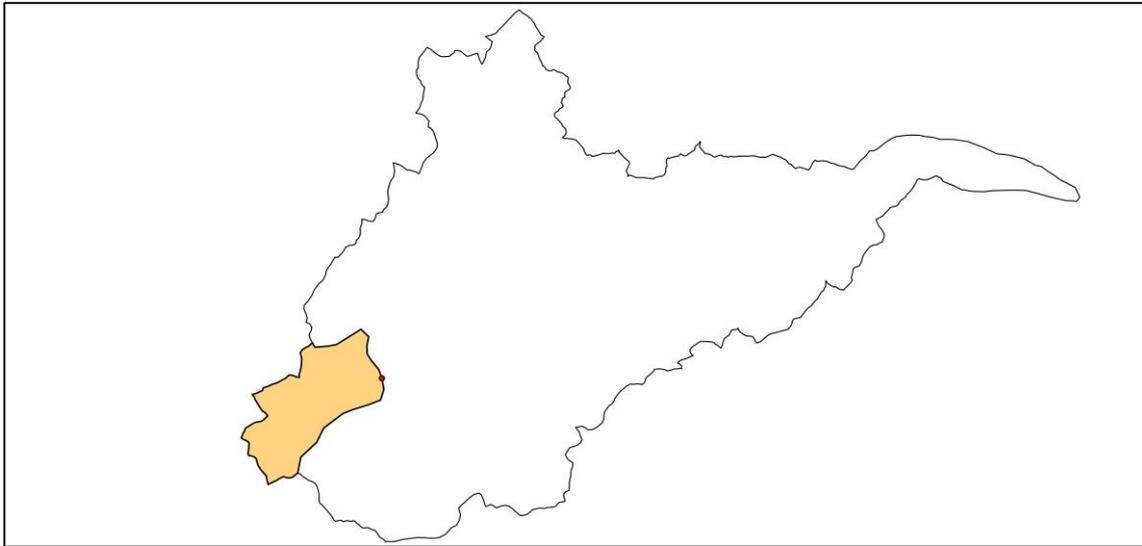


Figura 82: área de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco respecto a la cuenca del Río Yanuncay.

Tabla 37: características y tiempo de concentración de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

##### Características geométricas

Área (km <sup>2</sup> )	25,250
Perímetro (km)	24,718

##### Forma de la cuenca

Índice de Gravelius	1,377
Factor de forma	0,433

##### Características de relieve

Pendiente media (%)	12,204
Elevación media (m)	3806,299
Pendiente de la corriente principal (%)	3,716

##### Sistema de drenaje

Densidad de drenaje	1,678
Extensión media de la escorrentía superficial	0,149
Sinuosidad de las corrientes de agua	1,234

**Tiempo de concentración**

Giandotti (h)	2,303
Kirpich (h)	1,252

Témez (h)	2,915
-----------	-------

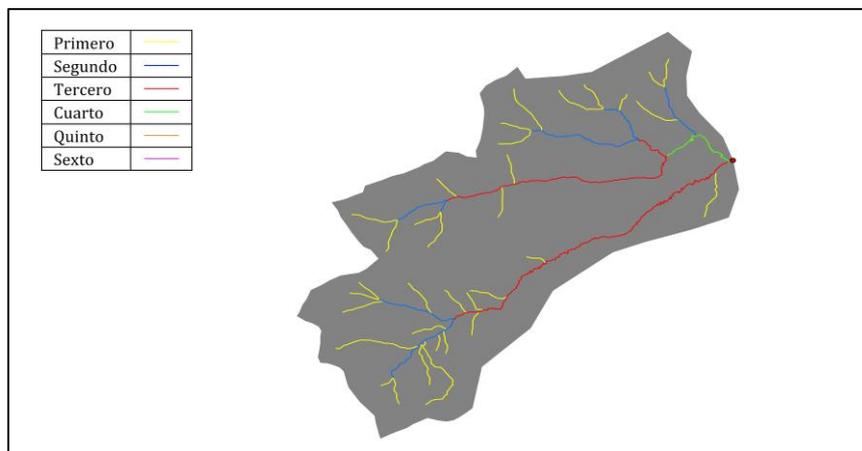


Figura 83: orden de las corrientes de agua de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

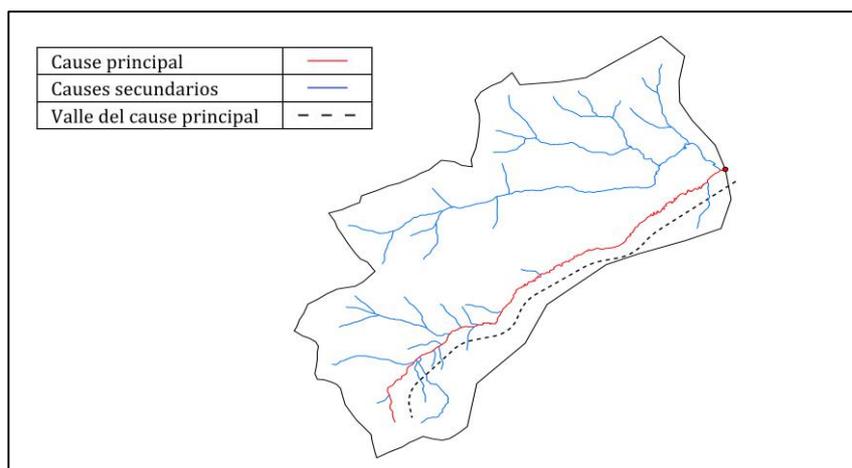


Figura 84: Corrientes principales y secundarias de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Tabla 38: longitudes de los cauces de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Longitud total de las corrientes (km)	42,361
Longitud de la corriente principal (km)	8,747
Longitud del valle de la corriente principal (km)	7,086

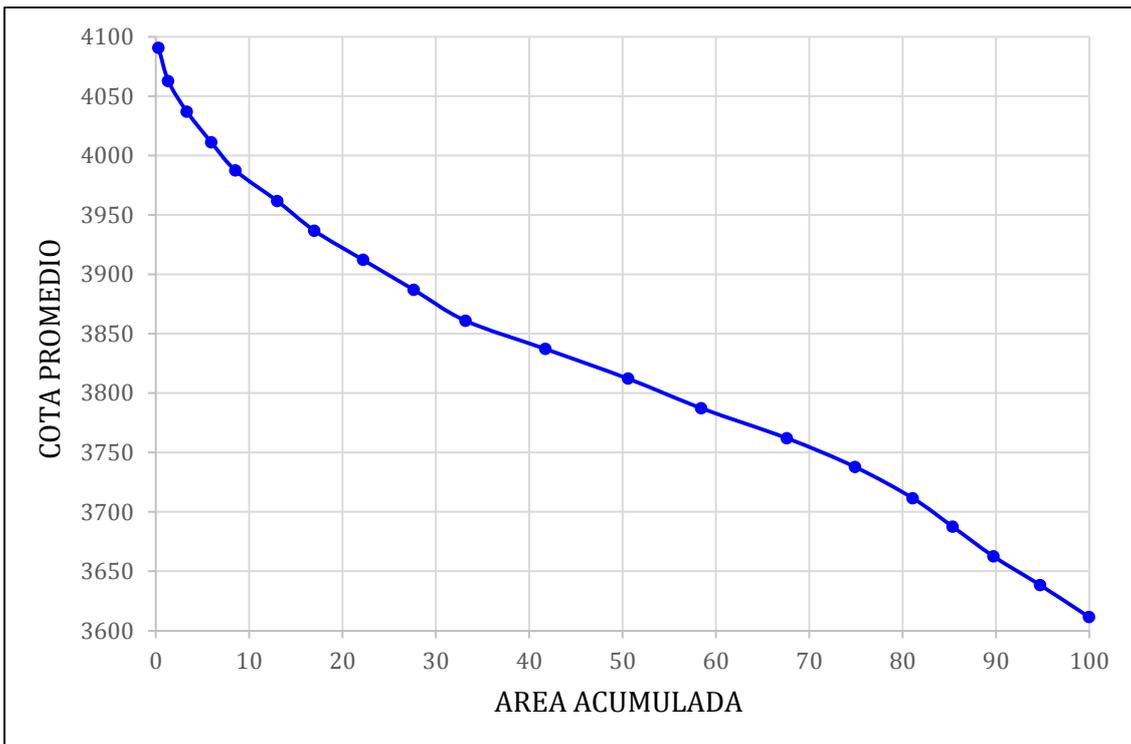


Figura 85: curva hipsométrica de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

Tabla 39: uso de suelo de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque Alto Andino	0,003	0,012
Bosque de Pino	0,275	1,088
Bosque de Quínoa	0,371	1,470
Laguna	0,025	0,097
Páramo	24,533	97,159
Pasto	0,001	0,002
Vía	0,043	0,169

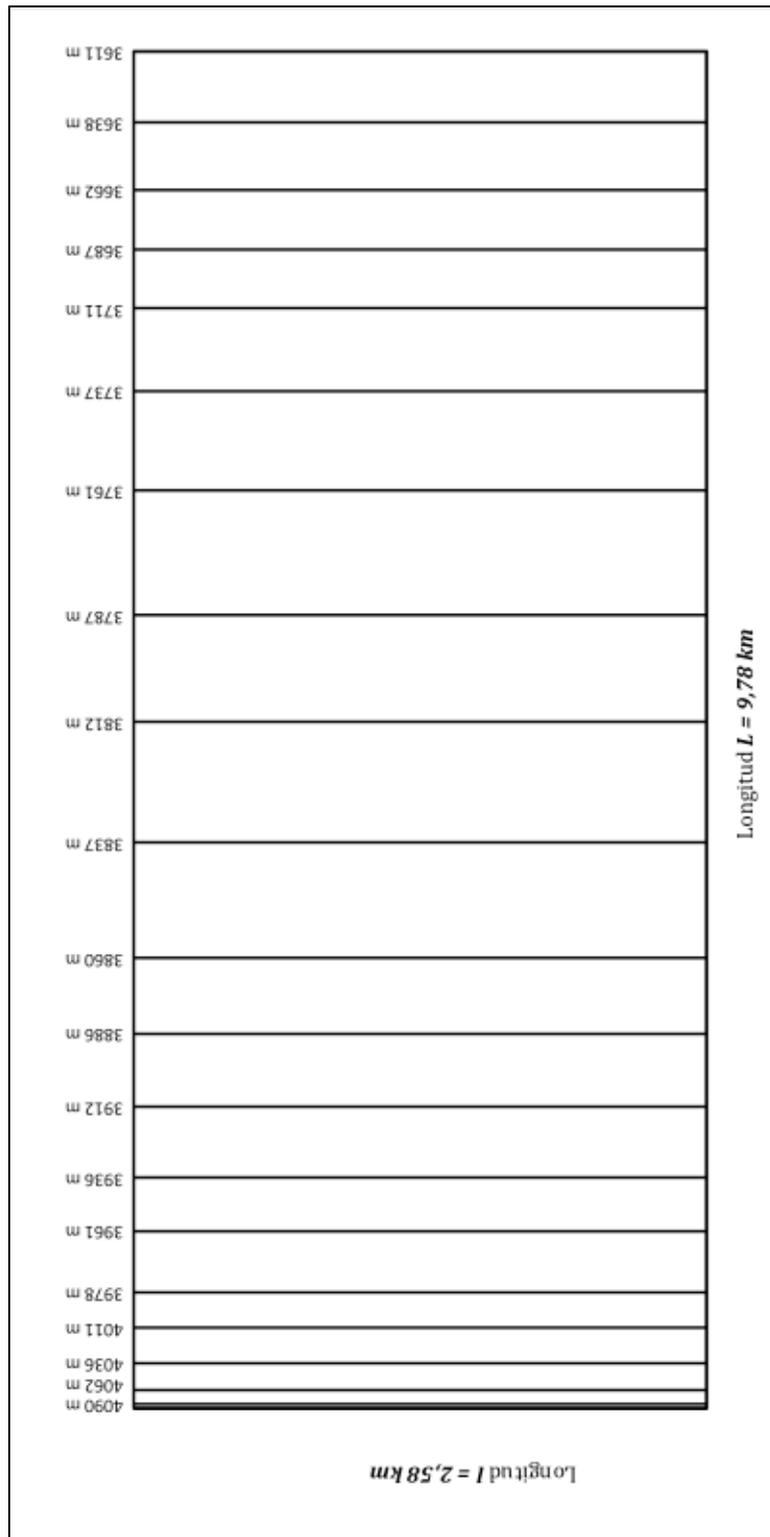


Figura 86: rectángulo equivalente de la cuenca de la estación Yantahuayco A.J. Sigsihuayco.

4.13 Resumen de resultados

Estación	Area (km2)	Perímetro (km)	Longitud axial (km)	Long total ríos (km)	Longitud río principal (km)	Índice Graveluis	Factor de forma	Densidad de drenaje
Yanuncay A.J. Tarqui	414,73	135,48	41,90	706,05	57,54	1,86	0,24	1,70
Yanuncay en captacion Sustag	331,53	96,66	25,03	561,93	35,59	1,49	0,53	1,69
Yanuncay en Pucán	308,57	99,99	23,29	516,68	33,26	1,59	0,57	1,67
Soldados A.J. Yanuncay	45,48	39,22	12,25	65,58	14,31	1,63	0,30	1,44
Izhcayrrumi A.J. Yanuncay	25,79	24,37	8,94	21,08	8,64	1,34	0,32	0,82
Yanuncay A.J. Izhcayrrumi	202,56	70,29	16,07	367,07	22,37	1,38	0,78	1,81
Bermejós A.J. Yanuncay	45,17	36,46	9,40	103,96	17,41	1,52	0,51	2,30
Galgal A.J. Quinguyacu	14,91	18,69	7,67	2,20	7,66	1,36	0,25	0,15
Cancan A.J. Quinguyacu	31,14	24,56	7,66	54,12	8,74	1,23	0,53	1,74
Aguarongo A.J. Quinguyacu	6,25	11,11	4,31	13,75	4,43	1,24	0,34	2,20
Sigsihuayco A.J. Yantahuayco	39,03	25,51	6,55	65,32	9,46	1,14	0,91	1,67
Yantahuayco A.J. Sigsihuayco	25,25	24,72	7,63	42,36	8,75	1,38	0,43	1,68

Estación	Extensión media escorrentía	Sinuosidad corrientes	Pendiente media (%)	Elevación media (m)	Pendiente río principal (%)	Tiempo concentración	
						Giantotti (h)	Kirpich (h)
Yanuncay A.J. Tarqui	0,15	1,16	20,79	3638,74	2,35	5,70	13,31
Yanuncay en captacion Sustag	0,15	1,19	19,23	3745,71	2,70	5,09	9,00
Yanuncay en Pucán	0,15	1,22	18,91	3762,40	2,71	5,01	8,54
Soldados A.J. Yanuncay	0,17	1,11	31,25	3876,52	6,15	2,04	3,85
Izhcayrrumi A.J. Yanuncay	0,31	1,14	20,00	3848,02	5,79	1,86	2,65
Yanuncay A.J. Izhcayrrumi	0,14	1,14	12,55	3761,57	2,50	4,78	6,42
Bermejós A.J. Yanuncay	0,11	1,62	10,87	3743,35	2,47	3,19	5,32
Galgal A.J. Quinguyacu	1,69	1,25	19,24	3902,99	3,91	1,94	2,61
Cancan A.J. Quinguyacu	0,14	1,28	11,74	3801,96	3,03	2,72	3,03
Aguarongo A.J. Quinguyacu	0,11	1,04	9,66	3719,22	5,42	1,34	1,62
Sigsihuayco A.J. Yantahuayco	0,15	1,11	13,15	3788,80	3,28	2,78	3,17
Yantahuayco A.J. Sigsihuayco	0,15	1,23	12,20	3806,30	3,72	2,30	2,91

Tabla 40: resumen de las características fisiográficas de las áreas de aporte.

## CONCLUSIONES

La realización del presente proyecto ha sido una muy gratificante odisea a través de la cual han surgido muchos tropiezos y dificultades, las cuales, tras ser superadas, han dejado a su paso experiencia, aprendizaje y una invaluable retroalimentación, lo cual es sin duda alguna la mayor ganancia que se puede esperar tras un proyecto de esta índole.

- En las etapas iniciales, una parte muy esencial era obtener la información base para poder arrancar los análisis y cálculos correspondientes, la cual fue facilitada comedidamente por la empresa ETAPA EP, quienes sin ningún cohibimiento supieron compartir su conocimiento con este proyecto. Mapas limítrofes, curvas de nivel, hidrografías, imágenes satelitales, entre otros, fueron parte de la información brindada por la institución, la cual en su mayoría era actualizada y de muy buena calidad, permitiendo así formar una base sólida sobre la cual se arrancó con la ejecución de este trabajo.
- En cuanto al cálculo y desarrollo de las características fisiográficas de las cuencas, durante el desarrollo se observó y concluyó que el método más efectivo para este proyecto en particular, era el procedimiento manual, puesto que para un óptimo funcionamiento de las herramientas automatizadas que ofrece el software ArcGIS, es necesario contar con una cartografía base (curvas de nivel, levantamiento topográficos, entre otros) altamente detallada, que permita generar modelos de terreno que reproduzcan situaciones muy cercanas a la realidad en cuanto a flujo y sentido de los cauces de agua; desafortunadamente en esta ocasión la información topográfica en existencia fue un levantamiento de curvas de nivel tomadas cada 20 metros, datos ineficientes que generaron resultados poco precisos, que a la postre, sirvieron solamente de referencia para cotejar y comprobar los procedimientos llevados a cabo manualmente. En cuanto a la toma de datos, longitudes, elevaciones, pendientes y otros valores de importancia obtenidos de los mapas y cartografías base, el uso de esta herramienta informática significó una gran ayuda para agilizar el proceso y

obtener información precisa, la cual posteriormente fue procesada según el marco teórico previamente presentado.

- Adicional al cálculo de las características fisiográficas de las cuencas, como apéndice a este proyecto se consideró el cálculo de los tiempos de concentración de cada una de las áreas de aporte a las estaciones, debido a la importancia de este parámetro en un sinnúmero de procedimientos y diseños. Cada una de las variadas ecuaciones que presenta la bibliografía en relación a este tema, han sido diseñadas para situaciones muy particulares de hoyas con características definidas, donde se consideran factores como el área, pendiente, uso de suelo, escorrentía, entre otros; luego de barajar entre varias posibilidades, se determinó usar tres metodologías de cálculo, las propuestas por Giandotti, Kirpich y Témez, siendo estas las que mejor se adaptaban para la topografía que presenta la cuenca del río Yanuncay. Al finalizar el análisis, se pudo concluir que los procedimientos más acertados para el cálculo de los tiempos de concentración en la ciudad de Cuenca son los de Giandotti y Kirpich, puesto que sus resultados son concordantes, mientras que el método de Témez presenta valores considerablemente diferentes.
- Parte muy importante de este proyecto fue la clasificación de uso de suelo en la cuenca del Yanuncay, información que aporta significativamente a la comunidad puesto que el último informe de esta índole data de hace 20 años, cuando se elaboró un mapa de uso de suelo en 1995 por la empresa ETAPA EP; hoy, con la ayuda de la misma institución, se pudo realizar nuevamente este estudio, y como conclusión se presenta la siguiente tabla:

Tabla 41: resumen de uso de suelo en la cuenca del Yanuncay.

<b>Uso de suelo</b>	<b>1995 (km<sup>2</sup>)</b>	<b>2015 (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Variación (%)</b>
Bosques	31,33	27,85	-11,12
Cultivo	5,78	6,60	14,23
Degradación	0,31	4,95	1.497,05
Lagunas	3,87	4,71	21,78
Páramo	336,47	311,47	-7,43
Pasto	24,15	30,46	26,13
Población	5,39	7,59	40,80

Aquí se observa el cambio que la población cuencana ha producido con el paso de los últimos 20 años en la hoya del Yanuncay, mostrando alarmantes cifras en cuanto a la disminución de áreas verdes y bosques, aumento de la urbe y áreas de pastoreo y un crecimiento excesivo en las áreas degradadas, que reflejan la tala y quema indiscriminada de bosques. Estos valores, que aportan significativamente al conocimiento hidrológico de la cuenca del Yanuncay, también hacen un llamado a la conciencia de la población sobre un cambio en el comportamiento y desarrollo de sus actividades, mediante el cual estas puedan llegar a ser sostenibles para el medio y disminuyan así su huella ambiental en el planeta.

Se espera que el desarrollo de este proyecto sirva de base para otros futuros que se ejecuten en la misma área, aportando información hidrológica importante así como procedimientos y metodologías para replicar estudios similares en otras cuencas de la región, por tal, los resultados obtenidos se presentan en formatos simples de fácil interpretación, de manera que cualquier interesado en el tema pueda acceder a ellos y sacar el máximo provecho del trabajo aquí realizado; tablas, gráficos, mapas y archivos anexos forman parte del conjunto de resultados fruto del presente estudio, que buscan sin más contribuir con un pequeño grano de arena al desarrollo y progreso del conocimiento en esta pequeña pero importante región del país.

## RECOMENDACIONES

Es grato comentar que la ejecución de este proyecto ha sido una tarea ampliamente satisfactoria, que ha dejado un sinnúmero de aprendizajes, experiencias y conocimientos invaluable para el óptimo desarrollo de un profesional en la ingeniería; sin embargo, existen algunos aspectos que pueden ser mejorados y pulidos para facilitar y mejorar el desarrollo de futuros estudios dentro de esta rama, que sin haber resultado una barrera insuperable, pudieron haber permitido un trabajo más limpio y eficiente.

- Para análisis de este tipo, el contar con una cartografía base de alta precisión es un factor muy decisivo a la hora de buscar resultados fiables y de calidad, puesto que reduce considerablemente el margen de error en los cálculos, mejora la precisión en el modelado de pendientes y elevaciones, así como aumenta la fiabilidad de los resultados arrojados por herramientas informáticas. Las curvas de nivel con las que se contó fueron las facilitadas por la empresa ETAPA EP, que en su momento fueron tomadas cada 20 metros; esto representa un problema significativo, puesto que reduce considerablemente la precisión de los modelos producidos por computadora y obliga a trazarlos manualmente, lo cual representa una tarea laboriosa y poco productiva. Se recomienda en un futuro realizar nuevos levantamientos topográficos que permitan actualizar esta información con una más precisa y detallada, que permita agilizar futuros proyectos dentro de esta área.
- En el desarrollo de operaciones y análisis complejos con la ayuda de herramienta informáticas, la capacidad del calculista de saber interpretar y aprobar los resultados arrojados por el software marca la diferencia entre un estudio mediocre o uno excelente; los programas computacionales actuales permiten ahorrar mucho tiempo de trabajo laborioso y repetitivo, pero a si mismo, demandan mucha cautela con los datos de entrada y salida, puesto que estos no poseen raciocinio para discernir resultados incoherentes o ilógicos, por tal, se debe hacer un especial énfasis en capacitar a los estudiantes en las aulas

para desarrollar aptitudes que permitan interpretar y corroborar la información recibida, logrando así dar un mejor y óptimo uso a las herramientas que ofrece el mundo del software.

- Por último, se recomienda como un detalle adicional, que los estudiantes de pregrado en carreras técnicas deberían tener conocimientos básicos de diseño gráfico, de manera que puedan presentar informes o reportes de resultados de una manera agradable a la vista; elaboración de mapas, selección de diseños, combinación de colores y otros, fueron algunas de las decisiones que hubo que tomar durante este proyecto, que si bien no representan suma importancia a la hora de realizar análisis y cálculos, ayudan a que la información se encuentre ordenada correctamente y muestre armonía con el entorno.

**BIBLIOGRAFÍA**

- DELGADO Inga, O. (2012). Manual de Prácticas. ArcGIS – Operaciones Básicas. Cuenca.
- ETAPA EP. (14 de Abril de 2014). Recuperado el 02 de Octubre de 2014, de Sitio Web de ETAPA EP: <http://www.etapa.net.ec>
- HERNÁNDEZ , J., & Montaner, D. (2008). *Manual ArcGis9.2*. Obtenido de Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje: <http://www.gep.uchile.cl>
- MONSALVE Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería* (Segunda ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- VÉLEZ Upegui , J., & Botero Gutiérrez, A. (13 de Diciembre de 2010). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.revistas.unal.edu.co/>
- VILLÓN Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Cartago: Editorial Villón.

## ANEXOS

### Anexo 1: áreas de aporte

Anexo1.1: áreas

Anexo1.2: curva hipsométrica

Anexo1.3: curva hipsométrica en Excel

Anexo1.4: curvas de nivel

Anexo1.5: elevación media

Anexo1.6: estaciones

Anexo1.7: longitud axial

Anexo1.8: longitud del valle

Anexo1.9: modelo digital del terreno

Anexo1.: modelo digital del terreno reclasificado

Anexo1.10: orden de las corrientes

Anexo1.11: pendiente

Anexo1.12: polígonos

Anexo1.13: ráster

Anexo1.14: rectángulo equivalente

Anexo1.15: ríos

Anexo1.16: río principal

Anexo1.17: uso de suelo

### Anexo 2: modelo digital del terreno Yanuncay

Anexo 2.1: mapa de pendientes

Anexo 2.2: modelo digital del terreno

Anexo 2.3: TIN (triangulated irregular network)