UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE DE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

Ingeniero Ambiental

Trabajo Experimental:

"ANALISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS A LAS QUE PERTENECE EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTORA AGUARONGO (BVPA), INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO."

AUTOR:

MARCOS VERDUGO CARDENAS

TUTORA:

ING. PAOLA JACKELINE DUQUE SARANGO MSc

Cuenca, Julio del 2017

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR.

Yo Marcos Verdugo Cárdenas , con documento de identificación N° 0302113820, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado "ANALISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS A LAS QUE PERTENECE EL BOSQUE Y VEGETACIÒN PROTECTORA AGUARONGO (BVPA), INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO.", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Marcos Verdugo Cárdenas
C.I. 0302113840
Cuenca, Julio del 2017

CERTIFICACIÓN

Declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "ANALISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS A LAS QUE PERTENECE EL BOSQUE Y VEGETACIÒN PROTECTORA AGUARONGO (BVPA), INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO", realizado por Marcos Verdugo Cárdenas, obteniendo el Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Ing. PAOLA JACKELINE DUQUE SARANGO

C.I. 1104257835

Cuenca, Julio del 2017

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, MARCOS VERDUGO CARDENAS con cédula de identidad número 0302113840 autor del trabajo de titulación "ANALISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS A LAS QUE PERTENECE EL BOSQUE Y VEGETACIÒN PROTECTORA AGUARONGO (BVPA), INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO" certifico que el total contenido del Trabajo Experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Julio del 2017

MARCOS VERDUGO CARDENAS

0302113840

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a mis padres José Manuel Verdugo Crespo y Lucita Elizabeth Cárdenas Pesantes, que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la patria.

A mi hermano Andrés Emanuel Verdugo Cárdenas que desde el cielo el estará muy contento de mi esfuerzo, él fue mi inspiración para yo poder concluir mi profesión, a mi hermana Angie Priscila Verdugo Cárdenas y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de este proyecto va dirigido primero a Dios ya que sin la bendición y su amor todo hubiera sido un total fracaso, también para mi directora del proyecto Ing. Paola Duque que gracias a su conocimiento y ayuda pude concluir con éxitos, a mis padres y mis hermanos, que estuvieron todos los días pendientes y apoyándome para que nada salga mal y todo este bien elaborado.

Marcos Verdugo Cardenas

Resumen

La falta de información del análisis morfométrico de microcuencas en Ecuador justifica la elaboración de este proyecto, planteándose como caso de estudio el análisis de las microcuencas del BVPA [1], pertenecientes a la cuenca del Paute en la provincia del Azuay.

Adicional se planteó un siguiente objetivo que fue establecer la dirección de la red hídrica superficial, a partir de la aplicación de modelos morfométricos e identificar divisorias de aguas. Se utilizó el modelo «Hydrologic Modeling», de ArcGis, el cual consiste en determinar todas las celdas que drenan a una en particular y la delimitación de las microcuencas.

Con el estudio se logró obtener información básica de las microcuencas del BVPA a partir de su morfología y con ello realizar un análisis de los datos obtenidos, con este se pretende aportar y compensar el vacío en información morfométrica e hidrológica que se tiene de la provincia del Azuay.

Se empleó la cartografía a escala 1:50000 y se aplicó el MDT[2] de medición de 3x3 metros cada celda del cantón Gualaceo, para la estimación de la variables: pendiente, superficie, perímetro, longitud de la cuenca y la elevación, etc. Se delimitó 4 microcuencas de las cuales la microcuenca BVPA1 presento la mayor área y su forma es oval-alargada, mientras que las otras 3 microcuencas tienen sus áreas pequeñas y su forma es oval-redonda.

Palabras clave: Microcuenca, red hídrica, morfometría de cuencas, divisora de agua, MDT.

[1] BVPA (Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo)

[2] Un **Modelo Digital del Terreno** (MDT) es una forma de representación de la superficie del terreno en formato Raster (Alonso, 2014).

ABSTRACT

The lack of information from the morphometric analysis of microbasins in Ecuador justifies the preparation of this project, considering as a study case the analysis of the microbasins of the BVPA, which belongs to the Paute basin in the province of Azuay.

A further objective was to establish the direction of the surface water network, based on the application of morphometric models and to identify water divisions. We used the "Hydrologic Modeling" model of ArcGis, which consists on determining all the cells that drain into a particular one and the delimitation of the micro-basins.

With the study, it was possible to obtain basic information of the BVPA microbasins from their morphology and afterwards to make an analysis of the obtained data, with this one it is intended to contribute and to compensate the void in morphometric and hydrological information that the province of Azuay lacks.

Mapping was used at a scale of 1: 50000 and the MDT measuring 3x3 meters per cell of the Gualaceo canton was used for the estimation of the variables: slope, surface, perimeter, basin length and elevation, etc. Four micro-basins were delimited, of which the microbasin BVPA1 presented the largest area and its shape is oval-elongated, while the other three micro-basins have small areas and their shape is oval-round.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD MEDIOAMBIENTAL

MANEJO SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE RRNN

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

BIOTECNOLOGÍA-AMBIENTE

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

APLICADA

DURACIÓN DEL PROYECTO:

400 HORAS

INFORMACIÓN DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL

Nombres	Marcos		**Apellidos**		Verdugo Cárdenas
Instituto/ Facultad/ Departamento	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, CIENCIAS DE LA VIDA, INGENIERÍA AMBIENTAL				
Dirección	Azogues			**Casilla Postal**	
Nacionalidad	Ecuatoriano	**C.I.**	0302113840	**Fecha de Nacimiento**	13 de noviembre del 1992
Teléfono Trabajo	N/A	**Teléfono de Casa**	2241-044	**Celular**	0987224035
E-mail	marcos.verdugocardenas@hotmail.com			**Fax:**	N/A

Contenido

1. Introducción 1

1.1. Problema 1

1.2. Delimitación 3

1.3. Explicación del problema 4

1.4. Objetivos: 4

1.4.1. General: 4

1.4.2. Específicos: 4

2. Fundamentación Teórica 5

2.1. Antecedentes Históricos 5

2.2. Tipos de Cuencas 5

2.2.1. Cuenca hidrográfica 5

2.2.2. Sub cuenca 6

2.2.3. Microcuenca 6

2.3. Sectores de las Cuencas 6

2.4. Partes de una cuenca 7

2.5. Clasificación de Cuencas Hidrográficas por el Sistema de Drenaje 7

2.6. Delimitación de una cuenca hidrográfica 8

2.7. Unidades hidrográficas 8

2.8. Pisos altitudinales en el Ecuador 9

2.9. Parámetros generales de una Cuenca Hidrográfica 11

2.9.1. Área de la cuenca (A) 11
2.9.2. Perímetro de una cuenca (P) 11
2.9.3. Longitud del cauce principal (L) 11
2.9.4. Ancho de la cuenca (W) 11
2.10. Parámetros de forma 12
2.10.1. Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) 12
2.10.2. Desnivel altitudinal (DA) 13
2.11. Parámetros de relieve 13
2.11.1. Pendiente media del cauce principal (j) 13
2.11.2. Pendiente media de la cuenca (J) 14
2.11.3. Curva hipsométrica 15
2.11.4. Altura media (h) 16
2.11.5. Coeficiente de masividad (K_m) 16
2.12. Características de la red de drenaje 17
2.12.1. Hidráulica de la red fluvial 17
2.12.2. Densidad de drenaje (Dd) 17
2.12.3. Perfil longitudinal 18
2.12.4. Jerarquización de la red fluvial 19
2.12.5. Tiempo de concentración (T_c) 20
2.13. La metodología Pfafstetter 22
2.13.1. Descripción de las unidades hidrográficas del Ecuador 23
2.14. Morfología de ríos 24

2.14.1. Según su edad 24
2.14.2. Medición de los perfiles transversales de los ríos....24
2.15. Análisis granulométrico 25
2.15.1. Proceso mecánico....25
2.16. Manejo de microcuencas en Ecuador....27
2.17. Características de la cuenca del Paute....28
2.17.1. Las partes de la cuenca del rio Paute 29
2.17.2. Áreas protegidas de la cuenca del rio Paute....30
3. MATERIALES Y MÉTODOS....31
3.1. Diseño....31
3.2. Materiales y equipos....32
3.3. Población y muestra 33
3.4. Consideraciones éticas 33
3.4.1. Delimitación de las unidades hidrográficas....33
3.4.2. Fill....34
3.4.3. Flow direction....35
3.4.4. Flow accumulation 36
3.4.5. Raster calculator 37
3.4.6. Stream Link 37
3.4.7. Stream Order....38
3.4.8. Stream to Feature....39
3.4.9. Feature vértice to point....39

3.4.10. Watershed 40

3.5. Análisis granulométrico en el laboratorio 41

3.6. Medición de los perfiles transversales en los cauces 44

4. Resultados y Discusión.....45

4.1. Discusión.....53

4.1.1. Ubicación de las microcuencas.....53

4.1.2. Parámetros de forma.....54

4.1.3. Parámetros de relieve.....56

4.1.4. Parámetros de drenaje.....67

4.1.5. Cobertura vegetal de las microcuencas 69

4.1.6. Análisis granulométrico de las microcuencas del BVPA.....72

4.1.7. Características de la red de drenaje de las microcuencas del BVPA.....80

5. Conclusiones y recomendaciones.....86

5.1. Conclusiones 86

5.2. Recomendaciones.....88

6. Bibliografía 89

7. ANEXOS:.....96

7.1. Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA1.....96

7.2. Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA2.....97

7.3. Tablas de datos de las secciones transversales de la microcuenca BVPA1 98

7.4. Tabla de datos de la sección transversal de la microcuenca BVPA2.....99

7.5. Perfiles longitudinales de los cauces principales de las microcuencas del BVPA.....100

7.6. Mapa del Modelo Digital del Terreno del BVPA 102

7.7. Mapa de pendientes del BVPA 103

7.8. Mapas de cobertura vegetal de las microcuencas del BVPA 104

Ilustración 1: Ubicación del BVPA 3

Ilustración 2: Sectores de una cuenca Hidrográfica 7

Ilustración 3: Pisos Altitudinales en el Ecuador 10

Ilustración 4: Curva Hipsométrica para definir la Microcuenca 15

Ilustración 5: Tabulación y cálculo de la altura media a partir de la curva hipsométrica de una cuenca. 16

Ilustración 6: Perfil Longitudinal de una cuenca hidrográfica 19

Ilustración 7: Ordenes de corriente según Strahler 19

Ilustración 8: Proceso de Drenaje 22

Ilustración 9: Cuenca interna 23

Ilustración 10: Determinación en campo de la sección llena 25

Ilustración 11: Tabla de numeración y abertura de tamices. 26

Ilustración 12: Clasificación de las cuencas hidrográficas del Ecuador 28

Ilustración 13: Área por provincia perteneciente a la Cuenca del rio Paute 29

Ilustración 14: Cuadro de áreas por subcuencas 29

Ilustración 15: Área de bosques protectores dentro del sistema nacional de Áreas protegidas 30

Ilustración 16: Diagrama del Proyecto 32

Ilustración 17: MDT del BVPA 34

Ilustración 18: Pasos del Fill del BVPA 34

Ilustración 19: Fill del BVPA 35

Ilustración 20: Flow Direction del BVPA 36

Ilustración 21: Flow Accumulation del BVPA 36

Ilustración 22: Raster calculator del BVPA 37

Ilustración 23: Stream Link del BVPA 38

Ilustración 24: Stream Order del BVPA.....38
Ilustración 25: Stream to Feature del BVPA.....39
Ilustración 26: Feature vértice to point del BVPA.....40
Ilustración 27: Delimitación de la microcuenca del BVPA1.....40
Ilustración 28: Homogenización de la muestra de la microcuenca BVPA1.....42
Ilustración 29: Secado del material de la muestra de la microcuenca BVPA1.....42
Ilustración 30: Material depositado en el vibrador eléctrico de la muestra de la microcuenca BVPA1.....43
Ilustración 31: Pesaje de la muestra de la microcuenca BVPA1 por cada tamiz.....43
Ilustración 32: Delimitación de las microcuencas del BVPA.....45
Ilustración 33: Mapa base de la microcuenca BVPA1.....47
Ilustración 34: Mapa base de la microcuenca BVPA2.....49
Ilustración 35: Mapa base de la microcuenca BVPA3.....51
Ilustración 36: Mapa base de la microcuenca BVPA4.....53
Ilustración 37: Índice de Compacidad o de Gravelius de las microcuencas del BVPA.....55
Ilustración 38: Desnivel Altitudinal de las microcuencas del BVPA.....55
Ilustración 39: Pendiente Media de la Cuenca de las microcuencas del BVPA.....56
Ilustración 40: Altura media de las microcuencas del BVPA.....57
Ilustración 41: Coeficiente de Masividad de las microcuencas del BVPA.....58
Ilustración 42: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA1.....59
Ilustración 43: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA1.....60
Ilustración 44: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA2.....61
Ilustración 45: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA2.....62
Ilustración 46: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA3.....63

Ilustración 47: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA3 64

Ilustración 48: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA4 65

Ilustración 49: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA4 66

Ilustración 50: Densidad de drenaje de las microcuencas del BVPA 67

Ilustración 51: Tiempo de concentración de las microcuencas del BVPA 68

Ilustración 52: Pastizal de las microcuencas del BVPA 72

Ilustración 53: Puntos de las muestras de suelo de la microcuenca BVPA1 73

Ilustración 54: Curva granulométrica de la Microcuenca BVPA1 76

Ilustración 55: Puntos de las muestras de suelo de la microcuenca BVPA2 77

Ilustración 56: Curva granulométrica de la microcuenca BVPA2 79

Ilustración 57: Ubicación de los puntos para la medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA1 80

Ilustración 58: Levantamiento de datos en el campo para la sección transversal del punto 1 de la microcuenca BVPA1 81

Ilustración 59: Sección transversal del rio del punto 1 de la microcuenca BVPA1 81

Ilustración 60: Levantamiento de datos en el campo para la sección transversal del punto 2 de la microcuenca BVPA1 82

Ilustración 61: Sección transversal del rio del punto 2 de la microcuenca BVPA1 82

Ilustración 62: Ubicación del punto 1 para la medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA2 83

Ilustración 63: Levantamiento de datos en el campo para la sección transversal del punto 1 de la microcuenca BVPA2 84

Ilustración 64: Sección transversal del rio del punto 1 de la microcuenca BVPA2 84

Ilustración 65: Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA1 96

Ilustración 66 : Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA1.....96

Ilustración 67: Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA2.....97

Ilustración 68: Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA2.....97

Ilustración 69: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA1 100

Ilustración 70: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA2 100

Ilustración 71: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA3 101

Ilustración 72: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA4 101

Ilustración 73: Modelo Digital del Terreno del BVPA 102

Ilustración 74: Mapa de pendientes del BVPA 103

Ilustración 75: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA1.....104

Ilustración 76: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA2.....105

Ilustración 77: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA3.....106

Ilustración 78: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA4.....107

Tabla 1: Clasificación de las Cuencas Hidrográficas 9
Tabla 2: Dimensiones de las Cuencas Hidrográficas 9
Tabla 3: Tipos de Pisos Altitudinales en el Ecuador 10
Tabla 4: Índice de Gravelius para la evaluación de la forma 12
Tabla 5: Índice de Gravelius para la evaluación de una Interpretación Ambiental.....13
Tabla 6: Rangos de pendiente y tipo de terreno 14
Tabla 7: Clases de valores de masividad.....17
Tabla 8: Valores interpretativos de la densidad de drenaje 18
Tabla 9 : Clases de tiempo de concentración 21
Tabla 10: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA1.....46
Tabla 11: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA2.....47
Tabla 12: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA3.....49
Tabla 13: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA4.....51
Tabla 14: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA1 59
Tabla 15: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA2 61
Tabla 16: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA3 63
Tabla 17: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA4 65
Tabla 18: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA1.....70
Tabla 19: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA2.....70
Tabla 20: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA3.....71

Tabla 21: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA4.....71

Tabla 22: Coordenadas granulométricas de la microcuenca BVPA1.....73

Tabla 23: Muestra 1 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1 74

Tabla 24: Muestra 2 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1 74

Tabla 25: Muestra 3 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1 75

Tabla 26: Coordenadas Granulométricas de la microcuenca BVPA2.....77

Tabla 27: Muestra 1 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA2 78

Tabla 28: Muestra 2 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA2 78

Tabla 29: Ubicación de los puntos para la medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA1 80

Tabla 30: Ubicación del punto 1 de la microcuenca BVPA2.....83

Tabla 31: Datos de la sección transversal del rio del punto1 de la microcuenca BVPA1 98

Tabla 32: Datos de la sección transversal del rio del punto 2 de la microcuenca BVPA1 99

Tabla 33: Datos de la sección transversal del rio del punto 1 de la microcuenca BVPA2 99

1. Introducción

1.1. Problema

El presente proyecto aporta a la investigación de las microcuencas del BVPA, una de las herramientas cruciales para el estudio del comportamiento hidrológico es el análisis morfométrico, la cual permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hídrico de una zona, además ayuda en la gestión y planeación de los recursos naturales (Fuentes, 2004).

Tradicionalmente la delimitación de las microcuencas, se ha realizado a través de la interpretación de mapas cartográficos; las mismas que se han mejorado con la implementación de la tecnología. Hoy día los sistemas de información geográfica proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que, con entender los conceptos y teoría, se puede realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de una Microcuenca.

El análisis morfométrico de una microcuenca nos permite conocer el conjunto de variables lineales, de superficie y de relieve; a través de la misma permite conocer las características físicas, lo cual permite realizar diferencias entre varias microcuencas.

El BVPA es uno de los pocos remanentes de bosque andino de la provincia del Azuay. Fue declarado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería como Área de Bosque y Vegetación Protectora en agosto de 1985, según lo cual se protegerían 1.758 hectáreas de bosque inicialmente y, a futuro, 2.080 hectáreas (Minga,*et at.*, 2002,p.15).

Pertenece a bosque montano, el 63% del área se localiza en las parroquias San Juan y Jadán. Este bosque está siendo alterado por actividades del hombre como la agricultura y ganadería que involucran la tenencia de tierras, arado de tierras con maquinaria, tala de bosques, así como la

extracción de plantas medicinales. Dichas actividades alteran al estado de conservación y las funciones del BVPA provocando una alteración en la flora y fauna (Criollo, 2016).

La superficie del BVPA forma parte de dos subcuencas, la del río Jadán y Santa Bárbara, que a su vez forman parte de la cuenca media del Paute. El BVPA cuenta con dos ríos importantes: Gualaceo y Jadán. Las dos subcuencas, tienen su divisoria de agua en la cordillera donde se encuentra el BVPA. La subcuenca del río Jadán está alimentada por las principales quebradas Siguancay y Chaquilcay. Las principales quebradas del lado oriental del BVPA, cuyos cauces alimentan al río Santa Bárbara son: en el cantón Gualaceo, parroquia San Juan, la quebrada Raruncay; y la quebrada Yaguarsol entre las parroquias de San Juan y San Bartolomé (Minga,et at., 2002).

1.2. Delimitación

Espacial: El estudio se realizó en el área de influencia del BVPA, comprende una superficie de 2082 hectáreas, se encuentra en las parroquias de Santa Ana, Zhidmad, San Juan, San Bartolome, Jadan y Gualaceo. El BVPA se encuentra ubicado entre los 2.900 y 3.320 msnm.

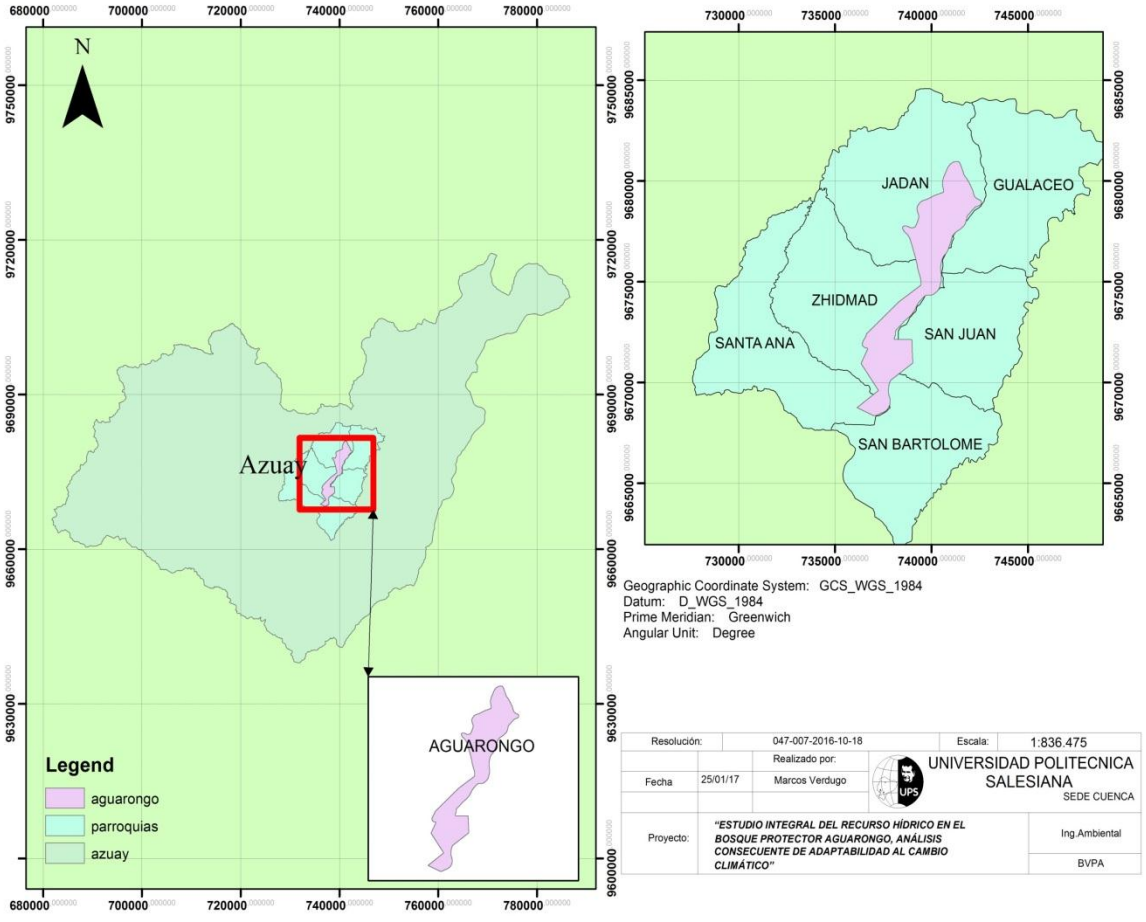

Ilustración 1: Ubicación del BVPA
Fuente: Instituto Geográfico Militar.
Elaboración: El Autor.

Temporal: El proyecto se llevó a cabo durante los meses de diciembre del 2016, enero, febrero, marzo, abril y mayo del 2017 en la provincia del Azuay.

1.3. Explicación del problema

¿Cómo la variabilidad morfométrica de las microcuencas a las que pertenece el Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo (BVPA) puede influir en el comportamiento Hidrológico?

1.4. Objetivos:

1.4.1. General:

Analizar las características morfométricas físicas y ecológicas de las microcuencas a las cuales pertenece el bosque protector Aguarongo.

1.4.2. Específicos:

- Delimitación en gabinete de las microcuencas más importantes y la ubicación de los puntos de desagüe, y clasificación de las microcuencas según la metodología Pfafstetter.

- Elaborar información base geo referenciada de parámetros morfométricos, cobertura vegetal, lagunas y cauces principales de las microcuencas y validación a nivel de campo.

- Caracterizar la red hídrica de las microcuencas del BVPA mediante parámetros morfométricos y validación a nivel de campo.

2. Fundamentación Teórica

2.1. Antecedentes Históricos

El estudio de las características morfométricas de una cuenca, fue iniciado originalmente por el padre de la hidrología moderna en los Estados Unidos de norte América: Robert Ermer Horton, a través de sus dos artículos de referencia internacional "Drainage basin charasteristics y Erosional development of streams and their drainage bsains". Los estudios morfométricos fueron transformados de diferentes análisis puramente cualitativos y deductivos, a estudios científicos, cuantitativos y rigurosos capaces de suministrar datos hidrológicos de estimar (Horton, 1932).

En el año 1952, Arthur Newell, modificó y mejoró el sistema para el análisis de la red de drenaje propuesto originalmente (Horton, 1932), donde se clasifican los órdenes de los cauces de acuerdo a su jerarquía y a la potencia de sus afluentes; convirtiéndose desde entonces en el sistema de clasificación más usado a nivel mundial, para ordenar las redes de los drenajes en cuencas hidrográficas y constituyéndose a su vez en un tema de estudio obligado para los cursos de hidrología básica y geomorfología fluvial, dando aborde el estudio de la Morfometría de cuencas.

2.2. Tipos de Cuencas

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Es un área delimitada por la divisoria de aguas, conformada por elementos naturales, sociales, económicos, institucionales y políticos relacionados. También se detalla como un ecosistema en el cual interactúan y se interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas que trabajan como un todo (Vásquez, 2000).

Sánchez y Artieda (2004), afirma que es una superficie natural en la que el agua proveniente de la lluvia forma un cauce principal; también se considera como una unidad fisiográfica conformada por sistemas de vertientes de agua definidos por su topografía.

Monsalve (1999), afirma que una cuenca hidrográfica es un área definida por una divisoria de aguas, drenada por un curso de agua conectado de cursos de agua tal que todo el caudal afluente es descargado a través de una salida simple.

2.2.2. Sub cuenca

Es toda área en la que sus vertientes van al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca (Faustino, 2006).

2.2.3. Microcuenca

Es toda área en la que sus cauces van a dar al cauce principal de una sub cuenca. Las microcuencas son unidades diminutas y a su vez son superficies donde se producen quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. También las microcuencas forman las unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo (Villanueva, 2002).

2.3. Sectores de las Cuencas

Cuenca Alta: Corresponde a las nacientes de los ríos y riachuelos, es la zona de captación donde se capta la mayor cantidad de agua que discurrirá en la cuenca; esta zona debe considerarse como "de reserva", ya que la diversidad de especies naturales que influyen en el almacenamiento de agua no deben ser alteradas.

Cuenca media: Zona generalmente con pendientes fuertes, la función de esta zona está relacionada con el escurrimiento de agua, como ejemplo, en estas zonas afloran los manantiales de agua. Son zonas de erosión y aprovechamiento energético.

Cuenca baja: Es la zona de depósito de los sedimentos, es donde el o los cauces desembocan en el río receptor.

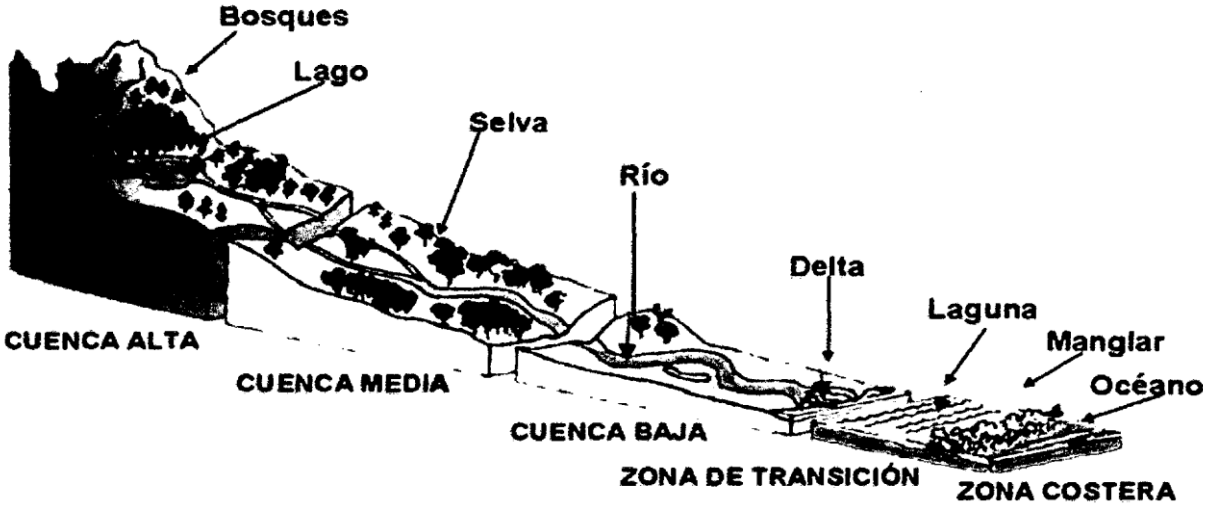

Ilustración 2: Sectores de una cuenca Hidrográfica
Fuente: Ramos (1999)

2.4. Partes de una cuenca

Según Escobar (1996), en la cuenca existen muchos componentes, en función de su relieve,

Los principales se representan a continuación:

Vertientes: También llamadas laderas, son las secciones inclinadas que se encuentran entre las divisorias y los cauces.

Red de cauces: Son las secciones longitudinales en la cuenca definidas por las cotas más bajas, a través de las cuales las aguas discurren permanentemente.

Valle: Zonas planas adyacentes a los cauces de los ríos.

Río receptor: Aquel cauce de mayor envergadura al cual confluyen dos o más microcuencas.

Interfluvio: Son áreas o secciones de forma triangular que se encuentra en el medio de dos microcuencas adyacentes.

2.5. Clasificación de Cuencas Hidrográficas por el Sistema de Drenaje

Según Faustino (1997) por el sistema de drenaje y su conducción final, las cuencas hidrográficas pueden ser:

Cuencas Endorreicas: Son los que desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar, tienen como resultado la formación de sistemas de aguas estancadas (como lagos).

Cuencas Exorreicas: Estas son las aguas que drenan para llegar al mar, de igual manera se quedan encerradas.

Cuencas Criptorréicas: Cuando sus redes de drenaje superficial no tienen un sistema organizado y fluyen como ríos subterráneos.

Cuencas Arreicas: Aquellas aguas que se vaporan antes de canalizarse en la red de drenaje.

2.6. Delimitación de una cuenca hidrográfica

Villon (2002) menciona que se realiza sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas imaginarias (divortium aquarum), que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el agua originado por la precipitación, que en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de desague de la cuenca.

Aparicio (1999) uno de los principales pasos que se detallan para generar el análisis hidrológico de una cuenca, es definir el sitio y delimitar la cuenca. Lo que lleva a efectuar el trazo de la línea imaginaria que la delimita, Molina (1975) menciona que las líneas de flujo son perpendiculares a las curvas de nivel del terreno hasta un punto del cauce del río que ayuda como salida de las aguas que bajan dentro de la cuenca.

2.7. Unidades hidrográficas

No existe un consenso general sobre las clases de las áreas a manejar para su categorización. En cambio existen algunas categorizaciones con uso permanente y ampliamente distribuidas, tal es el caso de la recomendada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Suelos (CIDIAT-MARNR, 1978). Su clasificación es la siguiente:

Tabla 1: Clasificación de las Cuencas Hidrográficas

Tipos de Cuenca	Dimensiones(ha)
Sistema hidrográfico	+ de 300.000 ha
Cuencas	60.000 - 300.000 ha
Subcuencas	10.000 - 60.000 ha
Microcuenca	< 10.000 ha

Fuente: CIDIAT-MARNR (1978).

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

Tabla 2: Dimensiones de las Cuencas Hidrográficas

Tamaño de la Cuenca (km2)	Descripción
<25	Muy pequeña
25 - 250	Pequeña
250 - 500	Intermedia-pequeña
500-2500	Intermedia-grande
2500-5000	Grande
>5000	Muy grande

Fuente: Campos (1992)

2.8. Pisos altitudinales en el Ecuador

Los pisos altitudinales del Ecuador estan relacionados por diferentes temperaturas.

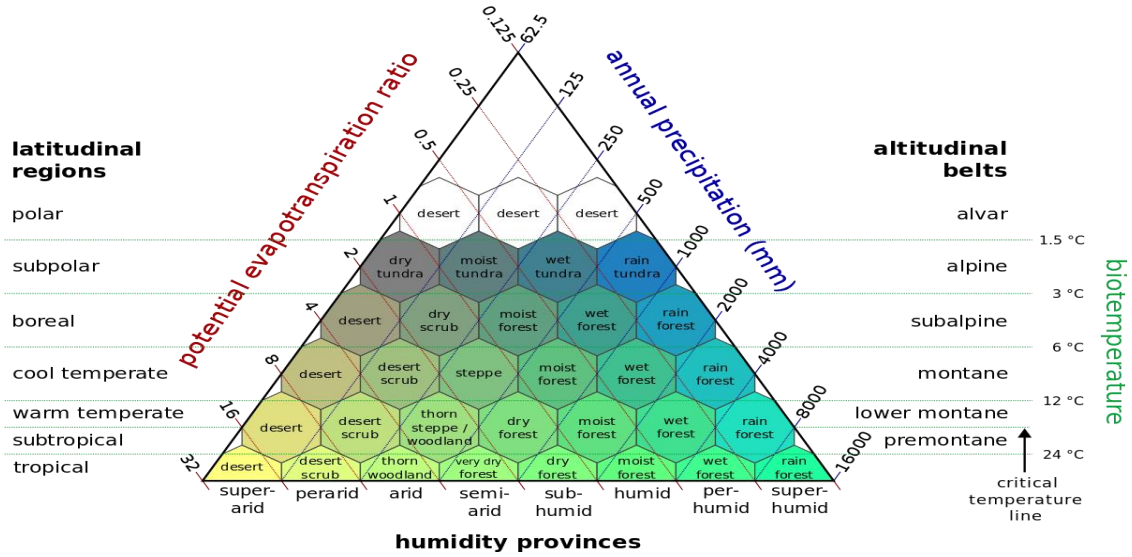

Ilustración 3: Pisos Altitudinales en el Ecuador
Fuente: Rodríguez,et at., (s.f).

Tabla 3: Tipos de Pisos Altitudinales en el Ecuador

Tipos de Pisos Altitudinales	Altitudes msnm	Temperatura
· Manglar y tropical	0 a 1000	24ºC
Premontano o subtropical	1000 a 2000	18ºC y 24ºC
Montano bajo o templada	2000 a 3000	12ºC y 18ºC
Montano o temperatura fría	3000 a 3500	6ºC y 12ºC
Subalpino o fría	3500 a 4000	3ºC y 6ºC
Alpino o paramo	4000	1.5ºC y 3ºC
Nival o de las nieves perpetuas	4800	1.5ºC

Fuente: Rodríguez,et at., (s.f)

Elaborado: Él Autor

En cada piso altitudinal existen diferentes precipitaciones , variaciones que establecen las llamadas ***Formaciones Ecológicas***.Una formación ecológica representa dos condiciones en un clima que es la temperatura y la precipitación (Rodriguez,*et at*., s.f).

2.9. Parámetros generales de una Cuenca Hidrográfica

2.9.1. Área de la cuenca (A)

El área de una cuenca se define como la superficie en proyección horizontal, delimitada por la divisora de aguas (Mijares, 1989), definido como la línea imaginaria formada por los puntos de nivel topográfico más alto, que separa una determinada área de una superficie más extensa.

2.9.2. Perímetro de una cuenca (P)

Es la medición del contorno que encierra el área de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas (Gaspari, et at., 2013).

2.9.3. Longitud del cauce principal (L)

Se define la distancia horizontal en kilómetros del rio principal, es la distancia entre el desagüe y el punto más lejano de la cuenca (Beltrán, 2010).

Es decir, desde la parte más alta de la cuenca hasta su desembocadura, en sentido del cauce principal (Fierro & Jiménez, 2011).

2.9.4. Ancho de la cuenca (W)

Es la relación entre la superficie (A) y la longitud axial obtenida en kilómetros de la cuenca (L) (Villon, 2002).

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

Dónde:

A: superficie de la cuenca en km2.

L: longitud de la cuenca en km.

2.10. Parámetros de forma

Estos son paramentos que nos da a conocer la forma de la cuenca a una forma geométrica (Fierro & Jiménez, 2011), analizando por medio de índices o coeficientes el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca.

2.10.1. Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

Es un coeficiente adimensional de la forma de la hoya que relaciona el perímetro de la cuenca con el área de un círculo semejante al de la cuenca (Burbano, 1989).

Si K = 1, la cuenca es de forma circular, el grado de cercanía de este índice a la unidad mostrará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, para cuencas alargadas se espera que K > 1. Las hoyas de forma alargada, disminuyen las probabilidades de inundación.

La ecuación es (López Cadenas de Llano, 1998):

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

K=coeficiente de Graveluis

P= perímetro de la cuenca, en km

A= superficie de la cuenca, en km2

Tabla 4: Índice de Gravelius para la evaluación de la forma

Rango	Descripción
1 a 1,25	Forma casi redonda a oval – redonda
1,25 a 1,5	Forma oval - redonda a oval – alargada
1,5 a 1,75	Forma oval – alargada a alargada

Fuente: Ortiz (2004)

Tabla 5: Índice de Gravelius para la evaluación de una Interpretación Ambiental.

Kc	Interpretación Ambiental
1-1,25	Alta tendencia a inundaciones
1,25-1,50	Mediana tendencia a inundaciones
1,50-1,70	Baja tendencia a la inundación
>1,70	Cuencas propensas a la conservación

Adaptado de fuente: Villela e Matos (1975), citado por Rodrígues (2014).

2.10.2. Desnivel altitudinal (DA)

Consiste en la diferencia entre la cota más alta y la cota más baja de la cuenca, representada en msnm. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas es decir mayor abundancia de flora y fauna.

$$DA = COTA\ MAYOR - COTA\ MENOR$$

2.11. Parámetros de relieve

El relieve de una cuenca está conformado de valles principales y secundarios. Está formado por las montañas, quebradas y mesetas. El relieve tiene más atribución sobre la respuesta hidrológica que su forma; es decir a mayor pendiente la generación de caudal se produce en lapsos de tiempo cortos (Ibáñez Asensio,*et at.*, 2008).

2.11.1. Pendiente media del cauce principal (j)

Es un parámetro significativo, en la memoria del comportamiento de recurso hídrico, para la determinación de la solución de dificultades de inundaciones.

Se puede calcular por diferentes métodos, se determina según la relación entre el desnivel que hay entre los extremos el cauce y su longitud (Villon, 2002).

$$j = \frac{DA}{L}$$

DA: desnivel altitudinal (km)

L: longitud del cauce en km

2.11.2. Pendiente media de la cuenca (J)

Este valor es la media ponderada de todas las pendientes de las superficies elementales en las que se considera constante la máxima pendiente (Beltrán, 2010), tiene una relación con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía, en lugares de alta pendiente son más ocurrentes los problemas de erosión (Villon, 2002); mientras que en zonas planas aparecen los problemas de drenaje y sedimentación.

$$J = 100 * \frac{\sum Li \ * E}{A}$$

J= pendiente media de la cuenca (%)

Li= Longitud de cada una de las curvas de nivel (km)

E= Equidistancia de las curvas de nivel (km)

A= superficie de la cuenca (km2)

Tabla 6: Rangos de pendiente y tipo de terreno

Rango de pendiente (%)	Tipo de terreno
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado

25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Heras (1972)

2.11.3. Curva hipsométrica

Es la distribución del área en zonas parciales de la cuenca de acuerdo a un rango de elevación. Es la representación gráfica del relieve de una cuenca. La curva relaciona el valor de la cota, en las ordenadas, con el porcentaje de área acumulada en las abscisas (Gaspari, et at., 2013), sirve para definir el potencial evolutivo de la Microcuenca.

Llamas (1993) afirma que la curva hipsométrica se divide en tres partes:

- Zona en el cual prevalece la producción de sedimentos y aguas (cauces jóvenes).
- Zona en donde predomina el transporte de ambos (cauces maduros)
- Zona establecida por la deposición de sedimentos (cauces en etapa de vejez)

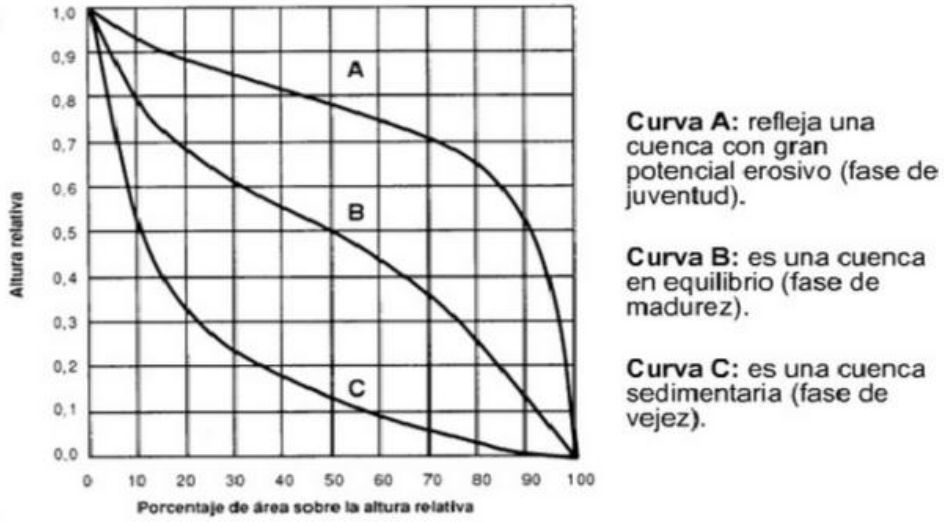

Ilustración 4: Curva Hipsométrica para definir la Microcuenca
Fuente: Domínguez Cortázar (2015)

2.11.4. Altura media (h)

Es la altura definida por el volumen de la hoya en relación del área de la misma (Gaspari, et at., 2010). La elevación media de una hoya determina la cota de curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área; es decir, es la elevación correspondiente al 50 % del área total.

A partir de la Curva Hipsométrica se puede calcular la elevación mediana de la cuenca (Linsley, *et. al.*, 1949).

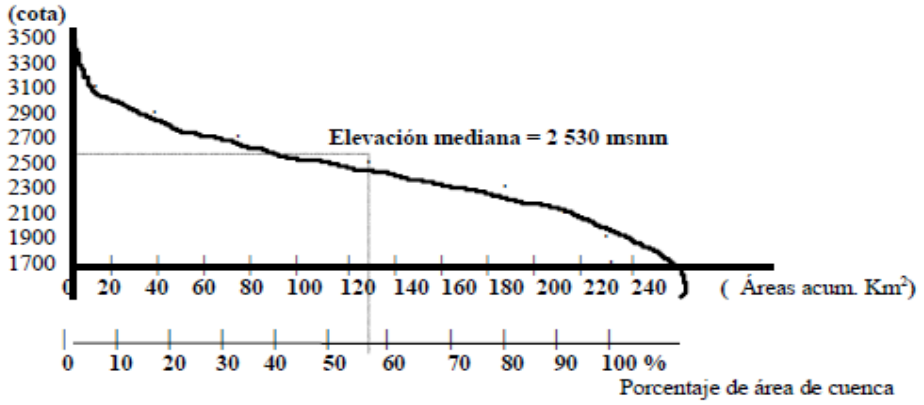

Ilustración 5: Tabulación y cálculo de la altura media a partir de la curva hipsométrica de una cuenca.
Fuente: Aguirre (2007)

De acuerdo con Llamas (1993), la altitud media, es un dato importante para el análisis de la temperatura y la precipitación.

2.11.5. Coeficiente de masividad (K_m)

Este índice es la relación entre la elevación media y su área de la cuenca.

$$K_m = \frac{Altura\ media\ (m)}{A(Km^2)}$$

Fuentes (2004) revela que valores bajos corresponden a cuencas montañosas y valores altos indican que son cuencas planas.

Tabla 7: Clases de valores de masividad

Rango de Km	Clases de masividad
0 – 35	Muy Montañosa
35 - 70	Montañosa
70 - 105	Moderadamente montañosa

Fuente: (Fuentes, 2004)

2.12. Características de la red de drenaje

2.12.1. Hidráulica de la red fluvial

La morfología de los canales fluviales naturales depende del flujo y los materiales erosionables. El flujo de agua está expuesto a dos fuerzas principales: la gravedad y la pendiente (Ibáñez Asensio, et *at*., 2008).

Existen dos tipos de régimen:

En el **régimen laminar**, el agua fluye a velocidades muy pequeñas, de forma que en el contacto con el lecho la velocidad del agua es nula.

En el **régimen turbulento**, el agua fluye a velocidades mayores, de forma que se originan movimientos caóticos, que la capacidad erosiva aumenta.

2.12.2. Densidad de drenaje (Dd)

Se define como el grado de dificultad que presenta una hoya hidrográfica para evacuar el agua frente a una tormenta, realizada su red hidrográfica (Yaguachi, 2013).

Según Llamas (1993) se define como la longitud total de los cauces dentro de la hoya, dividida entre el área total de drenaje:

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

L: Σ longitud total de todos los cauces en km.

A: superficie de la cuenca en km²

Tabla 8: Valores interpretativos de la densidad de drenaje

Densidad de Drenaje(km/km²)	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: Delgadillo & Páez (2008)

Una densidad de drenaje alta se relaciona con "materiales impermeables a nivel subsuperficial, vegetación dispersa y relieves montañosos" (Strahler A, 1964).

Chorley (1969) y Carlston (1963) afirma que la densidad de drenaje afecta al tipo de escorrentia, asi en zonas de alta densidad la escorrentia fluye por la superficie rapidamente, disminuyendo el tiempo de concentración e aumentando el pico de crecida, al haber una mínima infiltración.

2.12.3. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal, es un corte topográfico que tiene forma cóncava. Indica la relación entre la distancia recorrida por un cauce natural desde su nacimiento y la altura relativa de cada punto de dicho perfil (Ibáñez Asensio,et at., 2008).

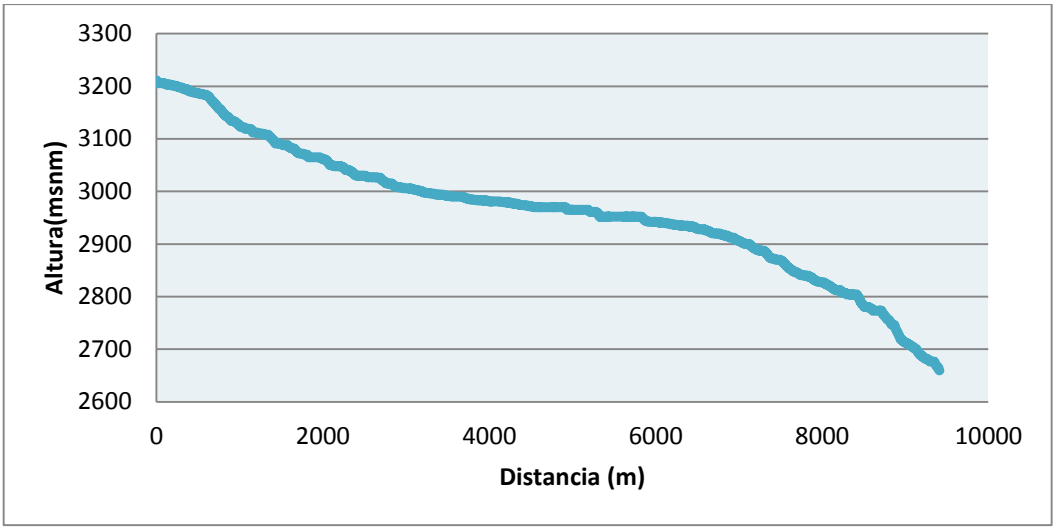

Ilustración 6: Perfil Longitudinal de una cuenca hidrográfica
Fuente: Él Autor

2.12.4. Jerarquización de la red fluvial

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca.

Horton (1945) desarrollo un sistema para ordenar los cauces de los ríos, que posteriormente fue cambiado por Strahler (1964), dicho sistema es conocido como **Horton- Strahler.**

El método de **Strahler** más común, se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente (Ibáñez Asensio,*et at*., 2008).

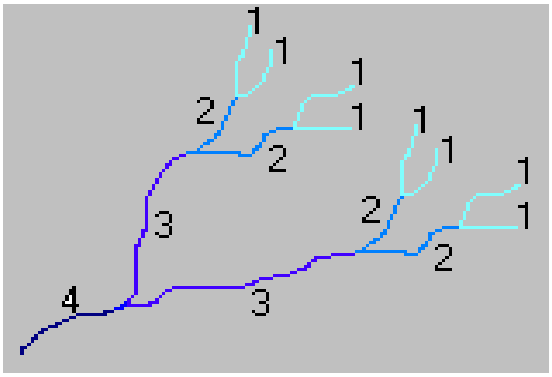

Ilustración 7: Ordenes de corriente según Strahler
Fuente: Gregory & Walling (1985)

2.12.5. Tiempo de concentración (T_c)

También denominado tiempo de respuesta, Llamas (1993) lo define como el tiempo requerido, para que durante una tormenta uniforme, alcance un estado estacionario, es decir, el tiempo requerido necesario para que todo el sistema contribuya a la generación de flujo en el punto de cierre.

Es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el punto más alejado de la cuenca que produce el cauce, al punto de desagüe o cierre de la cuenca (Monsalve, 1999).

El Tc depende de los siguientes factores:

- Del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño mayor tc
- De la topografía: a mayor pendiente, menor tc
- La forma: las cuencas alargadas presentan menores tc que las cuencas redondeadas.

A continuación se muestra algunas formula empíricas:

Kirpich;

$$T_C = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Dónde:

Tc: tiempo de concentración (min)

L=longitud del cauce principal (metros)

H=diferencia del cauce principal (metros)

Californiana

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

Dónde:

Tc: tiempo de concentración (Horas)

L =longitud del cauce principal (km)

J=pendiente del cauce principal (m/m)

Giandotti

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{JL}} * 34$$

Tc: tiempo de concentración (Horas)

L=longitud del cauce principal (km)

J=pendiente del cauce principal (m/m)

A=superficie de la cuenca (km2)

Tabla 9 : Clases de tiempo de concentración

Rangos de Tc (min)	Clases
0-41,6	Rápido
41,7-83,2	Moderado
83,3-125,1	Lento

Fuente: Fuentes (2004)

2.13. La metodología Pfafstetter

Consiste en subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, determinándose los cuatro mayores afluentes del río principal, en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuencas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5 y 7). El código 9 se reserva para la mayor área de drenaje de la parte superior (cabecera de cuenca) (Ministerio del Ambiente, 2002).

Ilustración 8: Proceso de Drenaje
Fuente: Ministerio del Ambiente (2002).

Las cuencas e intercuencas, resultantes de esa primera subdivisión, pueden ser subdivididas; tales que la subdivisión de la cuenca 8 genera las cuencas 82, 84, 86 y 88 y las intercuencas 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo proceso se aplica a las intercuencas resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las cuencas 32, 34, 36 y 38, y en las intercuencas 31, 33, 35, 37 y 39. Los dígitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la cuenca (o intercuenca) que está siendo dividida o codificada internamente.

Si un área contiene más de una cuenca interna, a la cuenca interna más grande se le asigna el código “0” y a las otras cuencas internas se las incorpora en las cuencas o intercuencas contenidas (ej. 90 ó 60).

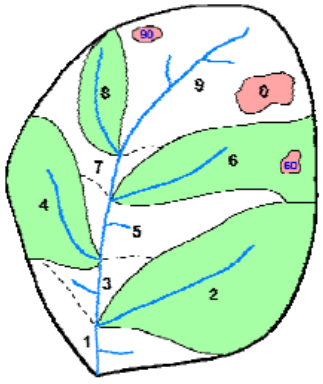

Ilustración 9: Cuenca interna

Fuente: Ministerio del Ambiente (2002).

2.13.1. Descripción de las unidades hidrográficas del Ecuador

SENAGUA[3] define que el territorio ecuatoriano comprende parte del territorio de la regiones hidrográfica 1 (vertiente del Pacífico e Islas Galápagos) y de la región hidrográfica 4 (Amazonas). El área total del territorio ecuatoriano es 256370 Km2. En la región hidrográfica 1 el área es 124563,83 Km2 y el área comprendida en la región hidrográfica 4 es 131806,17 Km2.

En la región hidrográfica 1 del territorio ecuatoriano se han determinado tres unidades hidrográficas en el nivel 2, dieciséis unidades hidrográficas en el nivel 3, ciento diecisiete unidades hidrográficas en el nivel 4 y setecientos doce unidades hidrográficas en el nivel 5.

En la región hidrográfica 4 o Cuenca Amazónica del territorio ecuatoriano se ha determinado una unidad hidrográfica en el nivel 2, dos unidades hidrográficas en el nivel 3, seis unidades

[3] SENAGUA (Secretaría nacional del agua del Ecuador)

hidrográficas en el nivel 4 y veintitrés unidades hidrográficas en el nivel 5. El número de unidades relativamente pequeño (23 en el nivel 5) es debido al gran tamaño de la cuenca amazónica (SENAGUA, 2009).

2.14. Morfología de ríos

Estudia su estructura y forma de los cauces, incluyendo la configuración del rio en planta, la geometría de las superficies transversales, la forma del fondo y las tipos del perfil (Sánchez & Maza, 1985).

2.14.1. Según su edad

Los ríos se clasifican en:

Ríos jóvenes: Se localizan en las vertientes de montaña, tienen pendientes altas y sección transversal tipo "V". Son irregulares y están en proceso de degradación.

Ríos maduros: Se encuentran en valles amplios y tienen pendientes bajas. Son ríos estables y la sección transversal en cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido.

Ríos viejos: Se localizan en valles amplios y planicies, sus pendientes son relativamente bajas.

2.14.2. Medición de los perfiles transversales de los ríos

El número de las subsecciones consideradas dependerá del ancho del cauce, por lo general en ríos menores de 3 metros de ancho se pueden coger subsecciones a intervalos de 30 cm de largo, mientras que en ríos superiores a 3 metros, subsecciones cada 50 cm. Sin embargo si se observa que el perfil del lecho del río es relativamente plano y la velocidad es más o menos constante a lo largo de todo el cauce (flujo laminar) pueden hacerse subsecciones de hasta 100 cm. Para medir el intervalo de las subsecciones (L) en campo se extenderá una cinta métrica o una cuerda previamente marcada cada 30 y 50 cm de una orilla a otra del río. Una vez decidido si se tomarán subsecciones

de 30, 50 o 100 cm de largo (L) se procederá a medir la profundidad (P) y velocidad (V) en los intervalos escogidos. Si la longitud de la última subsección medida es menor al valor de las anteriores, se registra igualmente ese valor en la ficha de datos (Acosta, et *al.*, 2014).

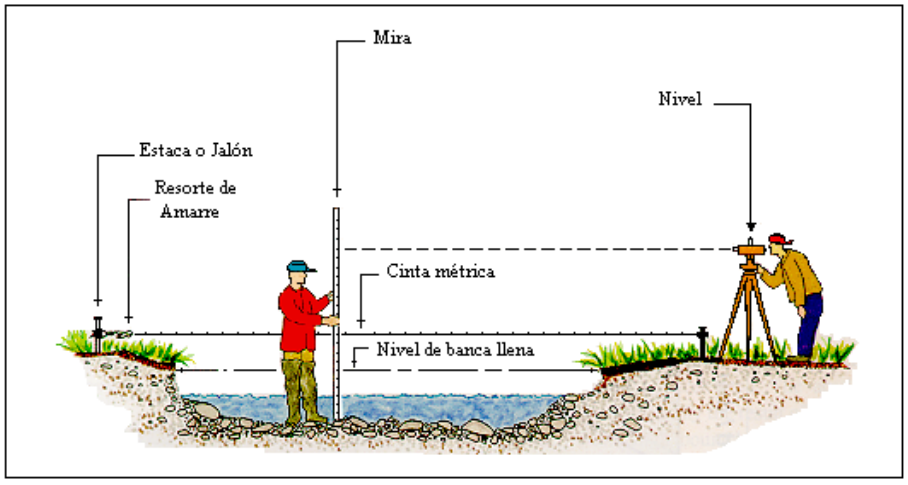

Ilustración 10: Determinación en campo de la sección llena
Fuente: Dunne & Leopold (1978).

2.15. Análisis granulométrico

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración indicado en la ilustración 11.

2.15.1. Proceso mecánico

Es un proceso mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor (Tamiz No 200) como limo, Arcilla y Coloide. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños. Los granos que conforman el

suelo y tienen diferente tamaño, van desde los grandes que son los que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos pequeños, los que no se pueden ver con un microscopio. Los análisis granulométricos se realizaran mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferentes enumeraciones, dependiendo de la separación de los cuadros de la malla. Los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas. Para el ensayo o el análisis de granos gruesos será muy recomendado el método del Tamiz; pero cuando se trata de granos finos este no es muy preciso, porque se le es más difícil a la muestra pasar por una maya tan fina; Debido a esto el análisis granulométrico de granos finos será bueno utilizar otro método.

La gráfica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren al porcentaje en peso de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo un suelo constituido por partículas de granulometría uniforme que corresponde generalmente a la arenas está representado por una línea casi vertical (Díaz, *et at*., 2012).

Tamiz (ASTM)	Tamiz (Nch) (mm.)	Abertura real (mm.)	Tipo de suelo
3 "	80	76,12	GRAVA
2 "	50	50,80	
1 1/2 "	40	38,10	
1 "	25	25,40	
3/4 "	20	19,05	
3/8 "	10	9,52	
N° 4	5	4,76	ARENA GRUESA
N° 10	2	2,00	ARENA MEDIA
N° 20	0,90	0,84	
N° 40	0,50	0,42	
N° 60	0,30	0,25	ARENA FINA
N° 140	0,10	0,105	
N° 200	0,08	0,074	

Ilustración 11: Tabla de numeración y abertura de tamices.
Fuente: Espinace (1979)

2.16. Manejo de microcuencas en Ecuador

En nuestro país la gestión de cuencas ha estado encaminado a afrontar los problemas de abastecimiento de agua para la producción de energía eléctrica, alimentación de acueductos y en pequeña proporción para el riego de cultivos de exportación; mediante el desarrollo de investigaciones con fines de gestión del uso del suelo y protección de las fuentes de captación del recurso hídrico (Aguirre, 2011).

Entre uno de los primeros problemas que afectan al manejo de cuencas del Ecuador es esencialmente su diversidad de condiciones ambientales, aspectos que han implicado, a realizar una multiplicidad de estudios. Así, hay cuencas en las que la demanda de agua ha superado la disponibilidad natural (subcuenca del río Pastaza), mientras que hay otras que con exceso de agua e inundaciones (cuenca del río Guayas); y otras son afectadas por intensos procesos erosivos (subcuenca alta del río Jubones). El deterioro de los sistemas hidrográficos del Ecuador está siendo afectado por altos grados de deforestación de la cobertura vegetal, por procesos erosivos, por elevados índices de contaminación del agua y del suelo.

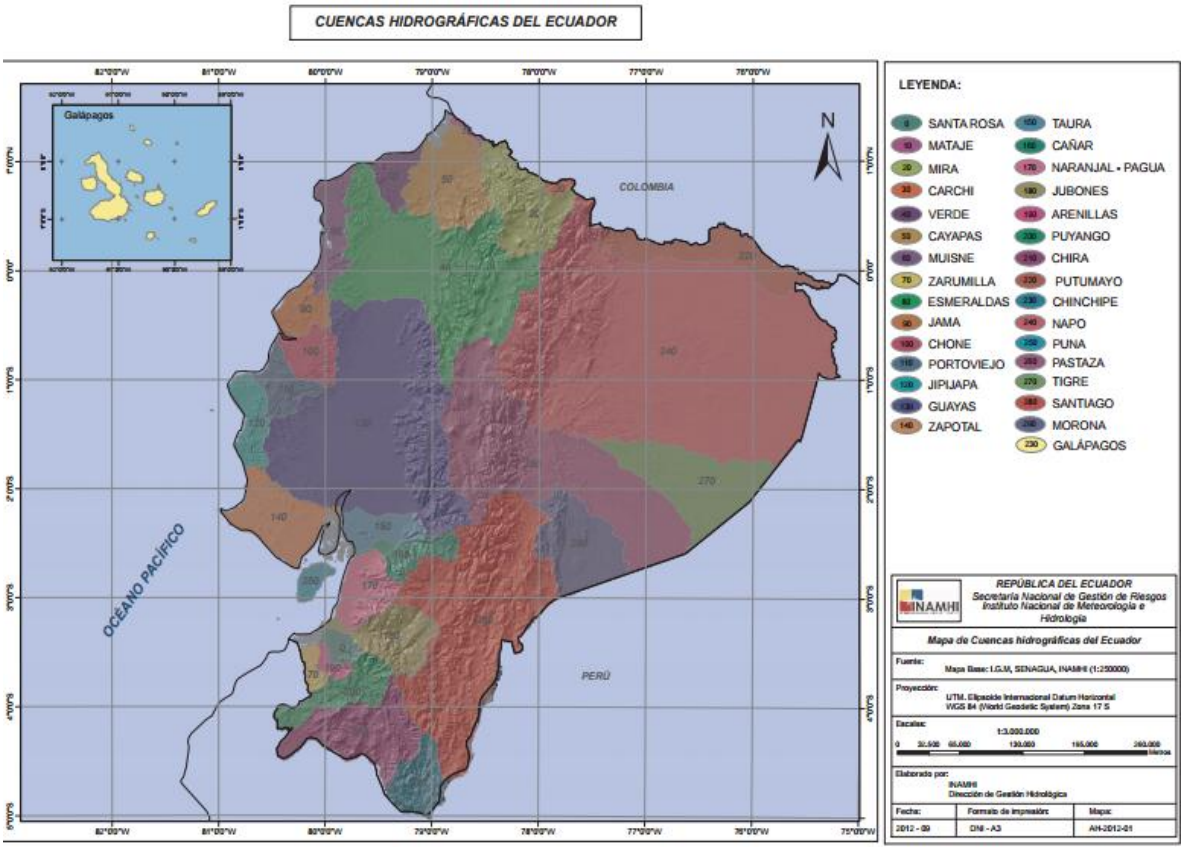

Ilustración 12: Clasificación de las cuencas hidrográficas del Ecuador
Fuente: I.G.M, SENAGUA & INAMHI (2012)

2.17. Características de la cuenca del Paute

La cuenca hidrográfica del río Paute se ubica en la región austral del Ecuador a 125 Km de la ciudad Cuenca, en el cantón Sevilla de Oro, se localiza en el Proyecto Hidroeléctrico Paute que aprovecha el caudal del río cuyas aguas se precipitan en el sector denominado "Cola de San Pablo", ubicada entre las Cordilleras Oriental (limite este) y Occidental de los Andes (límite oeste); y entre los Nudos de Curiquinque (límite norte) y de Portete (límite sur).

La superficie de la cuenca del río paute es compartida por los territorios de tres provincias: Azuay (57%), Cañar (24%) y Morona Santiago (19%) (Cordero Domínguez, 2013).

PROVINCIA	SUPERFICIE Km2	%	CANTONES EN LA CUENCA DEL RIO PAUTE
Azuay	3636.0	56.5	11 de 14
Cañar	1547.9	24.0	4 de 7
Morona Santiago	1255.2	19.5	6 de 10
TOTAL	6439.3	100	21

Ilustración 13: Área por provincia perteneciente a la Cuenca del rio Paute
Fuente: Plan maestro de la cuenca del rio Paute. Elaborado: Cordero I, D. Tesis Mg. año 2013.

Está conformada por 19 subcuentas hidrográfica, el área más grande, es la subcuenca del río Negro, localizada en la cuenca baja del río Paute, mientras que la subcuenca más pequeña es la del río Sidcay ubicado en la cuenca alta del mismo.

CODIGO	NOMBRE	AREA (Km2)	PORCENTAJE
1	Burgay	447	6.9
2	Collay	242	3.8
3	Aporte directo de Cuenca	121	1.9
4	Jadán	297	4.6
5	Juval	427	6.6
6	Machangara	326	5.1
7	Magdalena	51	0.8
8	Mazar	166	2.6
9	Aporte directo Paute	448	6.9
10	Paute bajo	525	8.2
11	Pindilig	168	2.6
12	Pulpito	169	2.6
13	Negro	787	12.2
14	Santa Bárbara	947	14.7
15	Sidcay	43	0.7
16	Tarqui	476	7.4
17	Tomebamba	334	5.2
18	Yanuncay	410	6.38
19	Aporte Directo	55	0.9
	TOTAL	**6439**	**100%**

Ilustración 14: Cuadro de áreas por subcuencas
Fuente: Plan maestro de la cuenca del rio Paute. Elaborado: Cordero I, D. Tesis Mg. año 2013.

2.17.1. Las partes de la cuenca del rio Paute

Cuenca Alta: Presenta un clima frío semi-húmedo con altitudes entre 2 600 y 4600 msnm. Su vegetación típica de páramo con cultivos de cereales y hortalizas.

Cuenca Media: Comprende el área entre los 2 200 y 2 600 msnm, de clima templado semi-húmedo. En esta zona son los asentamientos poblacionales. La actividad agrícola predominante constituida por pastos, caña de azúcar, frutales y cultivos de exportación como las flores en Paute.

Cuenca baja: Se desarrolla aproximadamente en altitudes comprendidas entre 500 y 2200 msnm, de clima meso-térmico húmedo. La vegetación predominante está constituida por bosque natural desarrollada en pendientes fuertes, los asentamientos y la agricultura son incipientes con cultivos en pequeñas áreas en especial en las vegas de los ríos. En esta zona se localiza el principal proyecto hidroeléctrico (Cordero Domínguez, 2013).

2.17.2. Áreas protegidas de la cuenca del rio Paute

Las áreas protegidas de la cuenca del río Paute se encuentran ubicados parte de los parques nacionales de Cajas y de Sangay.

BOSQUES PROTECTORES	AREA TOTAL DE ABVPS SIN INTERSECCION Km2	AREAS DENTRO DE PARQUES NACIONALES Km2	AREAS DENTRO DEL SNAP km2
Dudas Maza	753.05	701.80	51.25
Machángara-Tomebamba	393.64	3.16	390.48
Allcuquiro	67.96		67.96
Rumicruz	30.32		30.32
Cubilan	9.91		9.91
Pichahuayco	8.32		8.32
Cerro Guabidula	6.99	5.74	1.25
Collay	94.73		94.73
Fierroloma	2.26	0.29	1.97
Dudashuaycu	19.64		19.64
Yunguilla	44.51		44.51
Aguarongo	20.80		20.80
Yanuncay –Irquis	320.29		320.29
Sunsun-Yanasacha	44.21		44.21
Yunga	8.51		8.51
Sta. Bárbara-Rio Shio	114.76		114.76
Totorillas	7.71		7.71
Totoracocha	4.11		4.11
Guarongo	20.26		20.26
Moya-Molón	97.76		97.76
TOTAL	**2069.75**	**710.99**	**1358.76**
		TOTAL AREA PARQUES NACIONALES	**1221.64**
		TOTAL AREAS PROTEGIDAS	**2580.40**
		% DE CUENCA PROTEGIDA	**40.07**

Ilustración 15: Área de bosques protectores dentro del sistema nacional de Áreas protegidas
Fuente: mapa.343-amb-002-areas protegidas y bosques protectores. Sistema nacional de áreas protegidas, 2001, escala 1: 250.00. Elaborado: Cordero I, D. Tesis Mg. año 2013.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño

El proyecto se llevó a cabo de carácter detallado aplicando la metodología de la herramienta Hidrólogy del programa Arcgis 10.3 para la determinación de la morfología de las microcuencas del BVPA, obteniendo los valores de cada parámetro y con ello el análisis respectivo.

La recopilación de datos se realizó a través de búsqueda, compilación, análisis y clasificación de bibliografía, estudios anteriores y publicaciones tanto del tema como del área de estudio.

El proceso fue el siguiente:

- Se realizó una lista de las fuentes de información: universidades, instituciones públicas y privadas, bibliotecas, etc.
- Una vez recogido la información se determinó el proceso de análisis y clasificación de las microcuencas del BVPA mediante el modelo digital del terreno (MDT) de la zona de estudio, de 3x3m pixel.
- Se calculó todos los parámetros morfométricos de las microcuencas y su red de drenaje mediante el MDT y se realizó en el campo el levantamiento de los cauces a través del GPS y la hoja topográfica impresa a escala 1:50 000 del cantón Gualaceo, para poder coincidir los datos con el MDT mediante el programa del Argis.10.3.
- Se realizó el análisis granulométrico del sustrato de los cauces de las microcuencas BVPA1 y BVPA2 mediante tal metodología.
- Se determinó los perfiles transversales de los cauces de las microcuencas BVPA1 y BVPA2 mediante la estación total, regleta y cinta métrica.
- Con la geo información y los datos de campo y laboratorio se procedió a realizar la discusión y el análisis respectivo.

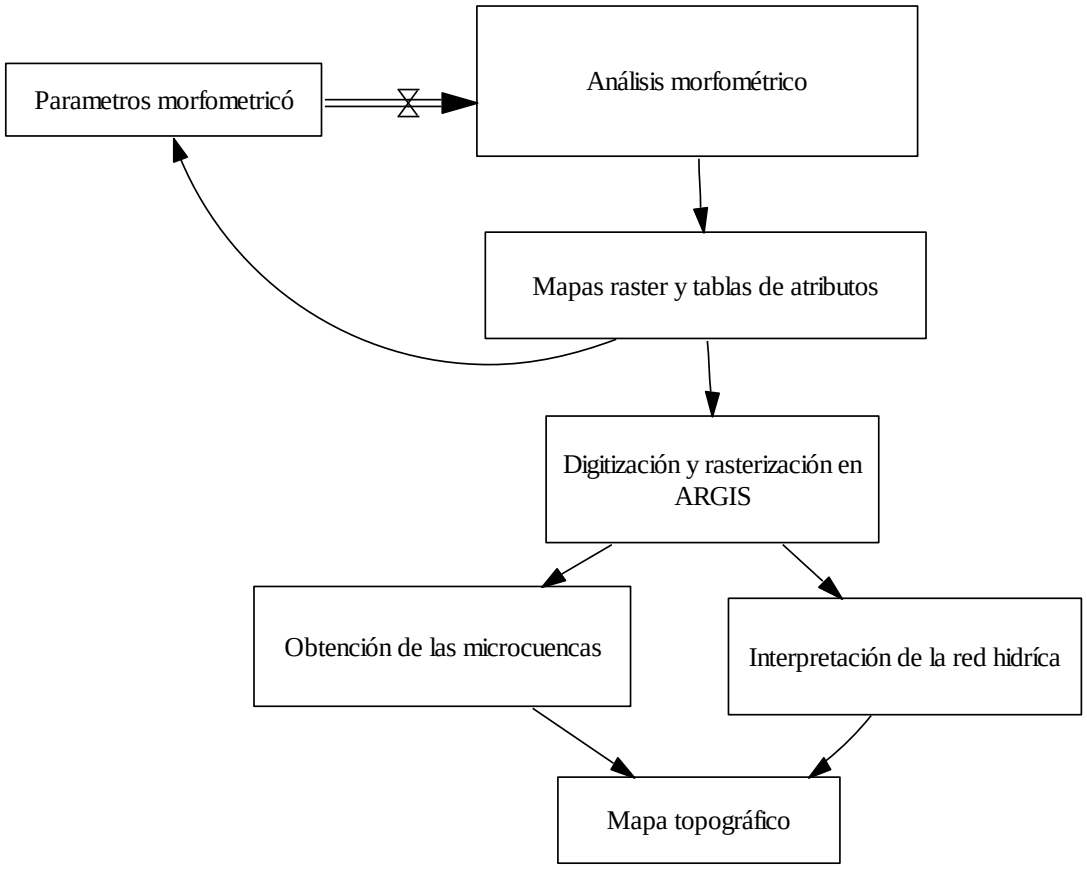

Ilustración 16: Diagrama del Proyecto
Elaboración: El Autor

3.2. Materiales y equipos

- MDT de 3x3 metros de resolución espacial.
- Software Arcgis 10.3
- Computadora hp Pavilon.
- Carta topográfica nacional del Instituto Geográfico Nacional del cantón Gualaceo, Sigsig, Cuenca , a escala 1:50000
- GPS Garmin.

3.3. Población y muestra

El proyecto de investigación se manejó con información específica, ya que el BVPA está delimitada por diferentes parroquias, de los cuales es difícil de comprender su población y muestra, podemos definir que su población está representada por sus parroquias, y la muestra del proyecto es simbolizada por el MDT que se obtuvo de la universidad del Azuay (UDA) en un tiempo percibido entre los años 2016 y 2017.

3.4. Consideraciones éticas

El actual proyecto de titulación da a conocer los parámetros éticos:

- La información fue analizada y detallada de forma actual.
- La investigación trata de motivar para la realización de nuevos proyectos en el BVPA.
- Promueve la participación entre las universidades de la ciudad de Cuenca para fomentar la protección y conservación del BVPA en la provincia del Azuay.

3.4.1. Delimitación de las unidades hidrográficas

La delimitación de microcuencas es a partir de un MDT, se realizó mediante el uso de Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Hidrology las cuales son herramientas que ayudan a modelar el flujo de agua a través de una superficie.

Pre-requisito:

Tener activa la extensión 3D Analyst

Tener activa la herramienta 3D Analyst

Utilizar el modelo digital de Terreno (MDT)

Procedimiento:

Se presenta un MDT (Modelo Digital de Terreno). Su característica es 3x3m de celda.

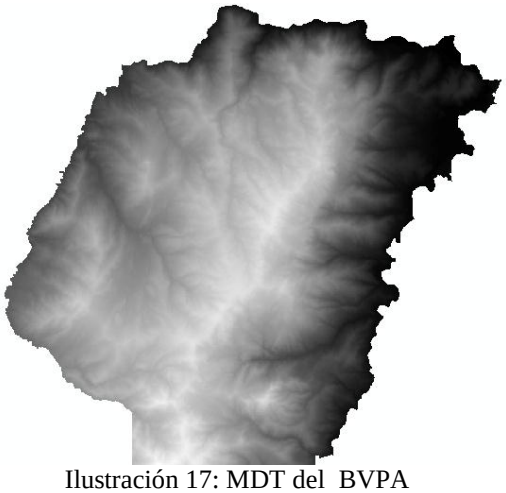

Ilustración 17: MDT del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.2. Fill

Mediante esta herramienta se rellena todas aquellas imperfecciones que se ven en la superficie del MDT, que ayuda a asegurar una delineación adecuada de las microcuencas y arroyos, la finalidad es que se corrija los sumideros erróneos y los picos para que la superficie alcance un nivel de terreno similar a los que están alrededor. Para esto se utilizó la herramienta de Spatial Analyst Tools >Hidrology>Fill.

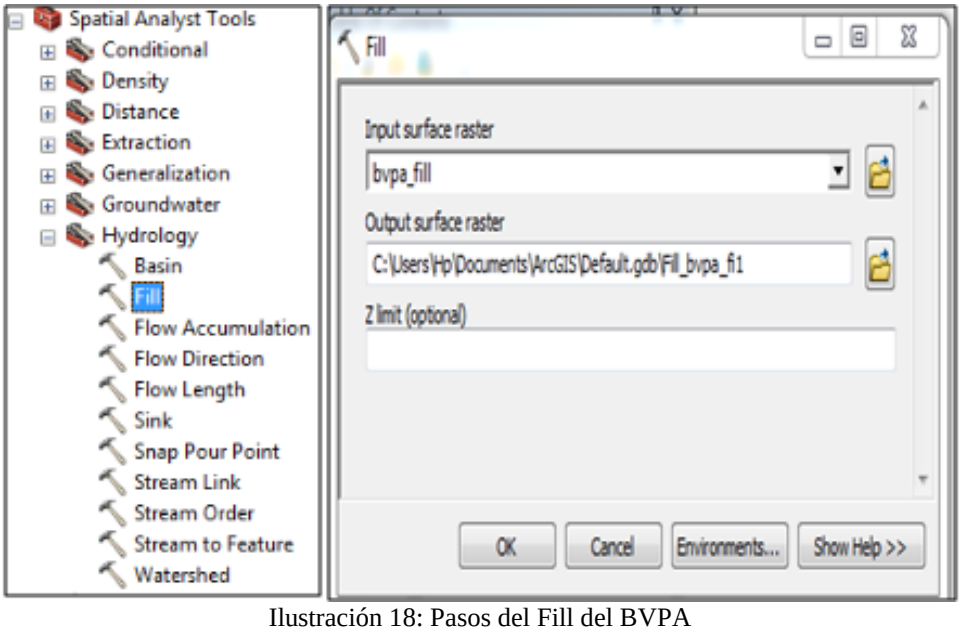

Ilustración 18: Pasos del Fill del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

Nota: Z limit (optional) Se debe tener en cuenta el punto Z, indica la máxima profundidad de las imperfecciones que se quiere rellenar, si existen valores mayores o más altos, simplemente no se rellenarán. Además cuando utilizamos esta herramienta y no colocamos ningún valor, éste se completará totalmente sin tomar en cuenta la profundidad.

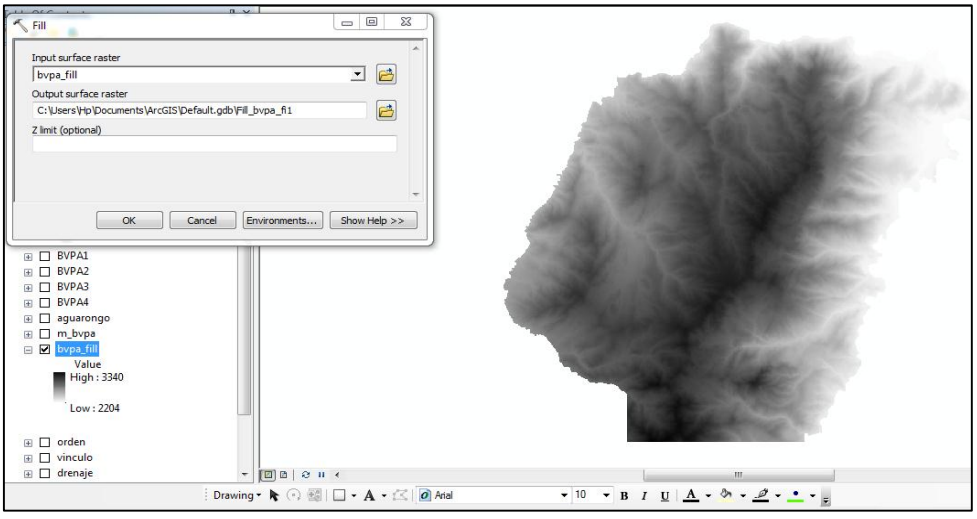

Ilustración 19: Fill del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.3. Flow direction

Este parámetro genera un ráster que contendrá la dirección de flujos en cada una de sus celdas. Esta herramienta es manejada para obtener la orientación de las laderas y la dirección de las pendientes de descenso para cada celda de la superficie. Para esto se utiliza la herramienta de Spatial Analyst Tools >Hidrology>Flow Direction.

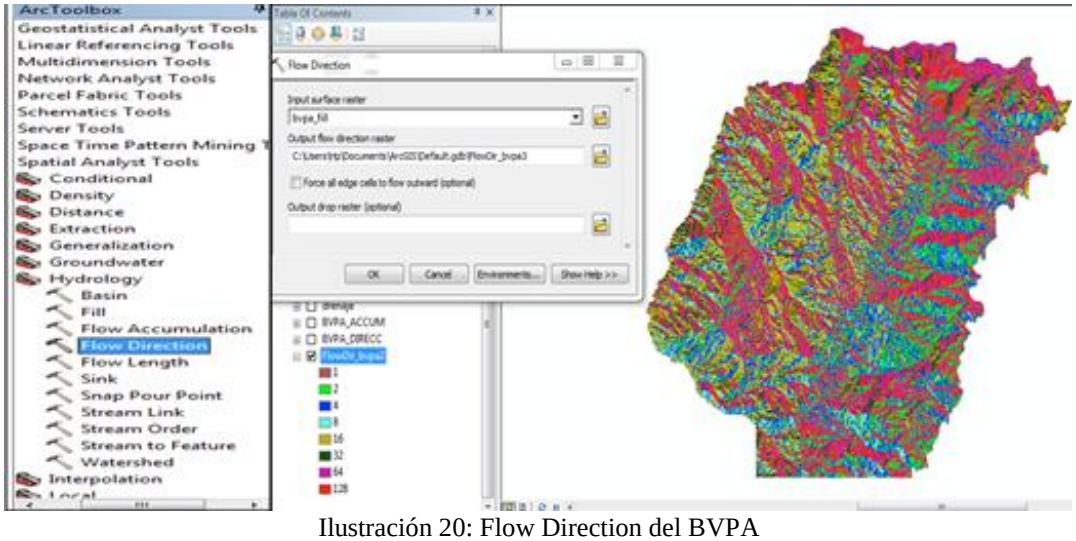

Ilustración 20: Flow Direction del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.4. Flow accumulation

Esta herramienta se caracteriza por generar un ráster con el flujo acumulado para cada una de sus celdas, sé calculó el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas rápidamente aguas abajo de ella.

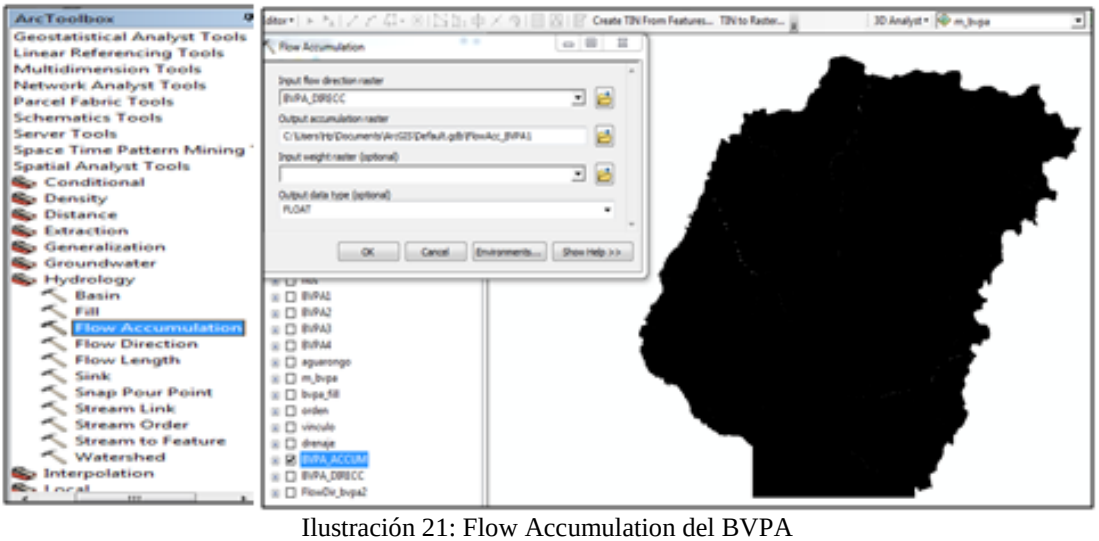

Ilustración 21: Flow Accumulation del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.5. Raster calculator

Permitió crear y ejecutar una expresión de álgebra de mapas que generará como salida un ráster. En esta fase se dividen las celdas con acumulación de flujo mayor a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red hidrográfica; se debe tratar qué valor sería el más adecuado, ya que si el valor de acumulación es muy pequeño muchos pixeles serán escogidos como pertenecientes a la red hídrica, si por el contrario, el valor del pixel es muy alto solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica.

En este caso el umbral más indicado para determinar la red hídrica fue 10000.

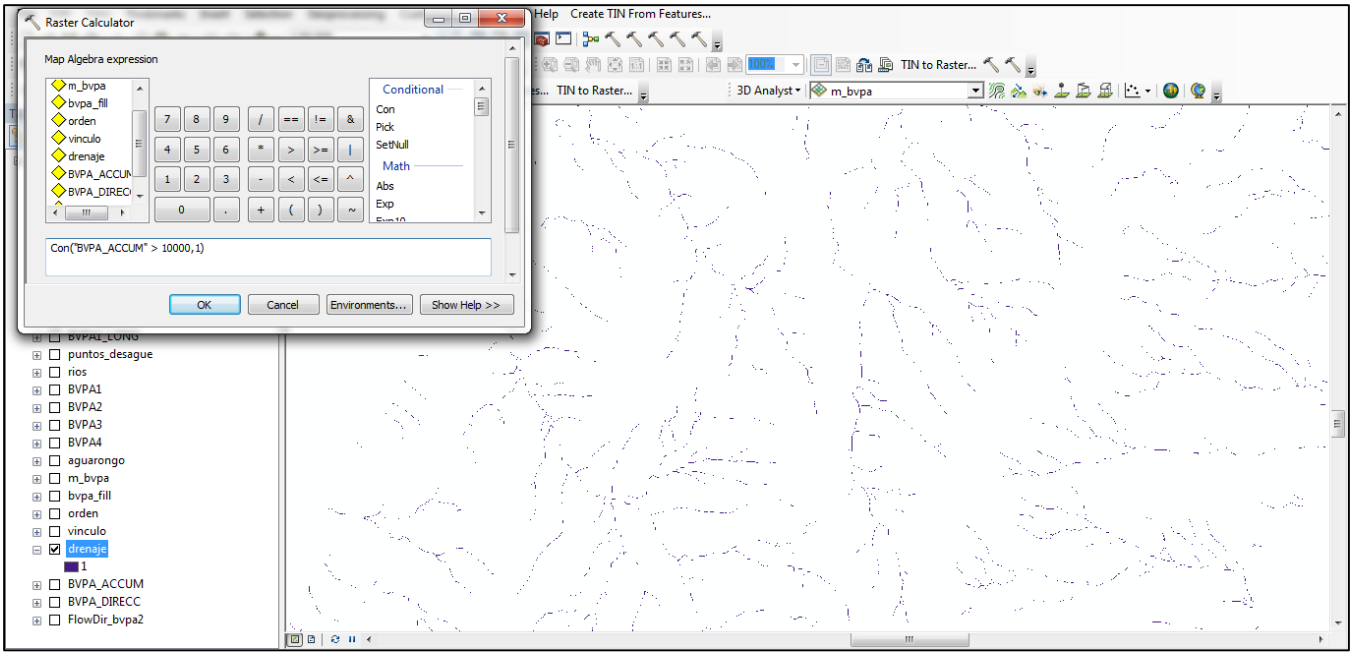

Ilustración 22: Raster calculator del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.6. Stream Link

Esta herramienta asigna un valor único a las celdas de la misma sección del cauce. Clasifica el río en segmentos no interrumpidos. Es decir que dichas áreas en las que se divide el recorrido del

flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje.

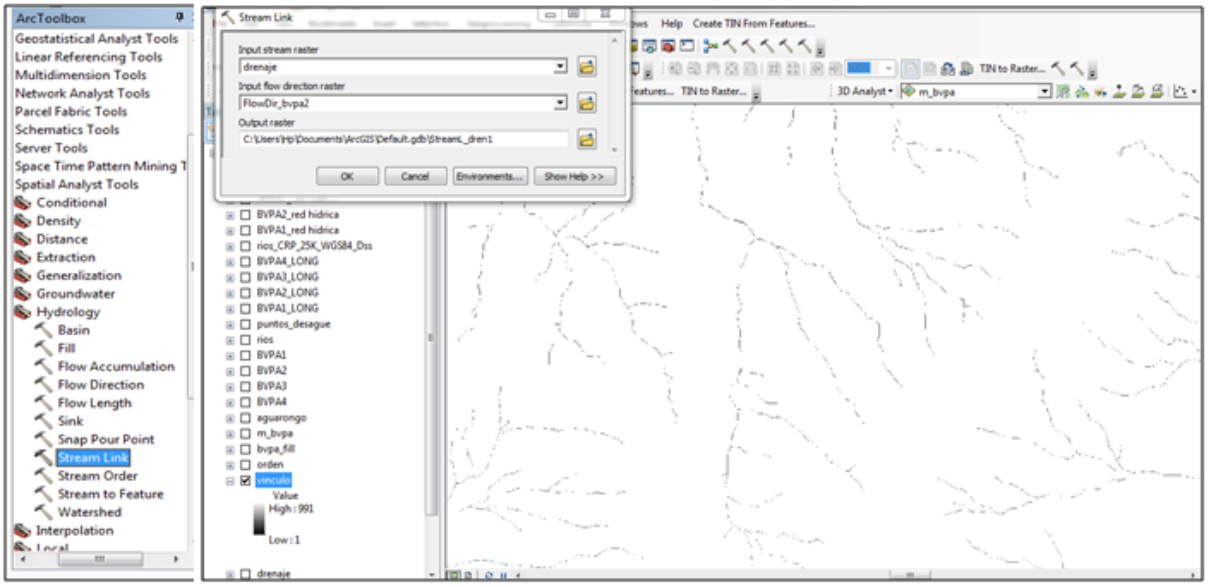

Ilustración 23: Stream Link del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.7. Stream Order

Es una herramienta, útil que crea un raster del orden de las corrientes, se ocupa de la jerarquía de los arroyos desde la fuente o cabeceras hacia aguas abajo su método de jerarquía es Strahler.

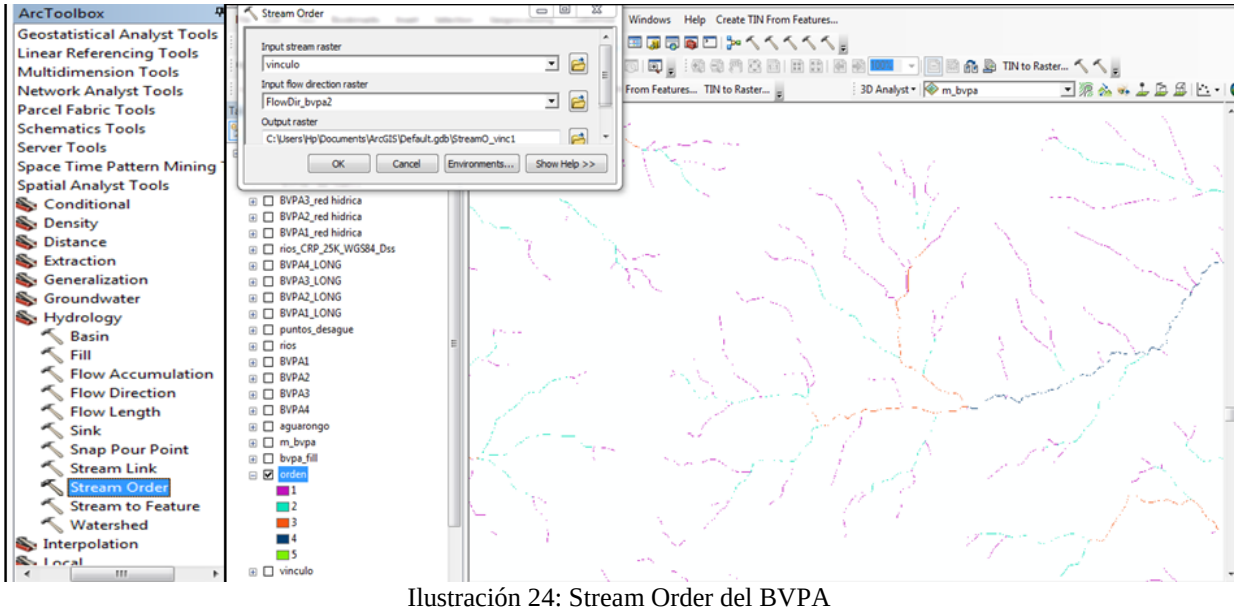

Ilustración 24: Stream Order del BVPA

Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.8. Stream to Feature

Es una herramienta que convierte el ráster a vector, es decir que la entidad geográfica representada por celdas o pixel es transformada en forma geométrica (puntos, líneas, polilíneas y polígonos).Se crea un shape o capa de drenaje.

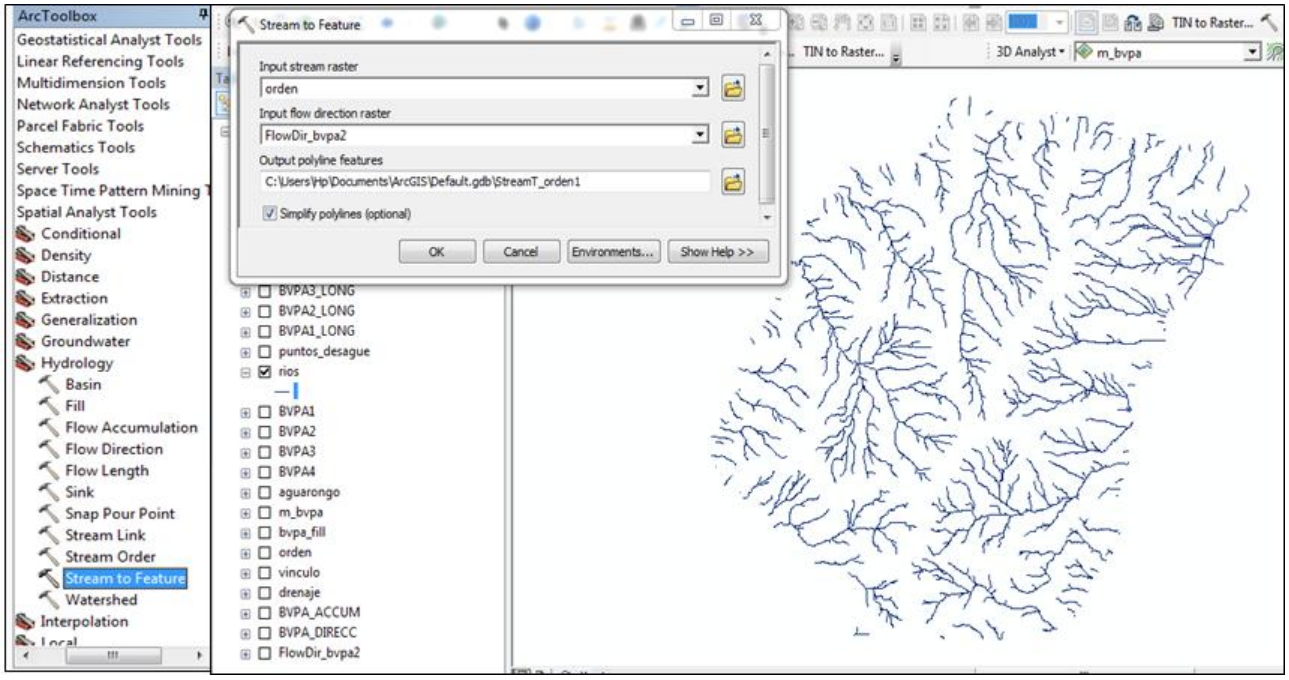

Ilustración 25: Stream to Feature del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.9. Feature vértice to point

Calcula los puntos donde se cortan cada uno de los drenajes, es decir transformando los vértices a punto, para este caso nos interesan los puntos finales que es donde hay acumulación de flujo. Procedimiento sería así: ArcToolsbox, luego Data Management tools, seguido de Feature y finalmente Feature Vertice to Point.

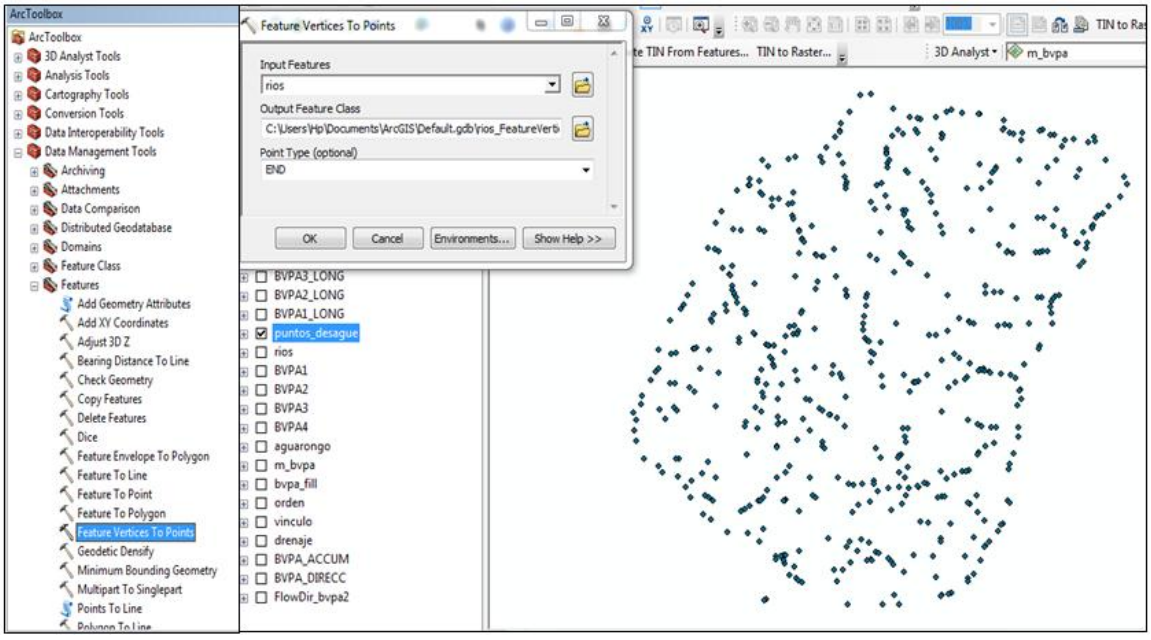

Ilustración 26: Feature vértice to point del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

3.4.10. Watershed

Esta herramienta puede delimitar una cuenca, subcuenca o microcuenca, igual al número de secciones de ríos que hay en la red hidrográfica.

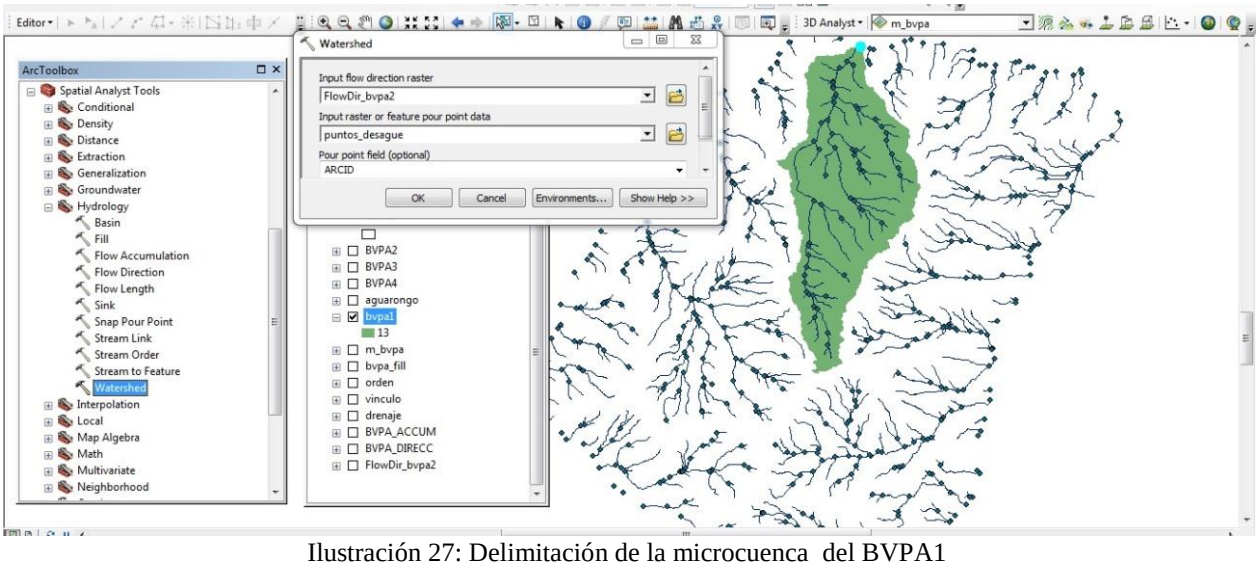

Ilustración 27: Delimitación de la microcuenca del BVPA1
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

Hasta aquí se explicó las herramientas que se siguieron en el programa Arcgis 10.3, para la determinación de los parámetros morfométricos de las microcuencas estudiadas.

3.5. Análisis granulométrico en el laboratorio

Se procedió analizar en el laboratorio tres muestras de suelo en la microcuenca BVPA1 y dos muestras en la microcuenca BVPA2, con el objetivo de determinar el tipo de sustrato de suelo en las microcuencas para poder estudiar si existe infiltración en las aguas subterráneas.

Materiales:

- Un juego de tamices (ASTM) de 10, 20, 40, 50, 140, 170, 200 y la base.
- Espátula y mortero
- Una bandeja de aluminio
- Estufa
- Un vibrador mecánico
- Una balanza

Procedimiento:

Se homogenizó cuidadosamente el total de la muestra en estado natural (desmenuzándola con un espátula o mortero), tratando de evitar romper sus partículas individuales, especialmente si se trata de un material blando, piedra arenosa u otro similar.

Ilustración 28: Homogenización de la muestra de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Se seca el material dentro de una estufa a una temperatura de 60ºC, durante un tiempo de dos días. Cuando está totalmente seca, se obtiene la cantidad del peso total de la muestra seca.

Ilustración 29: Secado del material de la muestra de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Se deposita el material en la criba superior del juego de tamices, los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente desde el tamiz Nº10 hasta la base. El juego deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la inferior. Se hace vibrar el conjunto durante 15 minutos, tiempo después del cual se retira del vibrador.

Ilustración 30: Material depositado en el vibrador eléctrico de la muestra de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Se registró cada peso en gr en la balanza con la bandeja aluminio de la muestra retenida en cada tamiz Nº10, Nº20, Nº40, Nº50, Nº140, Nº170 y Nº200.

Ilustración 31: Pesaje de la muestra de la microcuenca BVPA1 por cada tamiz
Elaboración: El Autor

3.6. Medición de los perfiles transversales en los cauces

Se tomó dos puntos geográficos para la realización de mediciones de perfiles transversales en los cauces de la microcuenca BVPA1 y un punto geográfico en la microcuenca BVPA2.

Materiales

- GPS
- Estación total
- Trípode
- Regleta
- Cinta métrica
- Varillas

Procedimiento:

Se colocó las dos varillas a los extremos del ancho del cauce y se pone la cinta métrica entre las dos varillas.

Se niveló la estación total con el trípode y la mira se pone frente a la regleta.

Se va registrando la distancia del ancho del cauce con la cinta métrica y la profundidad del rio con la regleta.

Se manejó una tabla u hoja de Excel, que grafique el perfil del río, y se muestra como adjunto en el Anexo en la tabla 31,32 y 33.

4. Resultados y Discusión

La delimitación de las microcuencas se realizó con el software Arcgis 10.3, el cauce principal de la microcuenca BVPA1 es la quebrada Chaquilcay, el cauce principal de la microcuenca BVPA2 es la quebrada Chuyacacha, el cauce principal de la microcuenca BVPA3 es la quebrada Huayrapungu y el cauce principal de la microcuenca BVPA4 es la quebrada Quillosisa.

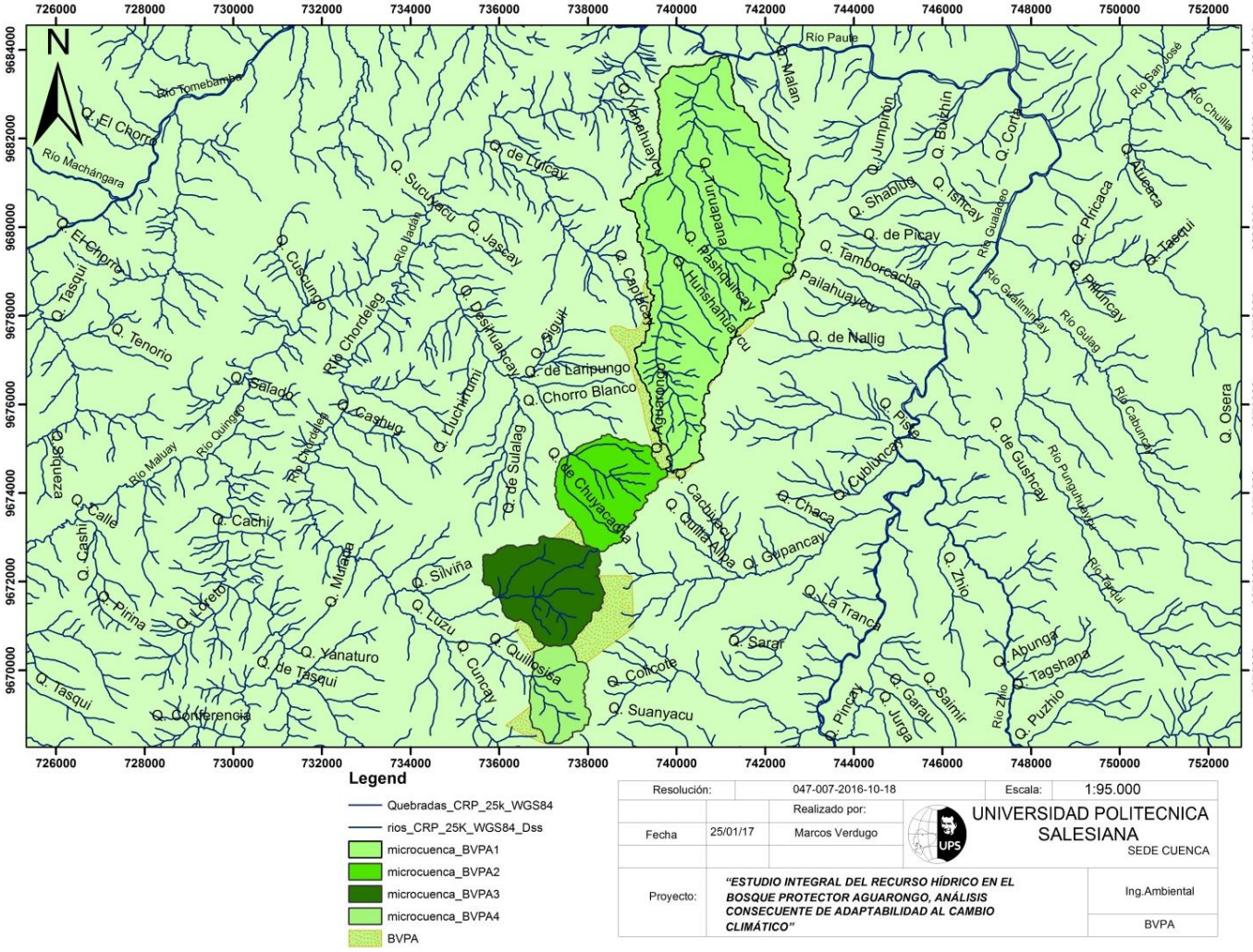

Ilustración 32: Delimitación de las microcuencas del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

A continuación se muestra una sucesión de tablas y graficas que explican el comportamiento hidrológico de las microcuencas estudiadas, mediante los paramentos morfométricos.

Tabla 10: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA1

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Área de la microcuenca	km²	20,92
Perímetro	km	26,26
Cota máxima de la microcuenca	msnm	3242
Cota mínima de la microcuenca	msnm	2274
X centroide de la microcuenca	m	740745
Y centroide de la microcuenca	m	9679427
Z centroide de la microcuenca	msnm	2839
Altura Media (H)	msnm	2951
DA	m	968
Índice de Compacidad o de Gravelius	Adimensional	1,62
Coeficiente De Masividad (km)	km	0,14
Ancho de la microcuenca	km	1,70
Pendiente media de la cuenca	%	34,47
Longitud del cauce principal	km	12,28
Orden del cauce principal	Adimensional	4
Longitud de la red hídrica	km	58,73
Densidad de drenaje	km/km²	2,81
Tiempo de concentración kirpich (tc)	min	73,05
Tiempo de concentración californiana (tc)	min	72,66
Tiempo de concentración promedio (tc)	min	72,86
Pendiente media del cauce principal	km/km	0,08

Elaboración: Él Autor

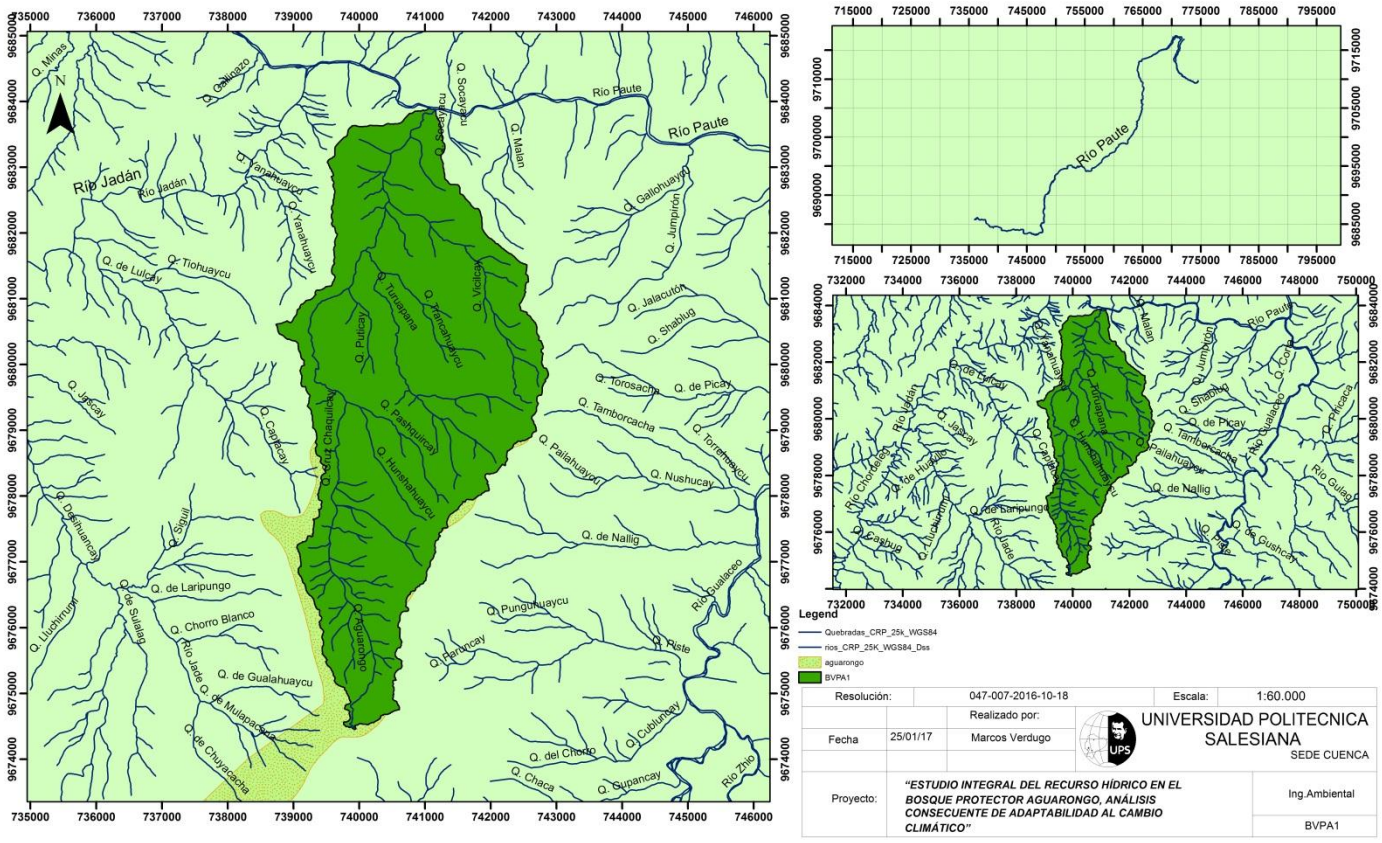

Ilustración 33: Mapa base de la microcuenca BVPA1
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

Tabla 11: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA2

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Área de la microcuenca	km²	4,21
Perímetro	km	8,98
Cota máxima de la microcuenca	msnm	3232
Cota mínima de la microcuenca	msnm	2868
X centroide de la microcuenca	m	738470
Y centroide de la microcuenca	m	9674067
Z centroide de la microcuenca	msnm	3082

Altura Media (H)	msnm	3083,8
DA	m	364
Índice de Compacidad o de Gravelius	Adimensional	1,23
Coeficiente De Masividad (km)	km	0,73
Ancho de la microcuenca	km	1,36
Pendiente media de la cuenca	%	30,25
Longitud del cauce principal	km	3,10
Orden del cauce principal	Adimensional	3
Longitud de la red hídrica	km	10,67
Densidad de drenaje	km/km²	2,53
Tiempo de concentración kirpich (tc)	min	21,72
Tiempo de concentración californiana (tc)	min	21,61
Tiempo de concentración promedio (tc)	min	21,67
Pendiente media del cauce principal	km/km	0,12

Elaboración: Él Autor

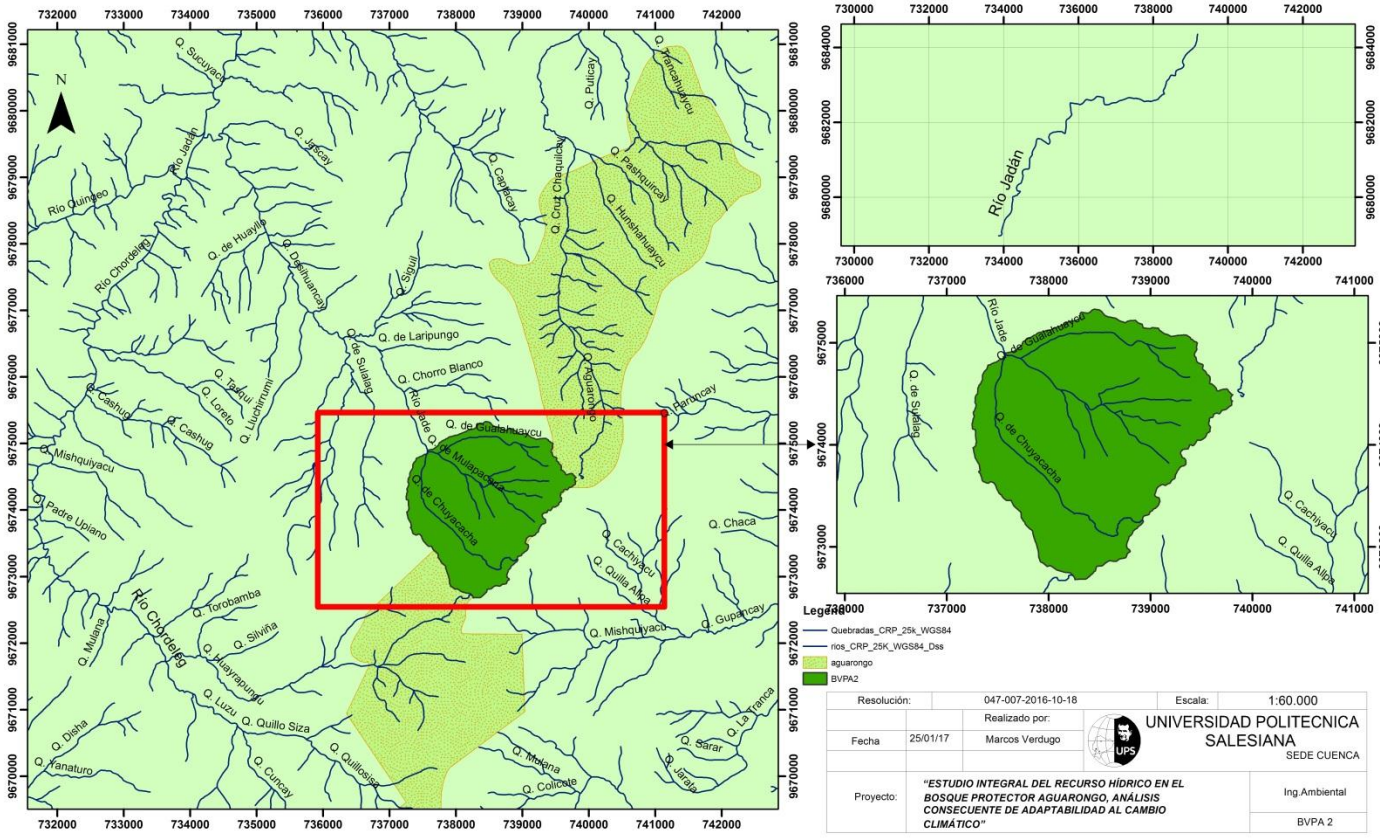

Ilustración 34: Mapa base de la microcuenca BVPA2
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: Él Autor

Tabla 12: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA3

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Área de la microcuenca	km²	4,76
Perímetro	km	9,33
Cota máxima de la microcuenca	msnm	3283
Cota mínima de la microcuenca	msnm	2940
X centroide de la microcuenca	m	737044
Y centroide de la microcuenca	m	9671834
Z centroide de la microcuenca	msnm	3125
Altura Media (H)	msnm	3078,04

DA	m	343
Índice de Compacidad o de Gravelius	Adimensional	1,21
Coeficiente De Masividad (km)	km	0,65
Ancho de la microcuenca	km	1,52
Pendiente media de la cuenca	%	30,53
Longitud del cauce principal	km	3,12
Orden del cauce principal	Adimensional	3
Longitud de la red hidrica	km	10,71
Densidad de drenaje	km/km²	2,25
Tiempo de concentración kirpich (tc)	min	22,40
Tiempo de concentración californiana (tc)	min	22,28
Tiempo de concentración promedio (tc)	min	22,34
Pendiente media del cauce principal	km/km	0,11

Elaboración: Él Autor

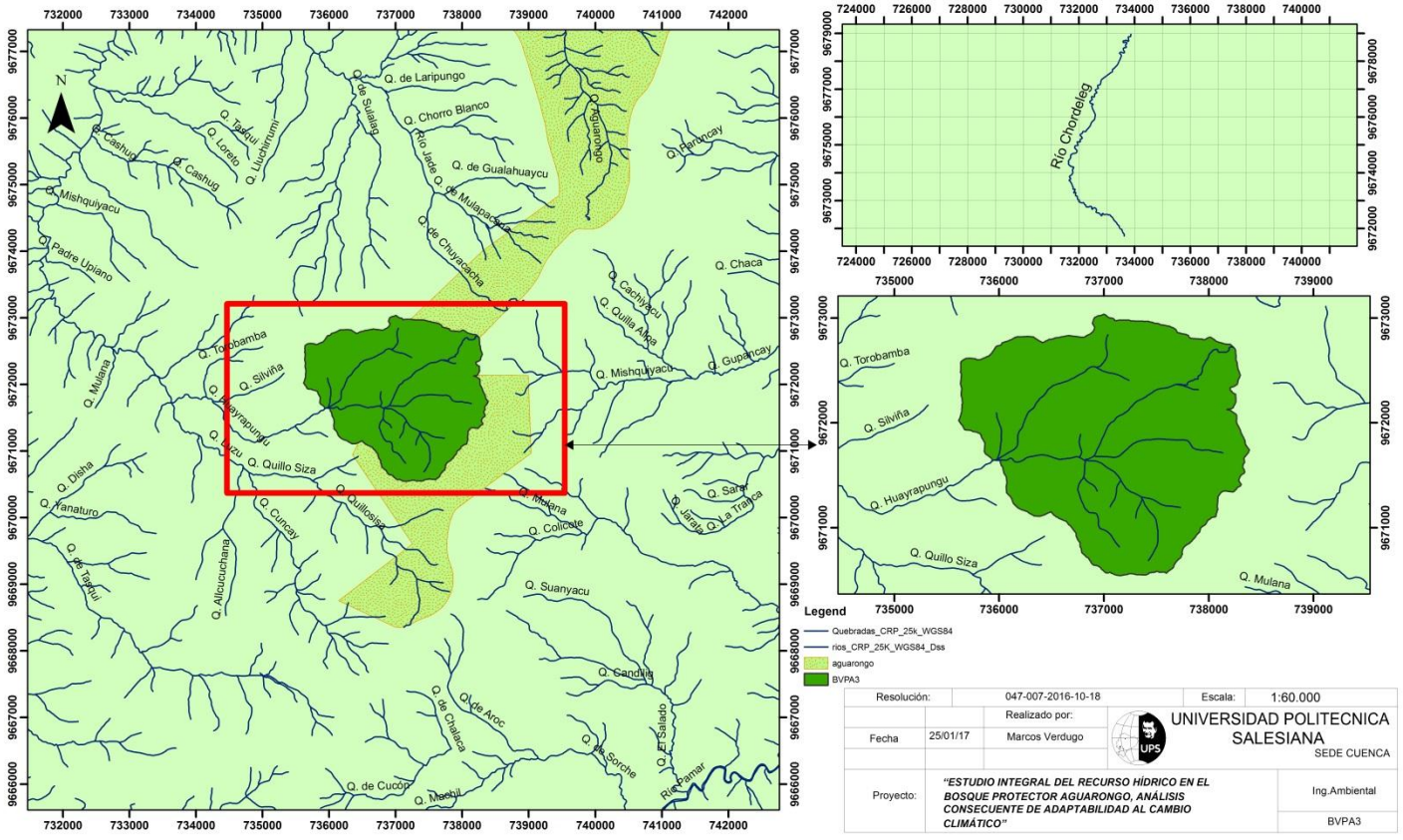

Ilustración 35: Mapa base de la microcuenca BVPA3
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: Él Autor

Tabla 13: Parámetros morfométricos de la microcuenca BVPA4

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Área de la microcuenca	km²	2,43
Perímetro	km	6,72
Cota máxima de la microcuenca	msnm	3340
Cota mínima de la microcuenca	msnm	2974
X centroide de la microcuenca	m	737337
Y centroide de la microcuenca	m	9669479
Z centroide de la microcuenca	msnm	3201

Altura Media (H)	msnm	3142,33
DA	m	366
Índice de Compacidad o de Gravelius	Adimensional	1,22
Coeficiente De Masividad (km)	km	1,30
Ancho de la microcuenca	km	1,11
Pendiente media de la cuenca	%	42,09
Longitud del cauce principal	km	2,19
Orden del cauce principal	Adimensional	3
Longitud de la red hídrica	km	5,11
Densidad de drenaje	km/km²	2,11
Tiempo de concentración kirpich (tc)	min	14,51
Tiempo de concentración californiana (tc)	min	14,43
Tiempo de concentración promedio (tc)	min	14,47
Pendiente media del cauce principal	km/km	0,17

Elaboración: Él Autor

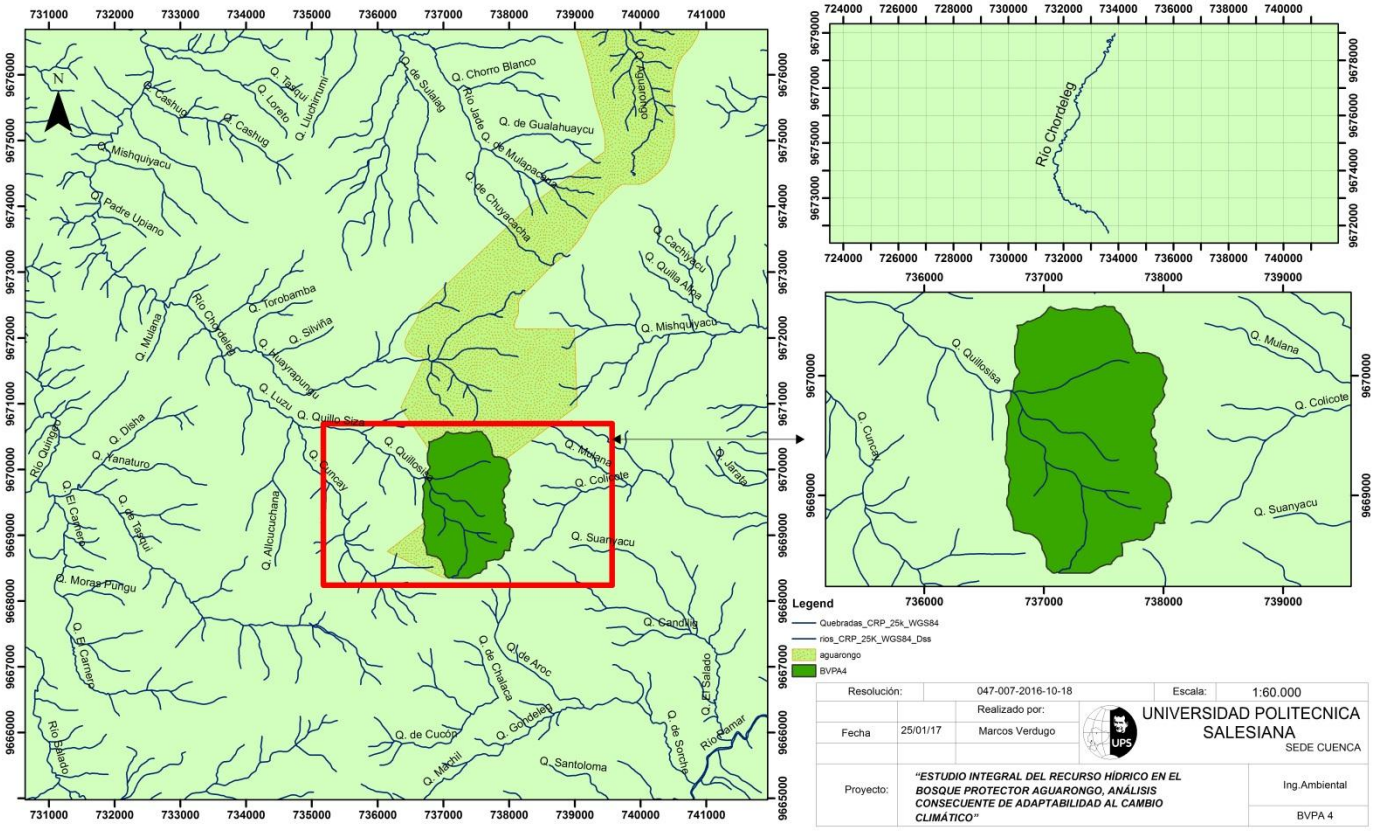

Ilustración 36: Mapa base de la microcuenca BVPA4
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: Él Autor

4.1. Discusión

4.1.1. Ubicación de las microcuencas

Las microcuencas BVPA1, BVPA2, BVPA3 y BVPA4 se encuentran ubicadas dentro de la cuenca del Paute; la microcuenca BVPA1 pertenece a la parroquia Jadán, su cauce principal y la red hídrica desembocan al rio Paute, la microcuenca BVPA2 pertenece a la parroquia Zhidmad y Jadán, su cauce principal y la red hídrica desembocan al rio Jadán, la microcuenca BVPA3 pertenece a las parroquias Zhidmad y San Juan mientras que la microcuenca BVPA4 pertenece a la parroquias Zhidmad , Santa Ana y San Bartolomé, sus cauces principales y la red hídrica desembocan al río Chordeleg.

4.1.2. Parámetros de forma

Área

La microcuenca BVPA1 tiene un área total 20,92 km² (2092ha) es considerada microcuenca según la tabla 1, por su mayor área en comparación con las otras tres; tiene más capacidad de recaudar agua, mientras que las microcuencas BVPA2, BVPA3 y BVPA4 según se explica en la tabla2 son cuencas con dimensiones muy pequeñas por lo tanto su capacidad de recolectar agua es mínima. Estos parámetros, así como el ancho y el largo, sirvieron para calcular consecutivamente los datos morfométricos posteriores.

Coeficiente de Compacidad o Gravelius

La microcuenca BVPA1 el kc es 1,62 está dentro del rango 1,5 a 1,75 que según la clasificación de la Tabla 4 se trata de una forma oval-largada a alargada, posee una representación más alargada en proporción a su ancho, por lo tanto la mayor cantidad de agua fluye a una solo vertiente. Como interpretación ambiental frente a una precipitación alta se puede decir que tiene una baja tendencia a una inundación como explica la tabla 5. Entonces la microcuenca tiene la tendencia de ser una zona de conservación o protección medio ambiental.

Que los valores de las microcuencas BVPA2, BVPA3 y BVPA4 se encuentren en el rango 1 a 1,25 según la Tabla4 , son de forma casi redonda a oval – redonda, es decir, que tienen una forma más ancha que alargada.Según la tabla 5, frente a una lluvia alta las microcuencas tienen una mayor tendencia a una inundación. Por esta razón las microcuencas tienen la tendencia de ser una zona no protegida frente a una fuerte precipitación.

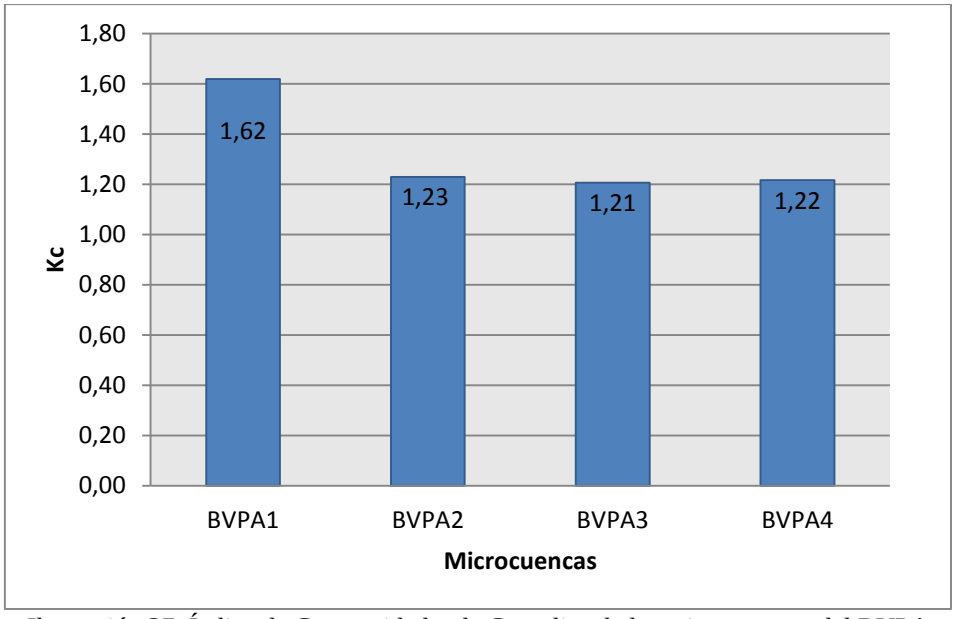

Ilustración 37: Índice de Compacidad o de Gravelius de las microcuencas del BVPA
Elaboración: Él Autor

Desnivel Altitudinal (DA)

El desnivel altitudinal de la microcuenca BVPA1 es 968 msnm es una microcuenca con más pisos altitudinales en donde hay mayor distribución térmica, microclimas, fauna y flora, que las microcuencas BVPA2, BVPA3 y BVPA4.

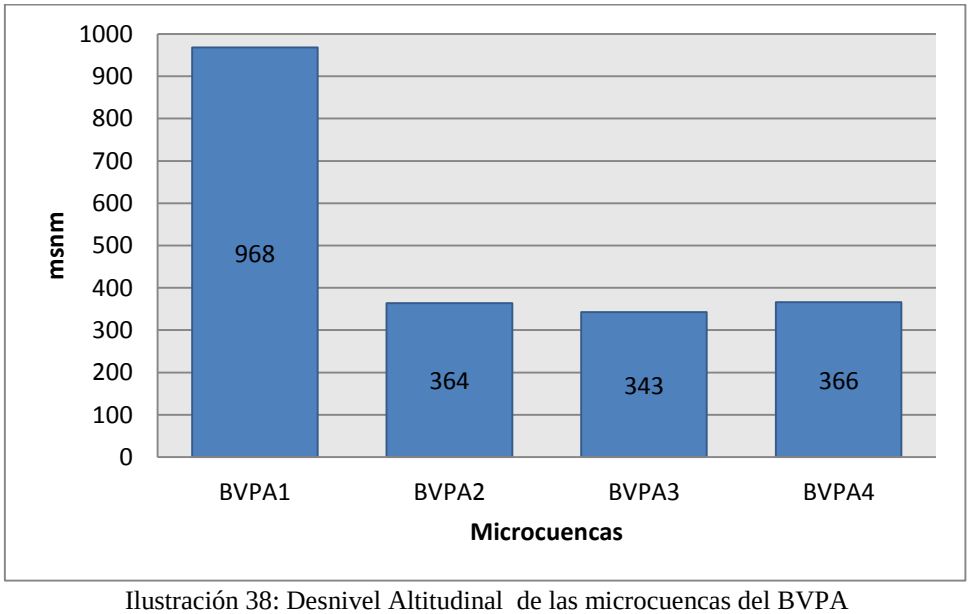

Ilustración 38: Desnivel Altitudinal de las microcuencas del BVPA
Elaboración: Él Autor

4.1.3. Parámetros de relieve

Pendiente de la media cuenca

Las microcuencas BVPA1, BVPA2, BVPA3 y BVPA4 están dentro del rango de pendiente entre 25-50% que indica el tipo de terreno: Escarpado según la tabla 6 por lo tanto a mayor pendiente ayuda a la escorrentía superficial y aumenta la cantidad de agua en las vertientes, lo que involucra una menor proporción de infiltración, disminuyendo a las aguas subterráneas y a los acuíferos. Sin embargo, habría que resaltar la cobertura vegetal boscosa que ayudaría a regular el movimiento superficial del agua en la cuenca.

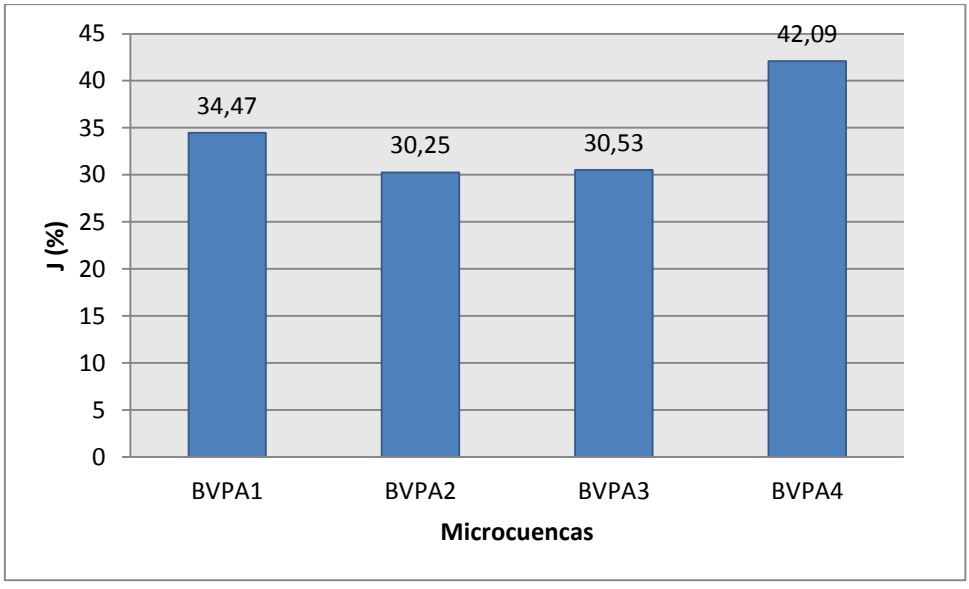

Ilustración 39: Pendiente Media de la Cuenca de las microcuencas del BVPA
Elaboración: Él Autor

Altura media

Los datos obtenidos de las microcuencas BVPA2, BVPA3 y BVPA4 están entre una altitud de 3000 a 3500 msnm según la Tabla 3 su tipo de piso altitudinal es montano, con una temperatura fría entre 6ºC y 12ºC, mientras la microcuenca BVPA1 está entre una altitud de 2000 a 3000 msnm, y la tabla 3 indica que su tipo de piso altitudinal es montano bajo, con una temperatura templada que oscila entre 12ºC y 18ºC.

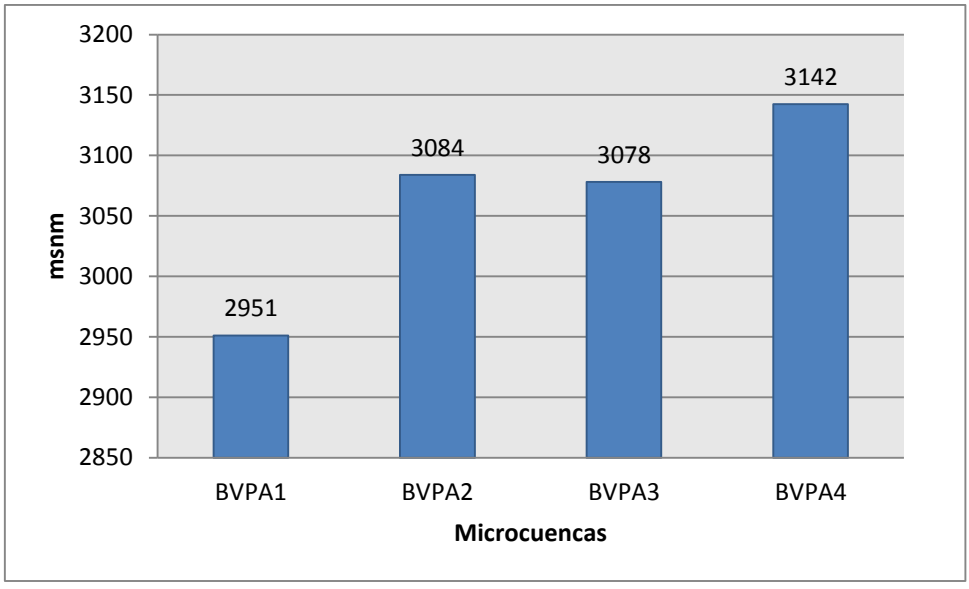

Ilustración 40: Altura media de las microcuencas del BVPA
Elaboración: Él Autor

Coeficiente de masividad

Los datos calculados de las microcuencas están dentro del rango de 0 – 35 km según la tabla 7 son zonas muy montañosas, que implica mayor energía y mayor precipitación en general, y esto se justifica debido a que esta zona pertenece a la cordillera de los Andes, en el sur del Ecuador, aquí la mayor porción de las vertientes se generan en las cabeceras de las montañas, situación que sucede en esta área de estudio.

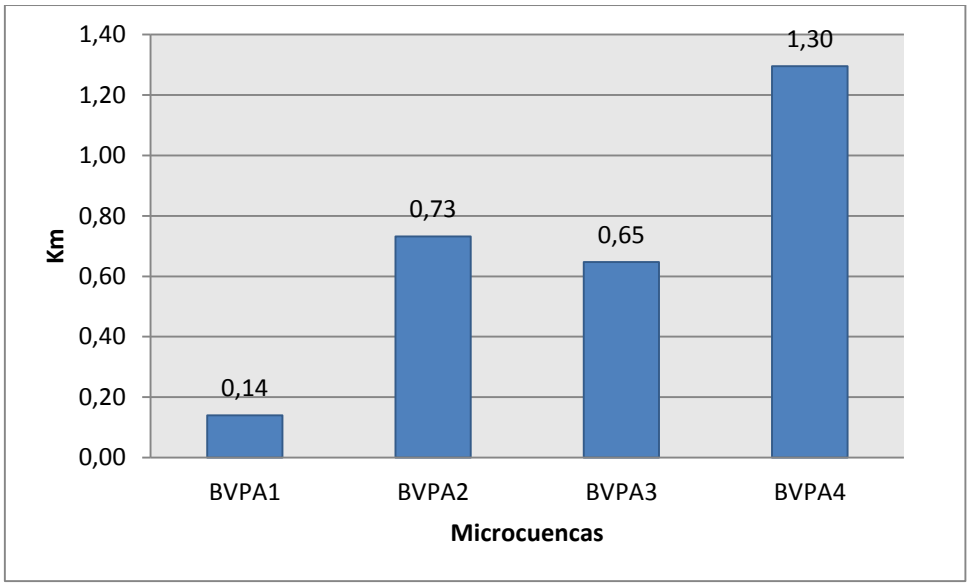

Ilustración 41: Coeficiente de Masividad de las microcuencas del BVPA
Elaboración: Él Autor

Curva hipsométrica

Analizando las curvas hipsométricas de las microcuencas BVPA1, BVPA2, BVPA3 y BVPA4, se puede verificar que sus pendiente son prolongadas, debido a las diferencias altitudinales, Llamas (1993) da entender que las microcuencas BVPA1 y BVPA2 son cuencas jóvenes en donde predominan la producción de sedimentos y el nacimiento de las vertientes. Las microcuencas BVPA3 y BVPA4 son cuencas en donde se da el transporte de sedimentos y agua, característica de una cuenca en equilibrio.

La ilustración 4 explica que las microcuencas BVPA1 y BVPA2 son curvas con características de una cuenca con gran potencial erosivo, mientras que las microcuencas BVPA3 y BVPA4 tienden a clasificarse como cuencas en fase de madurez con un bajo potencial erosivo.

Tabla 14: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA1

	Cotas(msnm)			Área (km2)			
NUMERO	**MIN**	**MAX**	**Promedio**	**Área entre curvas**	**Acumulado**	**Acumulado %**	**Altitudes %**
1	2274	2412	2343	0,40	20,92	100	2
2	2413	2550	2482	0,60	20,52	98,10	3
3	2551	2688	2620	0,92	19,92	95,21	4
4	2689	2827	2758	2,00	19,00	90,82	10
5	2828	2965	2897	4,97	17,00	81,25	24
6	2966	3103	3035	8,27	12,03	57,51	40
7	3104	3242	3173	3,76	3,76	17,96	18
			Total	20,92			

Elaboración: El Autor

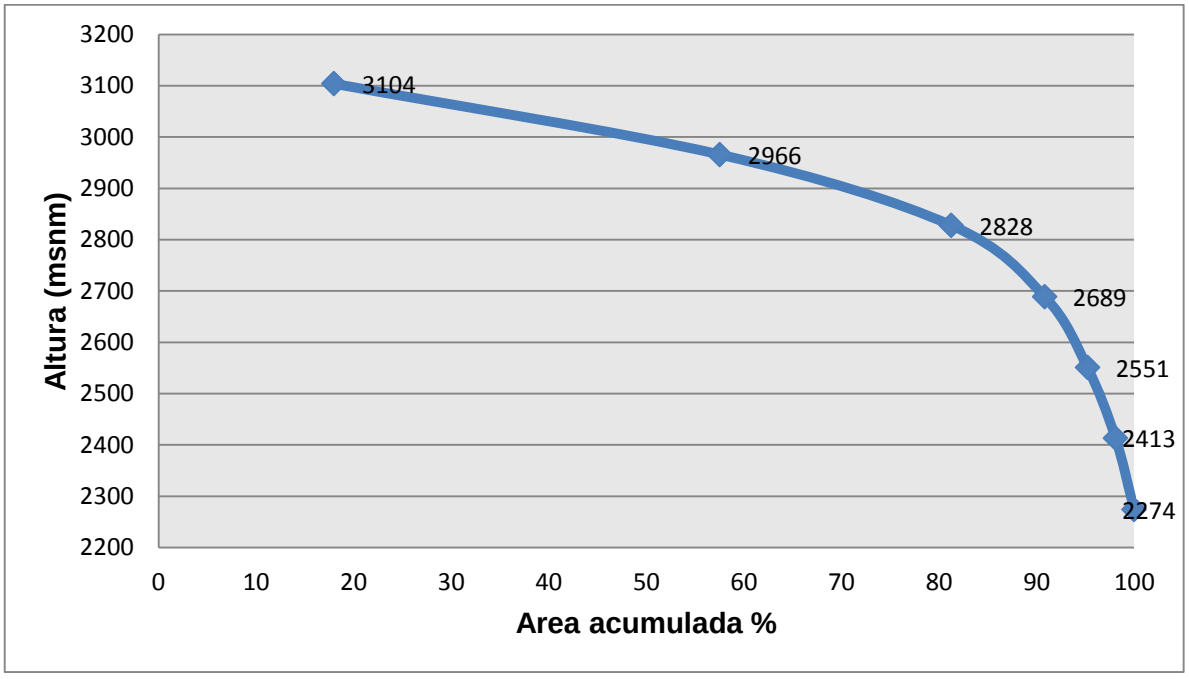

Ilustración 42: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

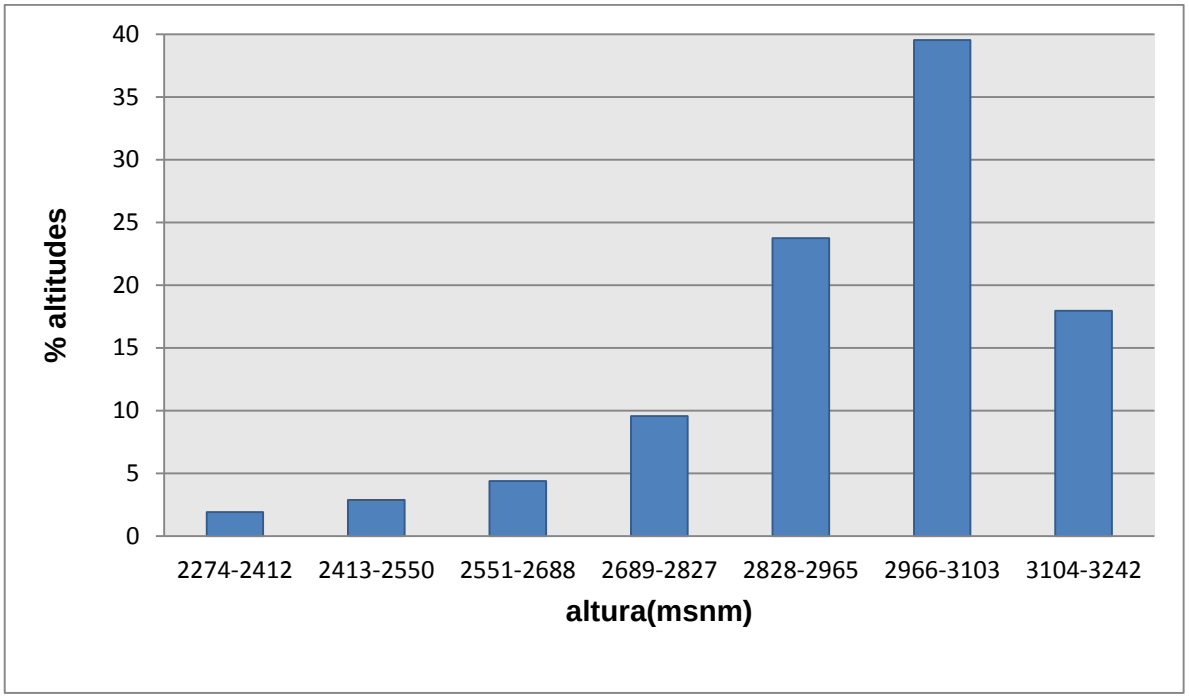

Ilustración 43: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Interpretación de la microcuenca BVPA1

La curva hipsométrica de la microcuenca BVPA1 muestra una pendiente suave en el origen desde la altitud 3104 y se estabiliza hasta 2828 msnm, que indica la existencia de llanuras en la parte de arriba (Tragsa, 1994) lo que representa un posible peligro de inundación en zonas aledañas al cauce, a partir de la altitud 2828 hasta 2274 msnm muestra una pendiente fuerte, que explican que son zonas no planas y con características de una cuenca con gran potencial erosivo.

Se pudo observar que la mayor área de la microcuenca se distribuye en cotas inferiores a 2274 msnm y solo 17,96 % representan altitudes superiores a 3104, esta variación altitudinal, influye en la distribución térmica, microclimas, tipo de suelo, precipitación y hábitats (Fuentes, 2004).

Tabla 15: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA2

	Cotas(msnm)			Área (km2)			
	MIN	**MAX**	**Promedio**	**Área entre curvas**	**Acumulado**	**Acumulado %**	**Altitudes %**
1	2868	2920	2894,00	0,10	4,21	100	2
2	2921	2972	2946,50	0,35	4,11	97,68	8
3	2973	3024	2998,50	0,57	3,76	89,33	14
4	3025	3076	3050,50	0,83	3,19	75,72	20
5	3077	3128	3102,50	0,91	2,36	55,97	22
6	3129	3180	3154,50	1,00	1,45	34,36	24
7	3181	3232	3206,50	0,45	0,45	10,66	11
			Total	4,2105			

Elaboración: El Autor

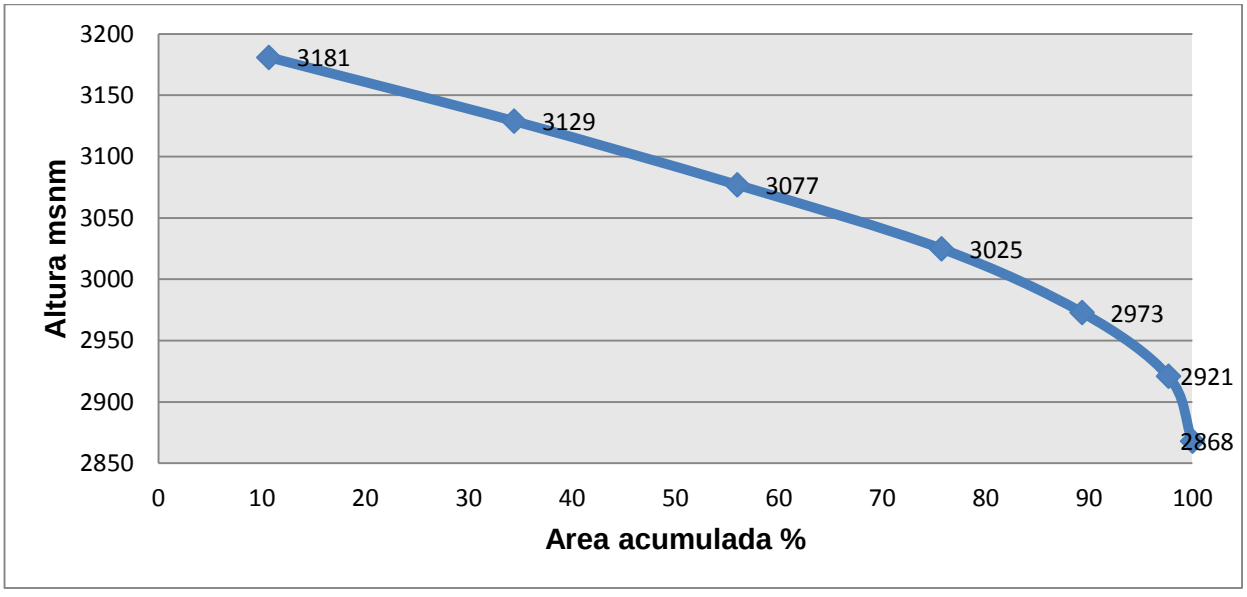

Ilustración 44: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

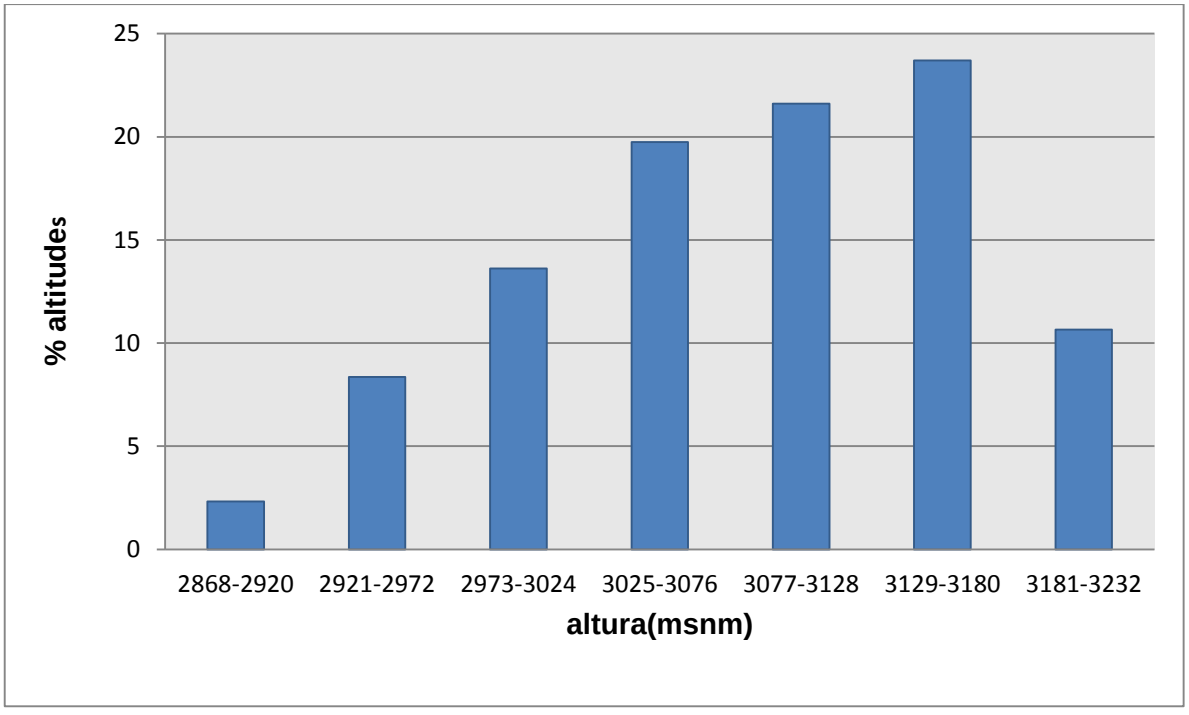

Ilustración 45: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

Interpretación de la microcuenca BVPA2

La curva hipsométrica de la microcuenca BVPA2 muestra una pendiente suave en el origen desde la altitud 3181 y se estabiliza hasta 2973 msnm, indica la existencia de zonas planas en la parte de arriba de la curva (Tragsa, 1994) lo que representa un posible peligro de inundación frente a una fuerte precipitación en zonas aledañas al cauce, a partir de la altitud 2973 hasta 2868 msnm muestra una pendiente fuerte, que explican que son zonas no planas y con características de una cuenca con un bajo potencial erosivo.

Se pudo observar que la mayor área de la microcuenca se distribuye en cotas inferiores a 2868 msnm y solo 10,66 % representan altitudes superiores a 3181 msnm , esta variación altitudinal, influye en la distribución térmica, microclimas, tipo de suelo, precipitación y hábitats (Fuentes, 2004).

Tabla 16: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA3

	Cotas(msnm)			Área (km2)			
	MIN	**MAX**	**Promedio**	**Área entre curvas**	**Acumulado**	**Acumulado %**	**Altitudes %**
1	2940	2989	2964,50	0,34	4,76	100	7
2	2990	3038	3014,00	1,12	4,42	92,93	24
3	3039	3087	3063,00	1,33	3,30	69,35	28
4	3088	3136	3112,00	0,98	1,97	41,34	21
5	3137	3185	3161,00	0,70	0,99	20,74	15
6	3186	3234	3210,00	0,26	0,29	6,02	5
7	3235	3283	3259,00	0,03	0,03	0,65	1
			Total	4,76			

Elaboración: El Autor

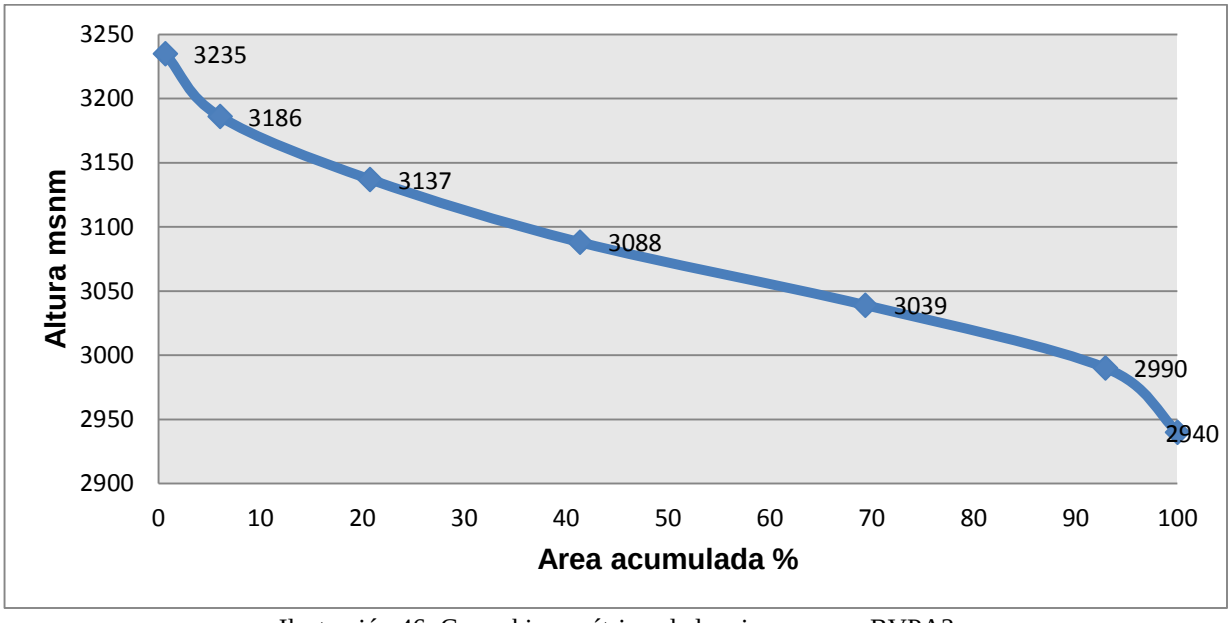

Ilustración 46: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA3
Elaboración: El Autor

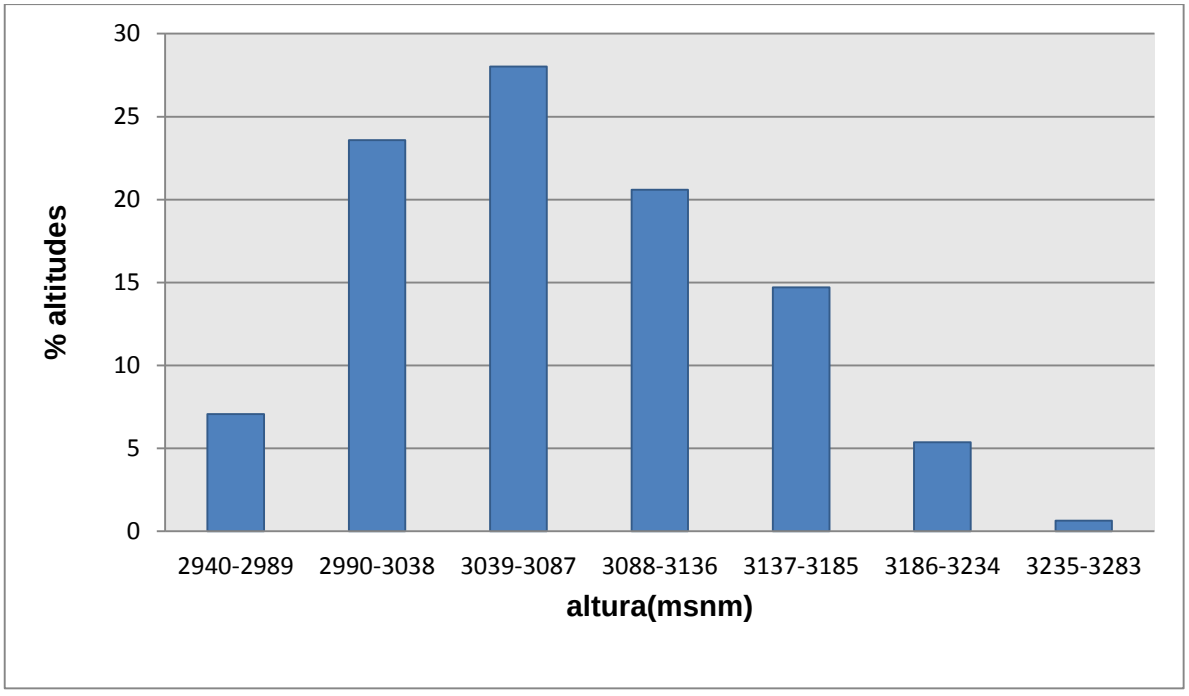

Ilustración 47: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA3
Elaboración: El Autor

Interpretación de la microcuenca BVPA3

La curva hipsométrica de la microcuenca BVPA3 muestra una pendiente fuerte en el origen desde la altitud 3235 hasta 3186 msnm, observamos que la altitud 3186 msnm hasta los 2990 msnm , explica una pendiente ligeramente suave, que indica la existencia de llanuras en casi toda parte de la curva (Tragsa, 1994) lo que representa un posible peligro de inundación frente a una fuerte lluvia en zonas aledañas al cauce y con un bajo potencial erosivo, a partir de la altitud 2990 hasta 2940 msnm en la parte de abajo de la curva muestra una pendiente moderadamente fuerte, que explica que son zonas montañosas y presenta una mínima erosión.

Tabla 17: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA4

	Cotas(msnm)			Área (km2)			
	MIN	**MAX**	**Promedio**	**Área entre curvas**	**Acumulado**	**Acumulado %**	**Altitudes %**
1	2974	3026	3000,00	0,18	2,42	100	7
2	3027	3078	3052,50	0,44	2,24	92,52	18
3	3079	3130	3104,50	0,48	1,80	74,26	20
4	3131	3182	3156,50	0,50	1,33	54,65	20
5	3183	3234	3208,50	0,46	0,83	34,17	19
6	3235	3286	3260,50	0,33	0,37	15,36	13
7	3287	3339	3313,00	0,05	0,05	1,90	2
			Total	2,42			

Elaboración: El Autor

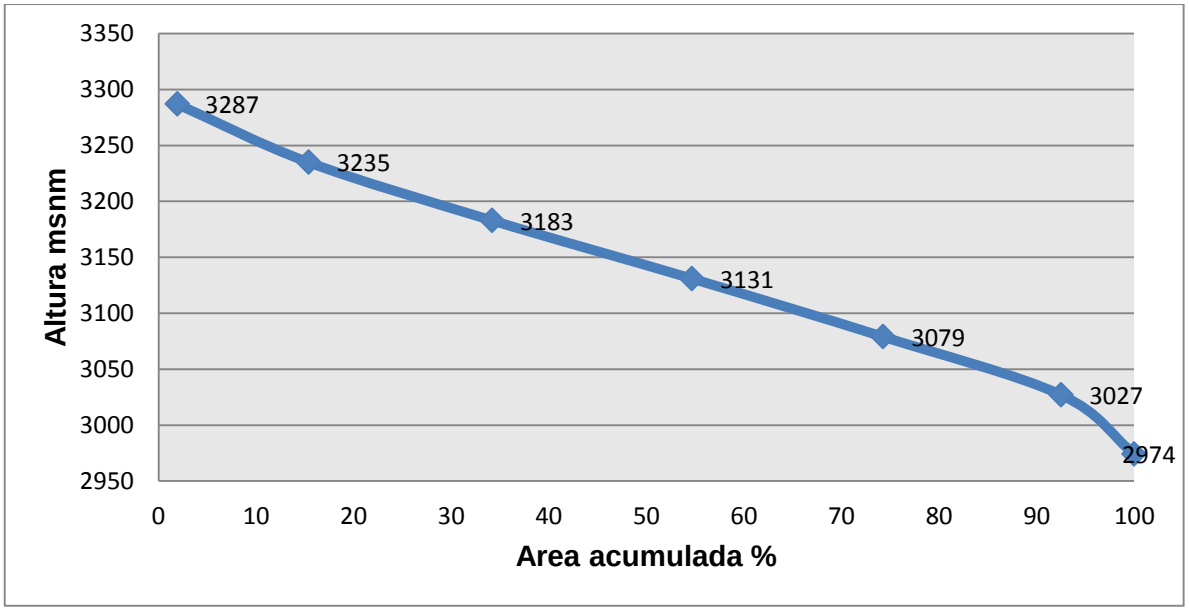

Ilustración 48: Curva hipsométrica de la microcuenca BVPA4
Elaboración: El Autor

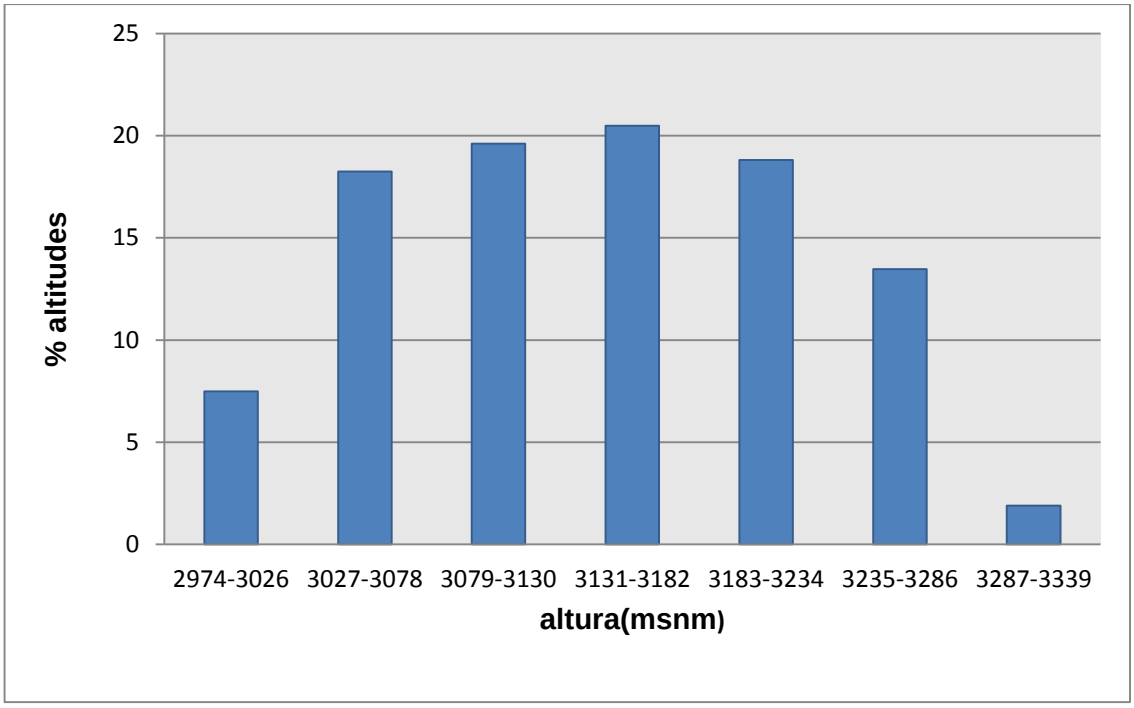

Ilustración 49: Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca BVPA4
Elaboración: El Autor

Interpretación de la microcuenca BVPA4

La curva hipsométrica de la microcuenca BVPA4 muestra una pendiente ligeramente fuerte desde el origen de una altitud 3287 hasta 3027 msnm en casi toda la curva, el comportamiento de la curva indica que se encuentra en una cuenca en estado de equilibrio, debido a su parte superior presenta al comienzo elevada pendiente y a continuación marcadas irregularidades, todo ello debido a la anexión de un sector drenado por canales que no pertenece a la cuenca natural. No existe un punto de inflexión bien definido, pero a partir de las irregularidades desde el área 92, 52% de su trazado inferior la curva muestra convexidad hacia arriba; el valor de la integral hipsométrica es elevado. Todo lo mencionado anteriormente indica un importante desequilibrio morfológico en la cuenca, que se considera producto de eventos neotectónicos muy recientes.

4.1.4. Parámetros de drenaje

Densidad de Drenaje

Los valores de las microcuencas llegan de 2 hasta 3 km/km² según la tabla8, son cuencas con alta densidad de drenaje, basándonos en Strahler (1964) podemos decir que se tratarían de microcuencas con materiales impermeables en el flujo sub superficial de relieve muy montañoso, justificado por los resultados obtenidos, además según Chorley (1969) y Carlston (1963) afirman que zonas de alta densidad; la escorrentia fluye por la superficie rapidamente, disminuyendo el tiempo de concentración y aumentando el pico de crecida, al haber una mínima infiltración, que sería el caso de las microcuencas estudiadas. Frente a una precipitación alta o a una tormenta las microcuencas tienden a tener una respuesta hidrológica rápida.

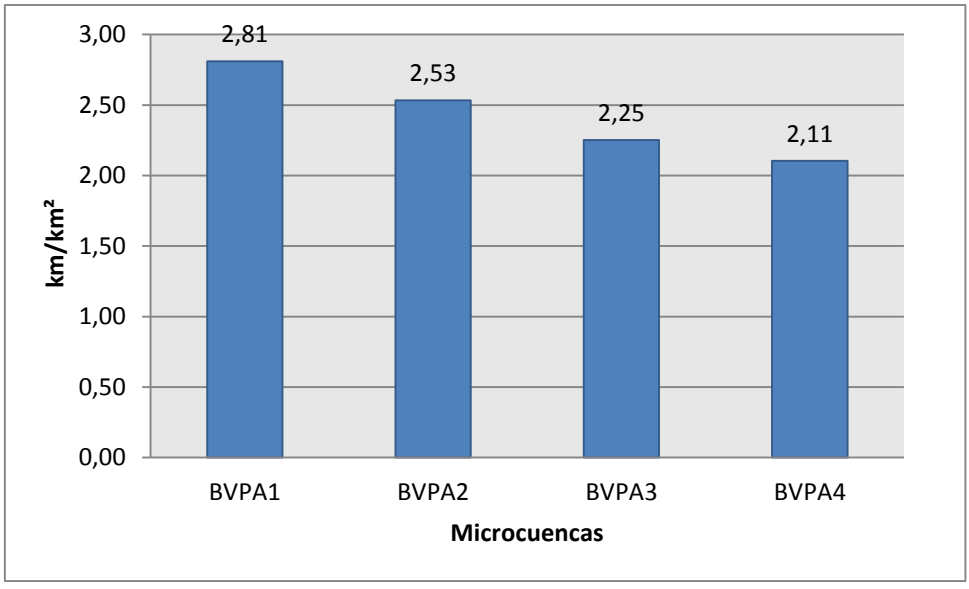

Ilustración 50: Densidad de drenaje de las microcuencas del BVPA
Elaboración: El Autor

Tiempo de concentración (Tc)

Para tener una mayor confianza en el cálculo del Tc de una cuenca hidrográfica, se determinó el estudio de dos fórmulas de los autores citados y se tomó el valor promedio de los valores calculados.

El tiempo de concentración calculado para la microcuenca BVPA1 es 72,86 min según la tabla 9 es de clase moderado, mientras que las microcuencas BVPA2, BVPA3 y BVPA4 es de clase rápido, por lo tanto presentan tiempos de concentraciones mínimas o cortas , no obstante esta correlación no pertenece exactamente a la realidad, porque el tiempo de concentración es variado, depende principalmente de una precipitación alta (Mantilla, *et al*., 2005), cuando Tc es mínima incrementa la escorrentía superficial, manifiesta la escasa infiltración y altera la alimentación de flujo subsuperficial (Viramontes , 2008).

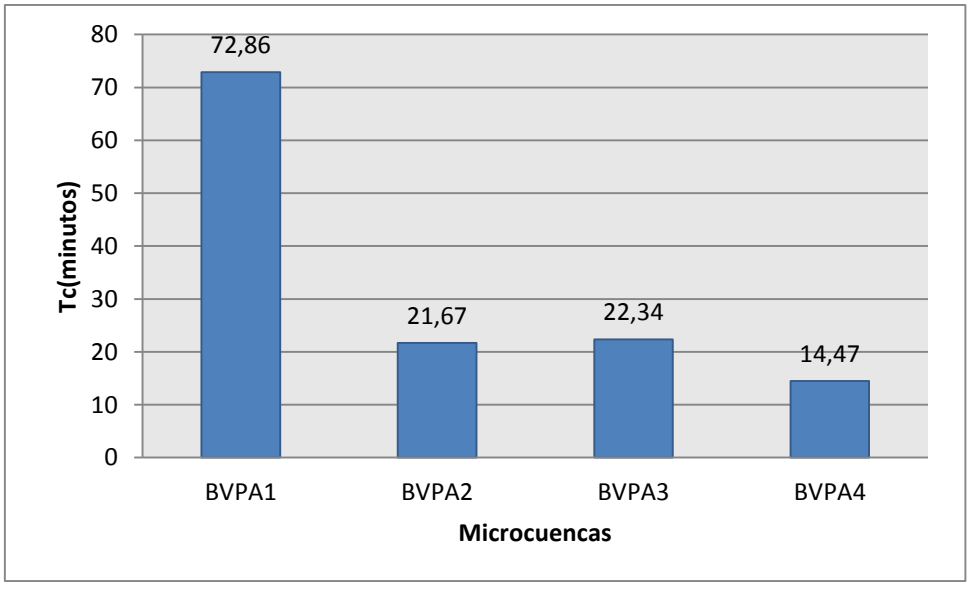

Ilustración 51: Tiempo de concentración de las microcuencas del BVPA
Elaboración: El Autor

La variación del tiempo de concentración en las cuatro microcuencas, se debe principalmente al área de cada una de ellas, así por ejemplo; la microcuenca BVPA1 con un área de 20,92 km² presenta un Tc de 72,86 minutos, mientras que la microcuenca BVPA4 que presenta la menor área de todas; presenta el Tc más bajo en comparación con las anteriores.

En función de la pendiente media del cauce principal; condiciona el Tc en las microcuencas, en este caso la microcuenca BVPA2 la pendiente es igual a 0.12 km/km ², la microcuenca BVPA3 es 0.11 km/km ² y la microcuenca BVPA4 es 0.17km/km ² al presentar pendiente similares, y casi similar área presenta tc próximos entre 14,47 a 22,34 minutos.

Metodología Pfafstetter

Las microcuencas BVPA1, BVPA2, BVPA3 y BVPA4 están dentro de la subcuenca del río Paute y a la vez pertenecen a la cuenca del río Zamora, de acuerdo a la metodología Pfafstetter para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador a nivel 5 según SENAGUA:

Nivel 1: 4 Cuenca río Amazonas

Nivel 2: 49 unidad hidrográfica 49

Nivel 3: 499 unidad hidrográfica 499

Nivel 4: 4998 Cuenca río Zamora

Nivel 5: 49982 Subcuenca del río Paute.

4.1.5. Cobertura vegetal de las microcuencas

A continuación se muestra la información respectiva de la cobertura vegetal en las microcuencas estudiadas, obtenido de la página web del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), se descargó la capa o shape de la cobertura vegetal del MAGAP año 2014, luego se cargó la capa de la cobertura_vegetal _MAGAP_2014 y las microcuencas en el

Arcgis 10.3, con la herramienta clip se realizó un corte con la cobertura_vegetal _MAGAP_2014 sobre las microcuencas.

Con esta información se realizaron los respectivos mapas de cobertura vegetal de las microcuencas BVPA1, BVPA2, BVPA3, y BVPA4 que se presentan como anexos en la ilustración 75, 76,77 y 78.

Tabla 18: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA1

Uso	Tipo de Cobertura Vegetal	Área (km2)	Cobertura Vegetal %
Conservación y Protección	Vegetación arbustiva	0,72	3,45
Pecuario	Pastizal	8,45	40,41
Conservación y protección	Bosque nativo	9,14	43,71
Protección o producción	Plantación forestal	0,06	0,29
Agropecuario mixto	Misceláneo de cereales	1,02	4,89
Agropecuario mixto	Misceláneo indiferenciado	1,50	7,18
Agrícola	Maíz suave	0,01	0,06

Elaboración: El Autor

Tabla 19: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA2

Uso	Tipo de Cobertura Vegetal	Área (Km2)	Cobertura Vegetal %
Pecuario	Pastizal	0,94	22,29
Conservación Y Protección	Bosque Nativo	3,13	74,38
Conservación Y Protección	Vegetación Arbustiva	0,14	3,34

Elaboración: El Autor

Tabla 20: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA3

Uso	Tipo de Cobertura Vegetal	Área (Km2)	Cobertura Vegetal %
Conservación Y Protección	Vegetación Arbustiva	0,17	3,57
Pecuario	Pastizal	0,25	5,18
Conservación Y Protección	Bosque Nativo	4,34	91,41

Elaboración: El Autor

Tabla 21: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA4

Uso	Tipo De Cobertura Vegetal	Área (Km2)	Cobertura Vegetal %
Conservación Y Protección	Vegetación Arbustiva	0,16	6,56
Pecuario	Pastizal	1,16	47,80
Conservación Y Protección	Bosque Nativo	1,11	45,63
Agrícola	Maíz Suave	0,00	0,01

Elaboración: El Autor

Las microcuencas; BVPA1 (43,71%), BVPA2 (74,38%), BVPA3(91,41%) y BVPA4 (45,63%) corresponde a bosque nativo, que se manifiesta por la dominancia de árboles de diferentes especies propias del lugar, edades y tamaños diferentes, con uno o varios estratos.

Se observó que las microcuencas; BVPA1(40,41%), BVPA2(22,29%), BVPA3(5,18%) y BVPA4(47,80%) corresponde a pastizal, vegetación herbácea caracterizada por especies no nativas como las leguminosas y gramíneas, manipuladas con fines pecuarios, que para su conservación necesitan labores de cultivo y manejo.

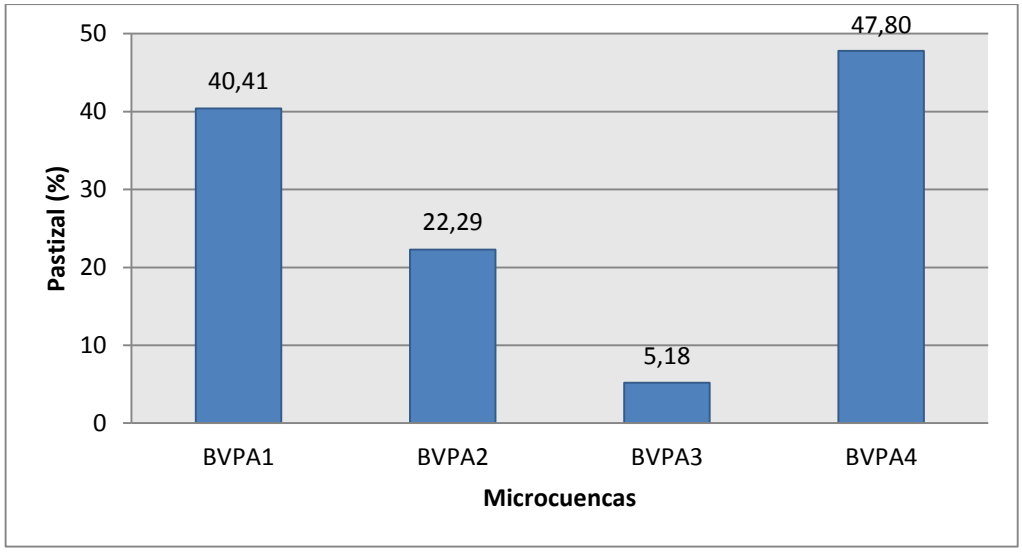

Ilustración 52: Pastizal de las microcuencas del BVPA
Elaboración: El Autor

Las microcuencas; BVPA1 (3,45%), BVPA2 (3,34%), BVPA3 (3,57%) y BVPA4 (6,56%) corresponde a vegetación arbustiva, son superficies con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas.

Las microcuencas BVPA1, BVPA2 y BVPA3, están mejor conservadas debido a que presenta menor porcentaje de pastizal. Mientras que la microcuenca BVPA4 estaría en un peor estado de conservación debido a que tiene mayor porcentaje de pastizal. Tomando en cuenta que esta área de estudio se trata de una zona de conservación, se puede intuir de la alteración antrópica que se está dando en el BVPA.

4.1.6. Análisis granulométrico de las microcuencas del BVPA

Se recogió tres muestras en la microcuenca BVPA1 debido a que representa una mayor área y de fácil acceso en el bosque, y dos muestras en la microcuenca BVPA2, no se pudo recolectar una muestra en la microcuenca BVPA3 y BVPA4 debido a su difícil acceso. Se aplicó el método de análisis mecánico a la muestras se determinó en el laboratorio los tipos de suelo.

Granulometría de la microcuenca BVPA1

Para esta microcuenca, se tomaron 3 puntos de muestreo de suelo, y con ello se analizó en laboratorio obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 22: Coordenadas granulométricas de la microcuenca BVPA1

Puntos	Coordenadas x(m)	Coordenadas y (m)	Altitud z (msnm)
Punto1	739826	9675209	3164
Punto2	739949	9675435	3203
Punto3	740253	9675791	3140

Elaboración: El Autor

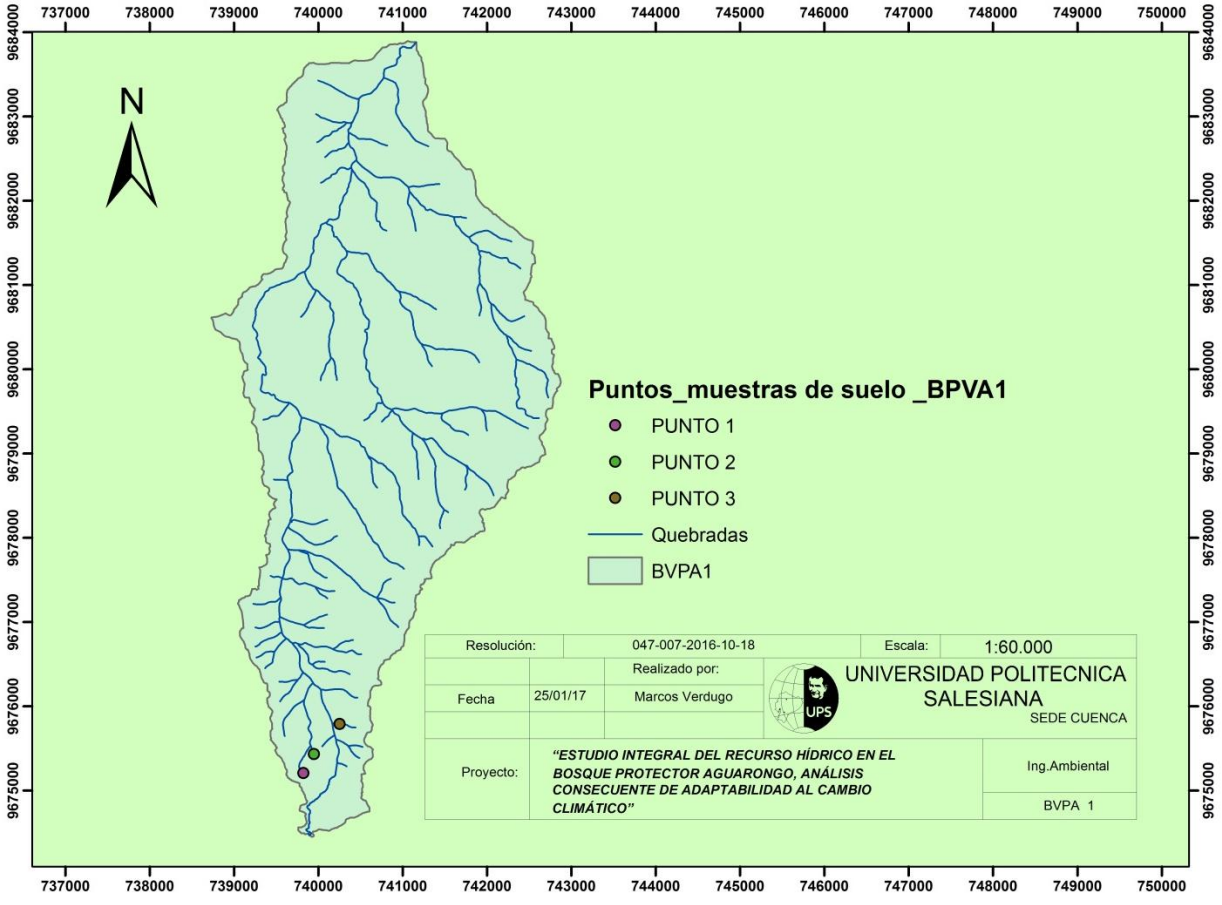

Ilustración 53: Puntos de las muestras de suelo de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Tabla 23: Muestra 1 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1

Tamiz(ASTM)	Abertura real(mm)	Peso Retenido(gr)	Retenido Acumulado (%RA)	Porcentaje que Pasa (%)
10	2	2,4	2,96	97,04
20	0,84	11,5	14,16	82,88
40	0,42	19,6	24,14	58,74
50	0,3	10,5	12,93	45,81
140	0,105	21,3	26,23	19,58
170	0,088	10,2	12,56	7,02
200	0,074	1,7	2,09	4,93
base		3,5	4,31	
	Peso total de la bandeja	81,2		

Elaboración: El Autor

Tabla 24: Muestra 2 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1

TAMIZ(ASTM)	Abertura real(mm)	Peso Retenido(gr)	Retenido Acumulado (%RA)	Porcentaje que pasa (%)
10	2	39,4	5,51	94,49
20	0,84	146,7	20,52	73,96
40	0,42	138,2	19,33	54,63
50	0,3	100,6	14,07	40,56
140	0,105	134,3	18,79	21,77
170	0,088	100,6	14,07	7,69
200	0,074	14,0	1,96	5,74
base		37,6	5,26	
	Peso total de la bandeja	714,8		

Elaboración: El Autor

Tabla 25: Muestra 3 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1

TAMIZ(ASTM)	Abertura real(mm)	Peso Retenido(gr)	Retenido Acumulado (%RA)	Porcentaje que pasa (%)
10	2	79,9	22,84	77,16
20	0,84	89,7	25,64	51,53
40	0,42	57,7	16,49	35,04
50	0,3	24,3	6,94	28,09
140	0,105	47,7	13,63	14,46
170	0,088	25,3	7,23	7,23
200	0,074	3,7	1,06	6,17
base		19,6	5,60	
	Peso total de la bandeja	349,9		

Elaboración: El Autor

En base a la información presentada; se construyeron curvas granulométricas, las mismas que permitieron determinar el tipo de suelo.

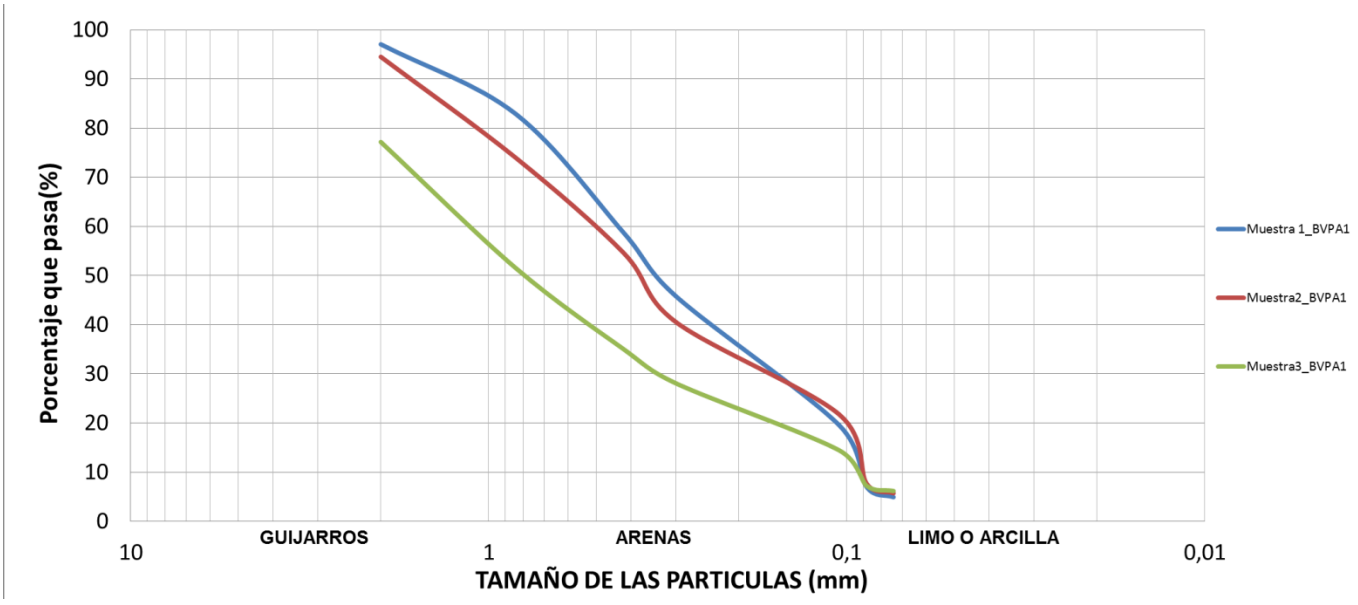

Ilustración 54: Curva granulométrica de la Microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Análisis granulométrico de la microcuenca BVPA1

Muestra 1: Se observa que el 2.96% es arena gruesa, 51,23% es arena media y el 45,20% es arena fina. (Ilustración 11)

Muestra2: Se obtiene que el 5,51% es arena gruesa, 53,93% es arena media y el 27,52% es arena fina. (Ilustración 11)

Muestra 3: Se obtuvo que el 22,84% es arena gruesa, 49,07% es arena media y el 27,52% es arena fina. (Ilustración 11)

En base al análisis granulométrico del sustrato de los cauces mediante la técnica del proceso mecánico, se denota mayoritariamente partículas de arena que corresponde a arenas medias y finas. Lo que indicaría que debido a esto se puede presentar menor infiltración subsuperficial y movimiento subterráneo del agua en la zona de estudio.

Granulometría de la microcuenca BVPA2

Para esta microcuenca, se tomaron 2 puntos de muestreo de suelo, y con ello se analizó en laboratorio obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26: Coordenadas Granulométricas de la microcuenca BVPA2

PUNTOS	COORDENADAS X(m)	COORDENADAS Y (m)	ALTITUD Z(msnm)
muestra 1	738753	9674984	3082
muestra 2	738944	9674970	3109

Elaboración: El Autor

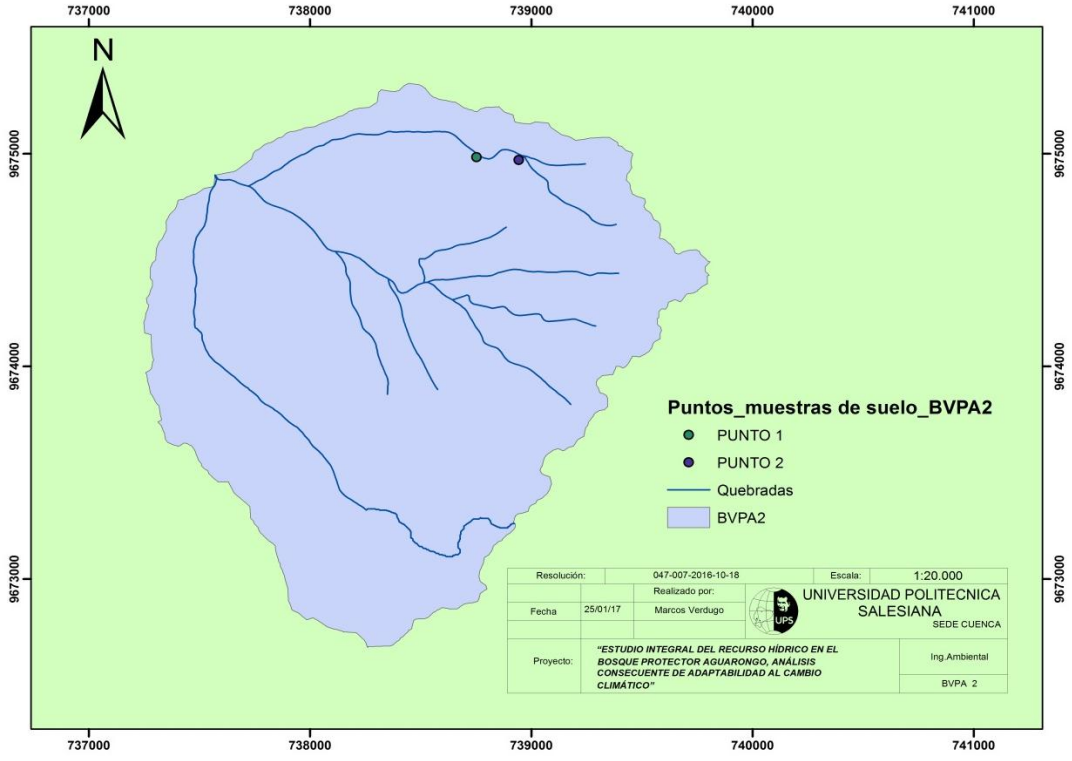

Ilustración 55: Puntos de las muestras de suelo de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

Tabla 27: Muestra 1 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA2

TAMIZ(ASTM)	Abertura real(mm)	Peso Retenido(gr)	Retenido Acumulado (%RA)	Porcentaje que pasa (%)
10	2	171,8	20,24	79,76
20	0,84	172,2	20,29	59,47
40	0,42	187,3	22,07	37,40
50	0,3	105,4	12,42	24,98
140	0,105	137,7	16,22	8,75
170	0,088	40,8	4,81	3,95
200	0,074	2,4	0,28	3,66
base		1,6	0,19	
	Peso total de la bandeja	848,7		

Elaboración: El Autor

Tabla 28: Muestra 2 de suelo y análisis granulométrico de la microcuenca BVPA2

TAMIZ(ASTM)	Abertura real(mm)	Peso Retenido(gr)	Retenido Acumulado (%RA)	Porcentaje que pasa (%)
10	2	341,8	43,73	56,27
20	0,84	203,8	26,07	30,19
40	0,42	125,5	16,06	14,14
50	0,3	50,0	6,40	7,74
140	0,105	14,0	1,79	5,95
170	0,088	11,9	1,52	4,43
200	0,074	10,2	1,31	3,12
base		3,7	0,47	
	Peso total de la bandeja	781,6		

Elaboración: El Autor

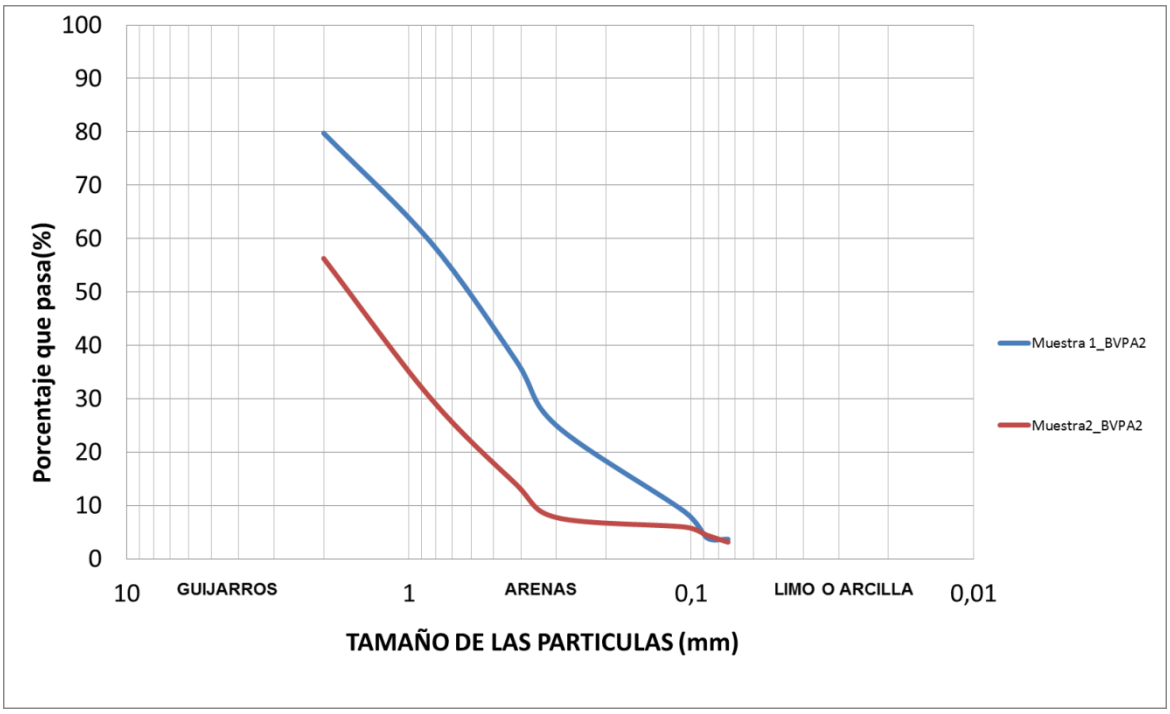

Ilustración 56: Curva granulométrica de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

Análisis granulométrico de la microcuenca BVPA2

Muestra 1: Se obtiene que el 20,24% es arena gruesa, 54,78% es arena media y el 21,50% es arena fina. (Ilustración 11)

Muestra2: Se obtuvo que el 43,73% es arena gruesa, 48,53% es arena media y el 5,09% es arena fina. (Ilustración 11)

En base al análisis granulométrico del sustrato de los cauces mediante la técnica del proceso mecánico, se denota mayoritariamente partículas de arena que corresponde a arenas gruesas y medias. Lo que indicaría que se puede presentar mayor infiltración subsuperficial.

4.1.7. Características de la red de drenaje de las microcuencas del BVPA

Se tomó 2 puntos geográficos para la medición de perfiles transversales en las quebradas de la microcuenca BVPA1 y un punto geográfico en la microcuenca BVPA2.

Medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA1

En el punto1 y punto2 de la microcuenca BVPA1, la distancia del ancho del cauce fue superior a los 3 metros se pudo coger subsecciones a intervalos de 50 cm.

Tabla 29: Ubicación de los puntos para la medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA1

Coordenadas	x (m)	y(m)	z(msnm)
Punto 1	739646	9678734	2930
Punto 2	739467	9679681	2924

Elaboración: El Autor

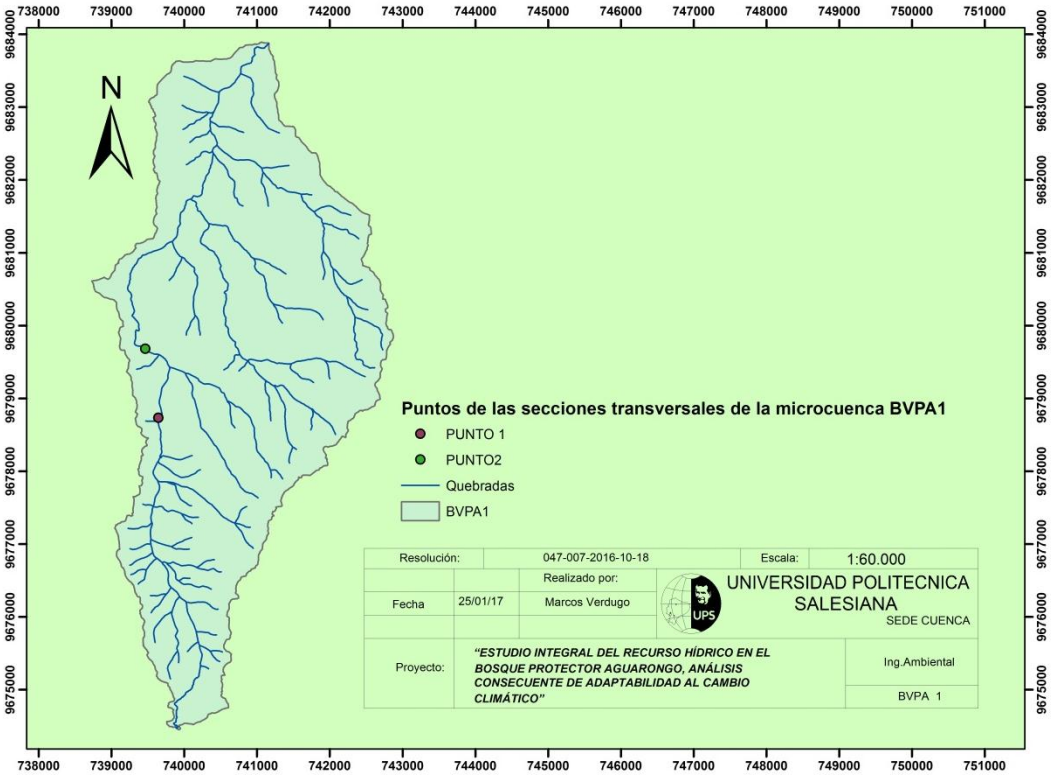

Ilustración 57: Ubicación de los puntos para la medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Ilustración 58: Levantamiento de datos en el campo para la sección transversal del punto 1 de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Se presenta el esquema del cauce en la coordenada geográfica del punto 1 referenciada, según la ilustración siguiente:

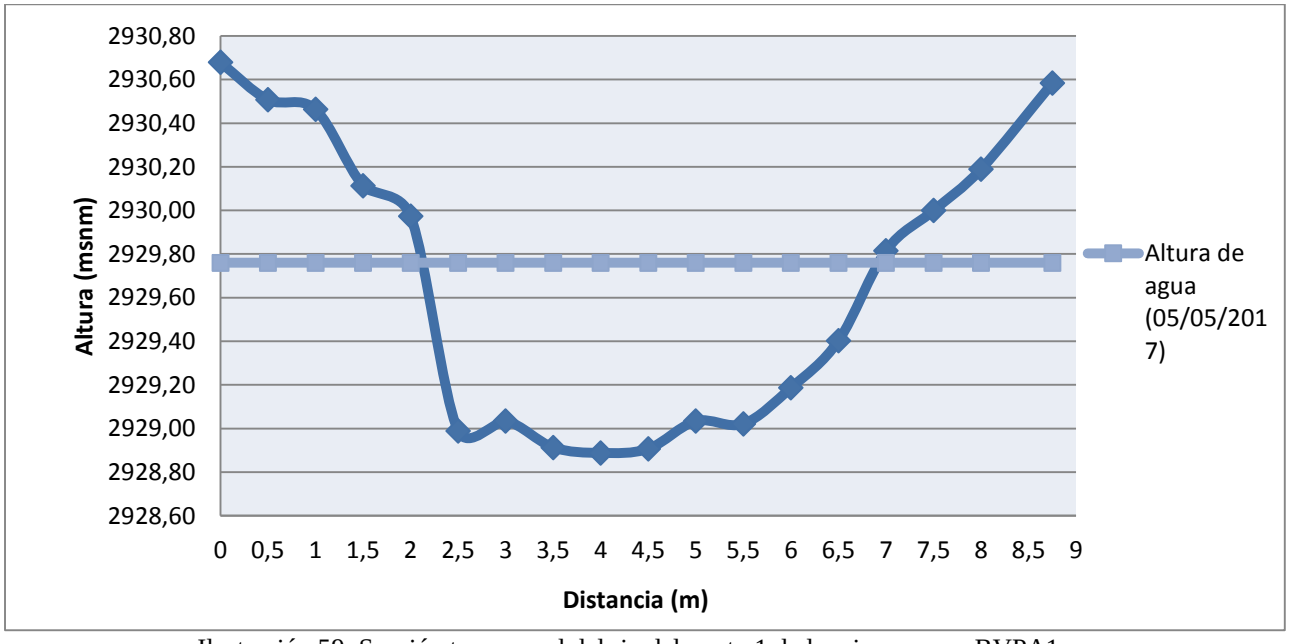

Ilustración 59: Sección transversal del rio del punto 1 de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

A continuación se presenta el esquema realizado en otro punto en la microcuenca 1, más abajo que el punto anterior.

Ilustración 60: Levantamiento de datos en el campo para la sección transversal del punto 2 de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

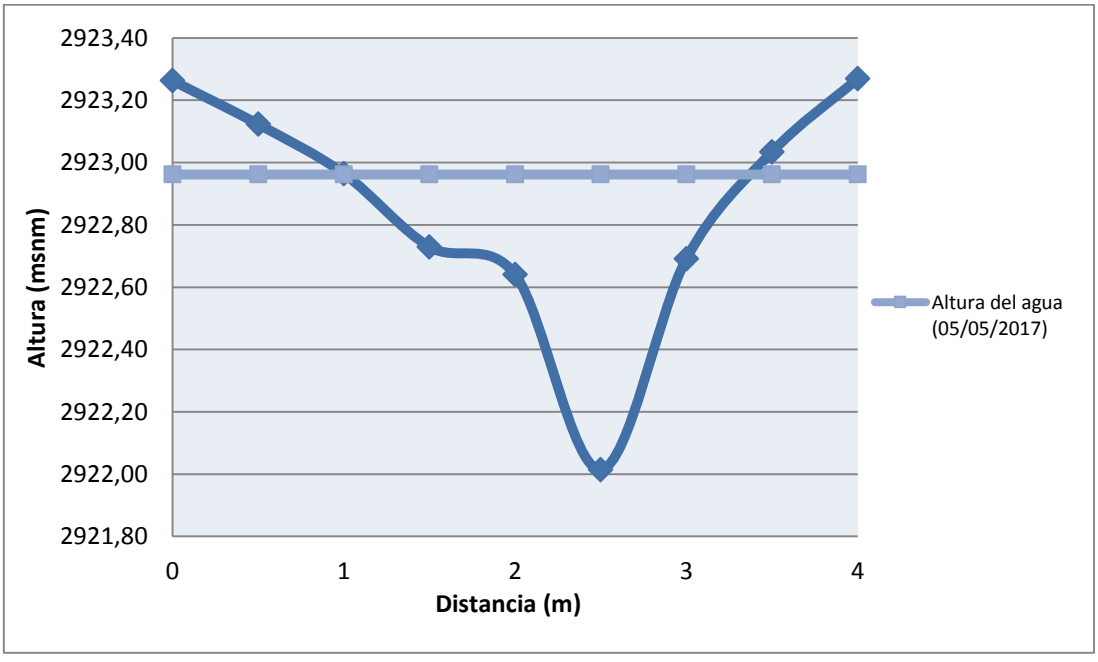

Ilustración 61: Sección transversal del rio del punto 2 de la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Se observa que la sección transversal del punto 1 y 2 de la microcuenca BVPA1 tiene una forma irregular, posee altas pendientes en su sección. Se puede decir que es un río joven ya que se encuentra en las vertientes de montaña y su tipo de sección transversal es de tipo "V", su cauce posee un alto grado de erosión, por lo tanto su flujo de agua es turbulento y su velocidad de agua no es nula.

Medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA2

Mientras que el punto 1 de la microcuenca BVPA2, la distancia del ancho del cauce fue menor a los 3 metros se pudo coger subsecciones a intervalos de 30 cm.

Tabla 30: Ubicación del punto 1 de la microcuenca BVPA2

coordenada	x (m)	y(m)	z(msnm)
punto 1	738734	9675015	3052

Elaboración: El Autor

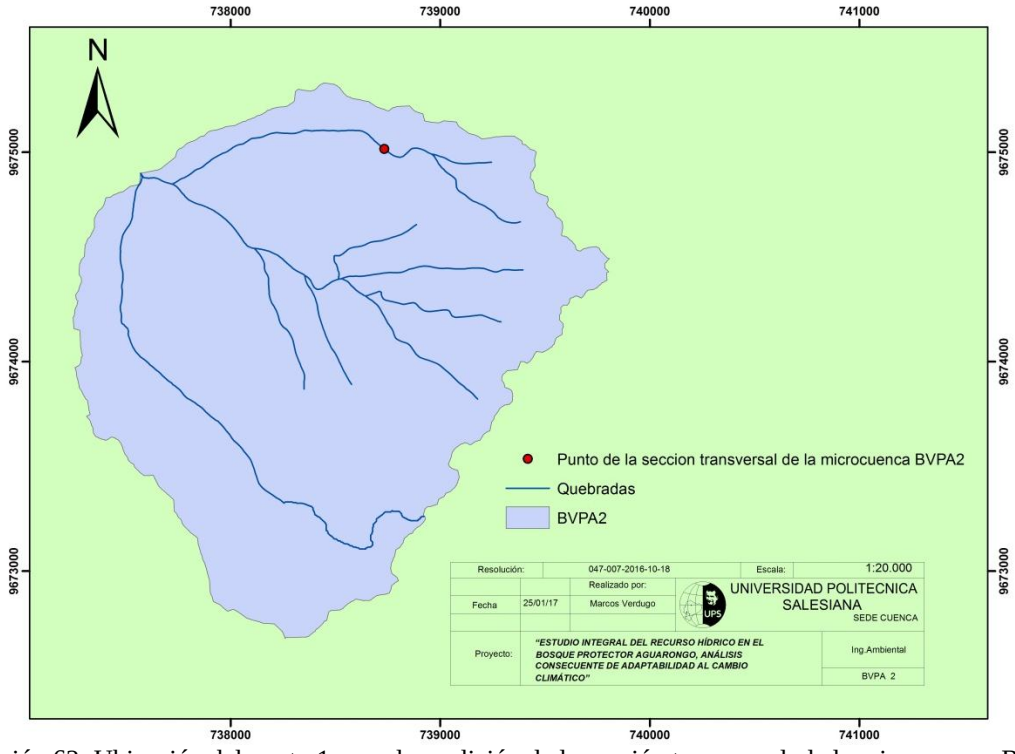

Ilustración 62: Ubicación del punto 1 para la medición de la sección transversal de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

Con esto se presenta el esquema del cauce en la coordenada geográfica del punto 1 de la microcuenca BVPA2, según la figura ilustración siguiente:

Ilustración 63: Levantamiento de datos en el campo para la sección transversal del punto 1 de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

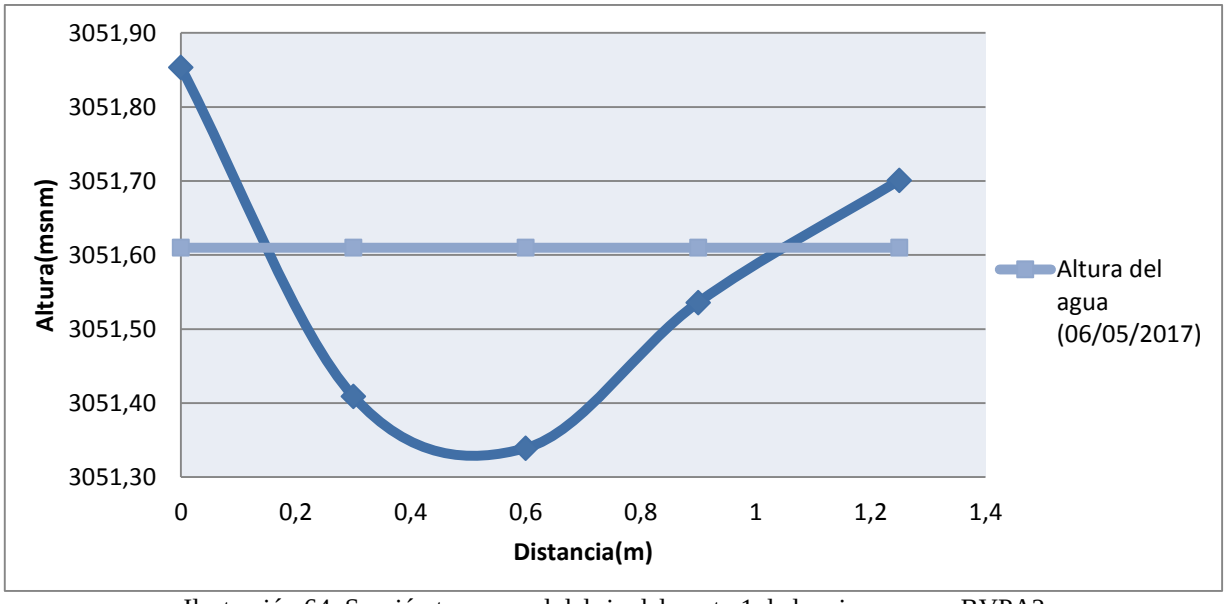

Ilustración 64: Sección transversal del rio del punto 1 de la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

Se observa que la sección transversal del punto 1 de la microcuenca BVPA2 tiene una forma regular, posee bajas pendientes en su sección, es decir que es un río maduro ya que se ubica en las planicies o valles , su cauce posee un bajo grado de erosión, su flujo de agua se comporta como transporte de los sedimentos en todo su recorrido y posee casi las mismas características de un flujo laminar en donde su velocidad de agua es mínima.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se delimitó en gabinete las microcuencas más significativos del BVPA y se elaboró los mapas de ubicación de las microcuencas y sus puntos de cierre; mediante el uso de sistemas de información geográfica que es el programa ARGIS 10.3, con la extensión Hidrology y el MDT del BVPA, que permitió calcular los datos morfométricos de las microcuencas para llevar acabo el estudio del comportamiento hidrológico.

Se generó una base de datos geo referenciada como parámetros morfométricos y sus vertientes principales de las microcuencas en el BVPA, que favorece al sistema de información ambiental en la provincia del Azuay, para futuras investigaciones referidas al estudio hidrológico.

Comparando las cuatro microcuencas se puede concluir que la microcuenca BVPA1 por tener una mayor área, por el Tc más alto, por las características de pendiente y desnivel altitudinal significativo y por qué tiene la mayor área representativa dentro del BVPA; se consideró que es una área primordial para la gestión y manejo de esta cuenca, en la conservación de los recursos naturales dentro del BVPA. Mientras que las otras tres microcuencas BVPA2, BVPA3 y BVPA4 presentan morfometría similares, esto es área similar, pendiente similar, la forma y el Tc y con menor porcentaje de influencia en el BVPA.

El tipo de cobertura vegetal de la microcuenca BVPA4 principalmente está conformada por especies no nativas como las leguminosas y gramíneas, que tienen una alta influencia antrópica esto lo demuestra el mapa de cobertura vegetal de tipo pastizal que muestra un 47,80%.

Las alturas medias de las microcuencas corresponden a un ecosistema de tipo montano. Se determinó que son microcuencas de tipo endorreicas en donde el agua fluye a otros cauces más grandes, también se consideraría microcuencas arreicas porque los cauces pequeños se vaporizan debido a la alta radiación solar de la zona o se infiltran debido a la cobertura vegetal .

Al comparar las 4 curvas hipsométricas de las microcuencas se puede decir que la cuenca BVPA1 y BVPA2 tiene comportamiento de una curva con características de una cuenca con gran potencial erosivo versus las otras microcuencas.

Referente a los análisis granulométricos realizados de los sustratos de suelos de los cauces de las microcuencas BVPA1 y BVPA2 se determinó que las partículas de arena, de la microcuenca BVPA1 corresponden a medias y finas, por lo que se asume que presenta menor infiltración superficial, a diferencia de la microcuenca BVPA2 que presenta partículas medias y gruesas, que determinarían mayor infiltración.

El perfil transversal del cauce de la microcuenca BVPA1 tiene una forma irregular de tipo V que da a entender que sería un río joven, el perfil transversal de la microcuenca BVPA2 presenta las características de un rio maduro.

5.2. Recomendaciones

En base a lo concluido se recomienda que la administración del BVPA implemente proyectos de conservación en las microcuencas estudiadas debido a la influencia antrópica en esta zona de estudio.

Se debería continuar con el estudio hidrológico una vez que se tiene la caracterización morfométrica para analizar el comportamiento del movimiento del agua en el suelo esto es a través de balances hídricos o programas como el HEC-HMS que estudia el comportamiento hidrológico.

Para un análisis más detallado de la morfometría de las microcuencas estudiadas se recomienda aplicar otras metodologías que tomen en cuenta datos más cercanos o exactos a la realidad, y adicional a ello realizar o comprobar esta información con verificación de campo que se encamine en determinar de manera exacta las características morfométricas de este espacio estudiado.

Se recomienda realizar talleres sobre la importancia de la preservación y protección del agua del BVPA y en base al presente estudio elaborar un plan de manejo ambiental para la gestión de las microcuencas.

6. Bibliografía

Bernal, J. (2012). "Caracterización Morfométrica de la Cuenca Hidrográfica Chinchao Distrito de Chinchao Provincia de Huanuco".

Ministerio del Ambiente. (2002). "Delimitación y Codificación de las Cuencas Hidrográficas en la Can - Parte 2."

Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2008). "Morfología de las Cuencas Hidrográficas."

Aguirre Jara, M., Cáceres Ángeles, F., Chinchay Poma, G., Granados Jamanca, J., & Hinostroza Jaque, L. (2014). "Estudio Hidrológico Cuenca Manta."

Ramírez López, J. L. (2015). "Alternativas de Manejo Sustentable de la Subcuenca del Río Pitura, Provincia de Imbabura, Ecuador."

Moreno Grande, F. A., & Esquivel Jiménez, J. R. (2015). "Estudio Morfométrico de la Cuenca del Río Azul, Afluente del Rio Calima, Departamento del Valle del Cauca."

Fuentes Junco, J. D. J. A. (2004). "Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro". Instituto Nacional de Ecología.

Minga, N., Sánchez, X., Bustamante, M., Correa, G., Guamán, M., Almache, C.,… Eguiguren, A. (2002). "Plan de Manejo del Bosque Protector de Aguarongo". Cuenca, Ecuador.

Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2008). "Métodos para la Determinación del Tiempo de Concentración (tc) de una Cuenca Hidrográfica."

Criollo,P,(2016). Evaluación Temporal del uso Actual de Suelo del Bosque Protector Aguarongo, Área de Estudio Gualaceo (San Juan y Jadán) y sus Áreas Colidantes. Universidad Politécnica Salesiana .Cuenca, Ecuador.

Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology .Geological Society of America Bulletin.

Vásquez, V. (2000). Manejo de Cuencas Alto Andinas. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.

Faustino, J. (2006). Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Turrialba- Costa Rica.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CA TIE).

Villanueva, M. (2002). Microcuencas (1 ed.). México.D.F.: Universidad Autónoma Chapingo.

Monsalve S, G. (1999). "Hidrología en la Ingeniería". 2da Edición. Santa Fe de Bogotá-Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Escobar, R. (1996). Cuencas hidrográficas. Separata, Riobamba, Ecuador.

Aguirre N., (2007). Manual para el Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional de Loja.

Faustino, F. (1997). Manejo de cuencas hidrográficas. Honduras.

Villon, M. (2002). Hidrología. (2, Ed.) . Lima, Perú: Editorial Villon .Instituto Tecnológico de Costa Rica-Escuela de Ingeniería Agrícola.

Aparicio, F. (1999). Fundamentos de hidrología de superficie. México, D.F.: Editorial Lirnusa. Grupo Noriega Editores.

Molina. (1975). Contribución al estudio del "upwelling" frente a la costa noroccidental de la península Ibérica (2 ed.). España: Bol. Inst.España. Pceang.

Campos, A. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico (2 ed.). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Rodríguez, C., Tapia, K., Zambrano, T., & Mendoza, X. (s.f.). Pisos Altitudinales del Ecuador. Universidad Agraria del Ecuador. http://es.calameo.com/read/004408122ab397b34731b

Mijares, A. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa. México: Grupo Noriega Editores.

Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). Elementos Meteorológicos para el manejo de cuencas hidrográficas (2 ed.). Argentina: Universidad Nacional la Plata.

Gaspari, F., Senisterra , G., Delgado, M., Rodríguez , A., & Besteiro, S. (2010). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. La Plata - Argentina.

Beltrán, G. (2010). Apuntes Cuencas Hidrográficas SIG. Universidad Técnica del Norte. Ibarra Ecuador.

Fierro, D. & Jiménez, L. (2011). Caracterización de la Microcuenca del río Manzano, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo y Propuesta de Plan de Manejo, Utilizando Herramientas SIG. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui, Ecuador.

Burbano, F. (1989). Notas de Hidrología preparado para el 4° Año de ingeniería Forestal. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

López Cadenas de Llano, F & Mintegui Aguirre, JA. (1987). Hidrología de superficie. Madrid: Editorial Salazar. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

Villela, S.M. & Mattos, A. (1975). Hidrología Aplicada. São Paulo, Brasil.

Rodrigues, V.A. (2014). Evaluación de los procesos hidrológicos en microcuencas hidrográficas. Universidad Estatal Paulista (UNESP). Botucatu, San Paulo, Brasil.

Heras, R. (1972). Manual de Hidrología. Madrid, España: Instituto de Hidrología.

Domínguez Cortázar, M. Á. (2015). Qué es una Curva Hipsométrica. http://www.ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/

Llamas, J. (1993).Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Bilbao: Servicios Editorial de la Universidad del País Vasco.

Alonso, D. (2014). Cómo crear un MDT a partir de curvas de nivel .https://mappinggis.com/2014/01/como-crear-un-mdt-partir-de-curvas-de-nivel/.

Yaguachi, T. (2013). Diagnóstico Ambiental y Desarrollo del Plan de Manejo y Conservación de la Subcuenca del Río Chillayacu de la Cuenca Media del Río Jubones en la Provincia de el Oro. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.

Delgadillo, A. y Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas. En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (editores). Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la Prevención de los Riesgos del estado Mérida (FUNDAPRIS).

Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En:Chow, V (ed.). **Handbook of Applied Hydrology.** Mc Graw-Hill. New York - USA. Mc Graw-Hill.

Chorley, R.J. (1969).The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In Chorley, R.J. (Ed.): Introduction to Physical Hydrology, London, Methuen.

Gregory J.K., & Walling E.D. (1985). Drenaige Bassin Analysis. The Bath Press. Victoria, Australia.

Díaz C, Khalidou B, Iturbe A, Esteller M, Reyna F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. Ciencia Ergo Sum.

Mantilla R., Mesa O, & Poveda G. (2005). Geometría, topología y morfometría de las cuencas Magdalena-Cauca a partir de modelos digitales de elevación de terreno. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Viramontes Olivas O, Escoboza García L, Pinedo Álvarez C, Pinedo Álvarez A, Reyes Gómez V, Román Calleros J & Pérez-Márquez A. (2008*)*. Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos,Chiguagua . Tecno ciencia.

Universidad Católica de Valparaíso. (s.f.). Análisis Granulométrico.http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf

Aguirre N., (2011). Manejo de Microcuencas. https://nikolayaguirre.com/2011/12/29/manejo-de-microcuencas/

Cordero Domínguez, I. (2013). Evaluación de la Gestión territorial de la Cuenca del rio Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas.

Sánchez, J., & Maza, J. (1985). Morfología de Ríos.

Montoya, Y., & Montoya, B. (2009). "Caracterización morfométrica de la microcuenca de la Quebrada los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia". Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), 146.

Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, I., & Besteiro, S. (2012). "Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina". 7mo Congreso de Medio Ambiente, 1–25.

Segovia, L. (2015). "Caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica en los Andes Venezolanos a través de Teledetección y Sig". Revista ACADEMIA - Trujillo.

Cerignoni, F., & Rodriguez, V. (2015). "Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, Sao Paulo, Brasil". Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales.

Esquivel Arriaga, G., Bueno Hurtado, P., Sánchez Cohen, I., Velásquez Valle, M. A., & Muñoz Villalobos, J. (2015). "Delimitación y análisis morfométrico de tres cuencas del Norte-Centro de Mexico". Agrofaz.

Duran, M. O., Tamayo, J. A., & Tapias, W. E. (2015). Análisis Morfométrico Cuenca de la Quebrada "La Colorada".

Guerra, F., & González, J. (2002). "Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada la Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela". Geoenseñanza.

Delgado, M., & Gaspari, F. (2010). "Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina". Tecnociencia Chihuahua, IV (3).

Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México."

Salas Aguilar, V., Pinedo Álvarez, C., Viramontes Olivas, O., Báez González, A., & Quintana Martínez, R. (2011). "Morfometría de la cuenca del río Nazas- Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial". Tecnociencia Chihuahua.

Delgado, O., & Samaniego, P. (2016). "Extensión Hidrology".

Díaz, I., Cruz, J., Laura, M., & Hurtado, M. (2012). Laboratorio no. 03 análisis granulométrico por tamizado norma inv. E: 123-213. Bogotá, Colombia.

Acosta, R., Hampel, H., González, H., Mosquera, P., Sotomayor, G., & Galarza, X. (2014). "Protocolo de evaluación de la calidad biológica de los ríos de la región austral del Ecuador". ETAPA EP, SENAGUA - DHS. Universidad de Cuenca. Programa PROMETEO de la SENESCYT.

Tragsa. (1994). "Restauración hidrológica forestal de las cuencas y control de erosión". Mundiprensa. Madrid, España.

SENAGUA. (2009). "Delimitación y codificación de unidades Hidrográficas del Ecuador". Secretaría nacional del agua del Ecuador.

Duque Sarango, P. J. (2012). Estudio de la influencia de la adición de cloruro férrico en la sedimentabilidad de los fangos activados. Universidad Politécnica de Valencia.

Duque Sarango, P.J & Chinchay Rojas, L.V. (2008).Caracterización de residuos sólidos, efluentes residuales y evaluación de impactos ambientales en tres mataderos de ganado en la provincia de Loja-Ecuador. III Congreso Interamericano de Salud Ambiental Ecuador.

7. ANEXOS:

7.1. Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA1

Ilustración 65: Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

Ilustración 66 : Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA1
Elaboración: El Autor

7.2. Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA2

Ilustración 67: Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

Ilustración 68: Toma de muestras de suelo en la microcuenca BVPA2
Elaboración: El Autor

7.3. Tablas de datos de las secciones transversales de la microcuenca BVPA1

Tabla 31: Datos de la sección transversal del rio del punto1 de la microcuenca BVPA1

Distancia(m)	Altura(msnm)
0	2930,68
0,5	2930,51
1	2930,46
1,5	2930,11
2	2929,97
2,5	2928,99
3	2929,03
3,5	2928,91
4	2928,89
4,5	2928,91
5	2929,03
5,5	2929,02
6	2929,19
6,5	2929,40
7	2929,82
7,5	2930,00
8	2930,19
8,75	2930,58

Elaboración: El Autor

Tabla 32: Datos de la sección transversal del rio del punto 2 de la microcuenca BVPA1

Distancia(m)	Altura(msnm)
0	2923,26
0,5	2923,12
1	2922,96
1,5	2922,73
2	2922,64
2,5	2922,01
3	2922,69
3,5	2923,03
4	2923,27

Elaboración: El Autor

7.4. Tabla de datos de la sección transversal de la microcuenca BVPA2

Tabla 33: Datos de la sección transversal del rio del punto 1 de la microcuenca BVPA2

Distancia(m)	Altura(msnm)
0	3051,85
0,3	3051,41
0,6	3051,34
0,9	3051,54
1,25	3051,70

Elaboración: El Autor

7.5. Perfiles longitudinales de los cauces principales de las microcuencas del BVPA

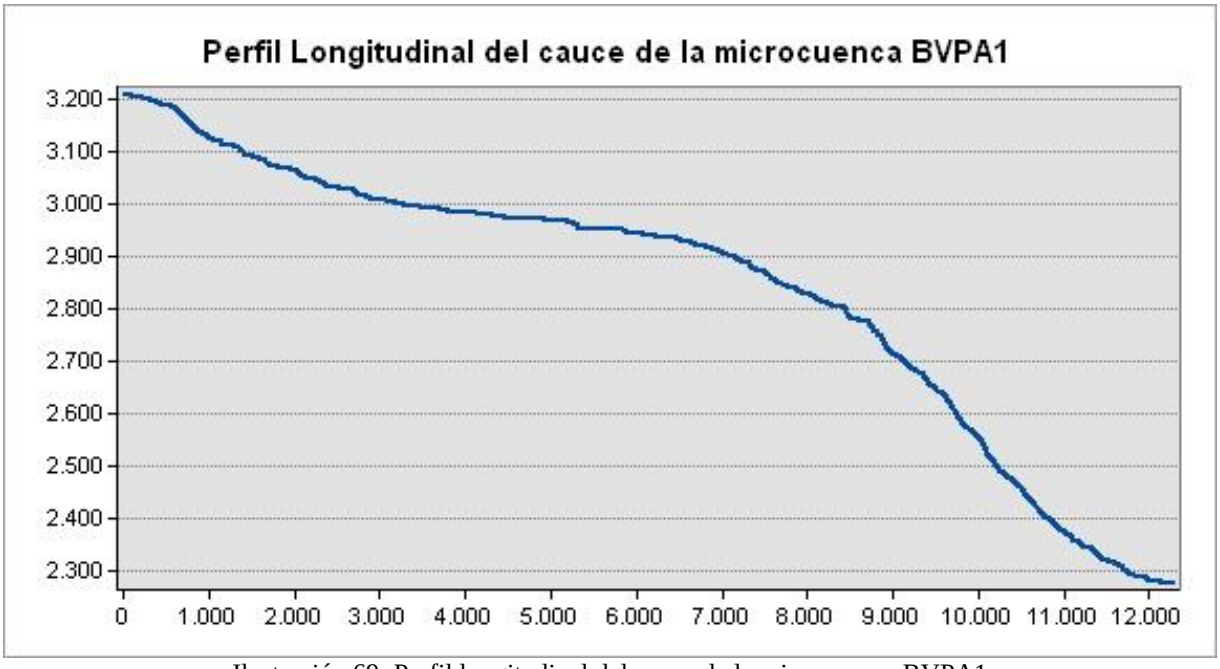

Ilustración 69: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA1
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

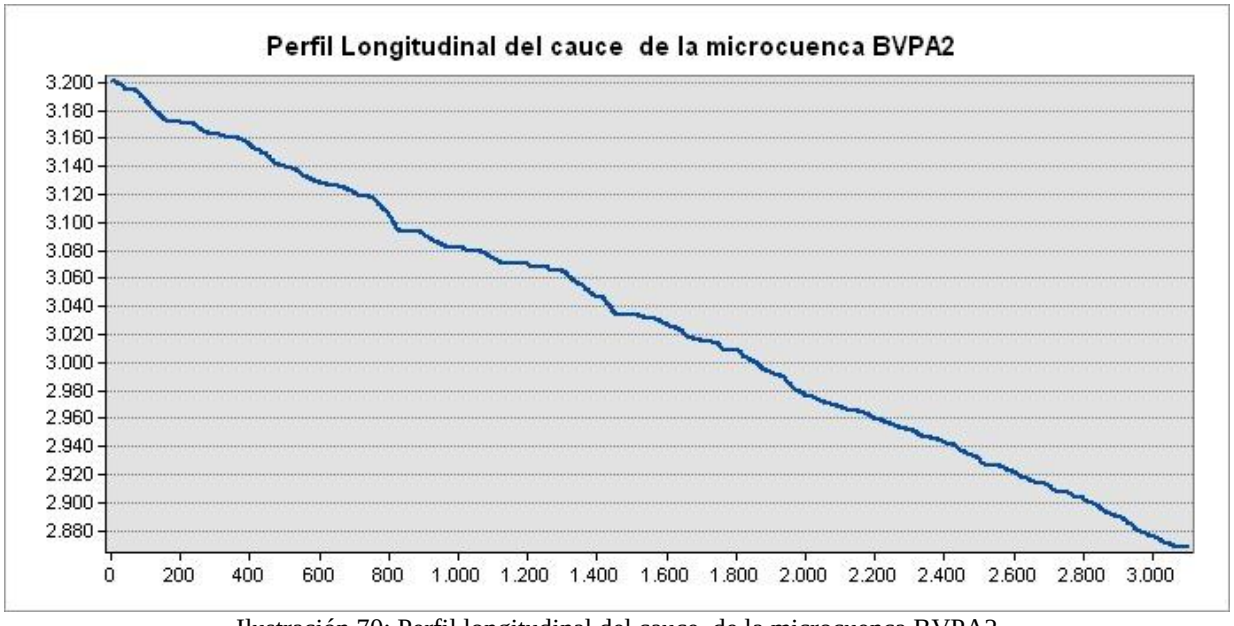

Ilustración 70: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA2
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

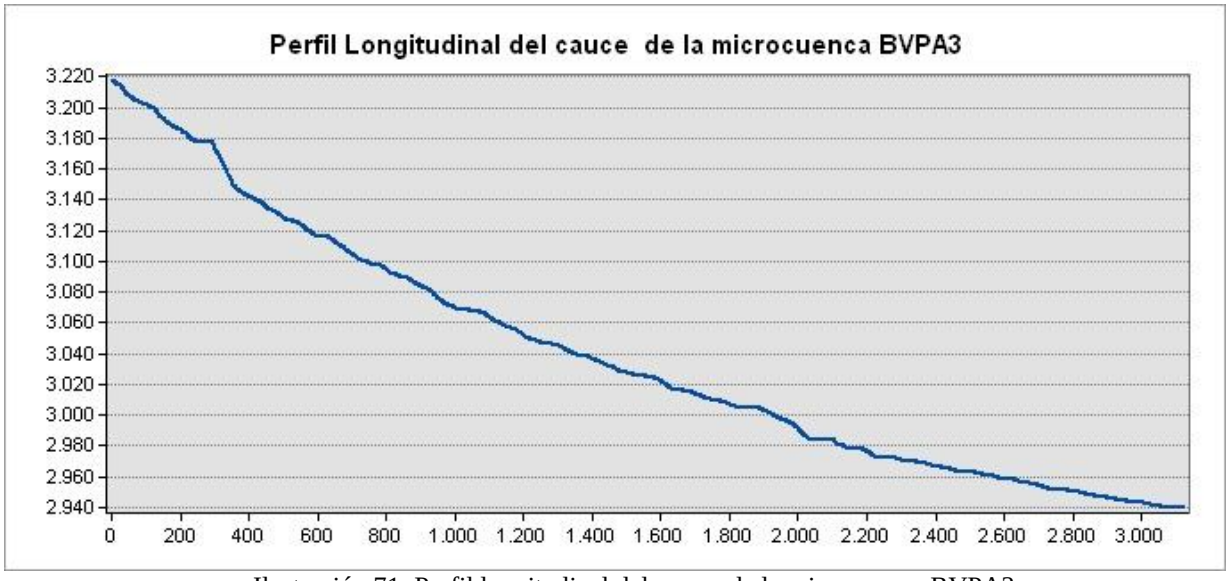

Ilustración 71: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA3
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

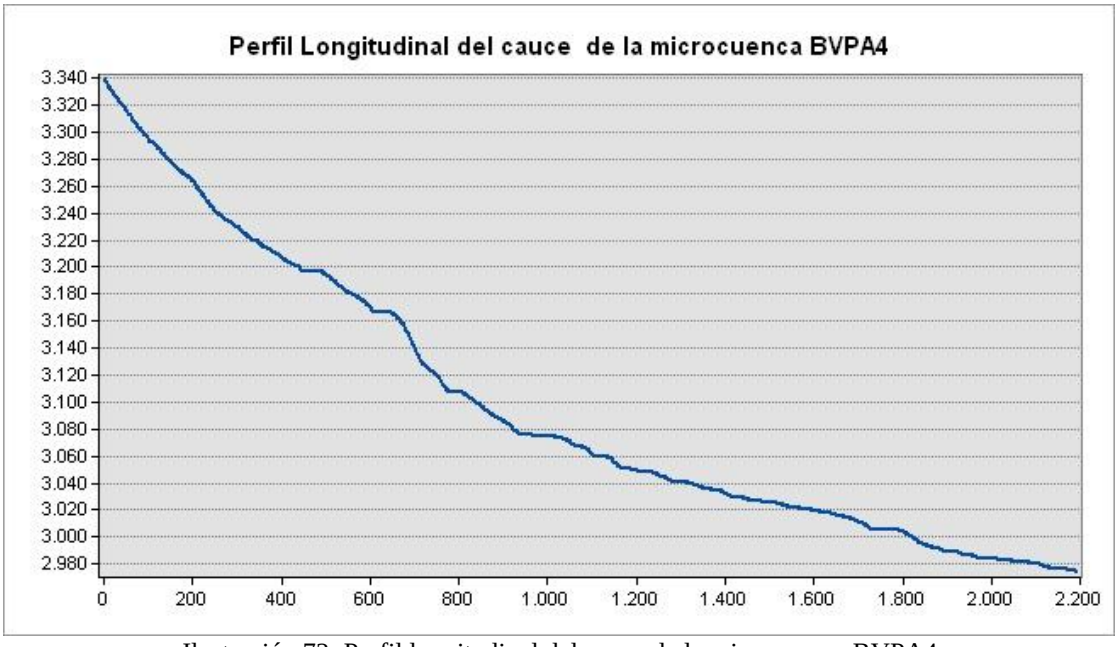

Ilustración 72: Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca BVPA4
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

7.6. Mapa del Modelo Digital del Terreno del BVPA

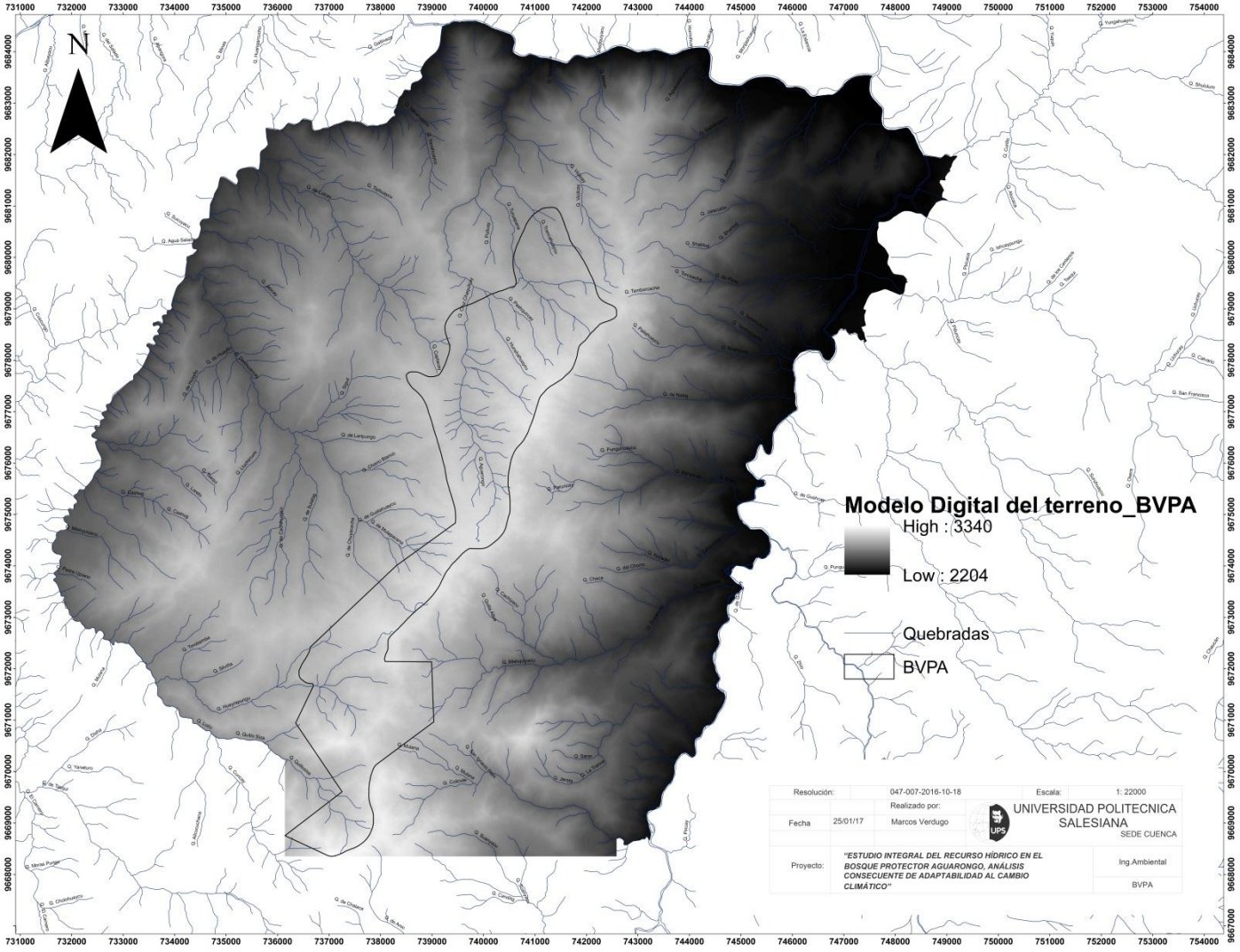

Ilustración 73: Modelo Digital del Terreno del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: El Autor

7.7. Mapa de pendientes del BVPA

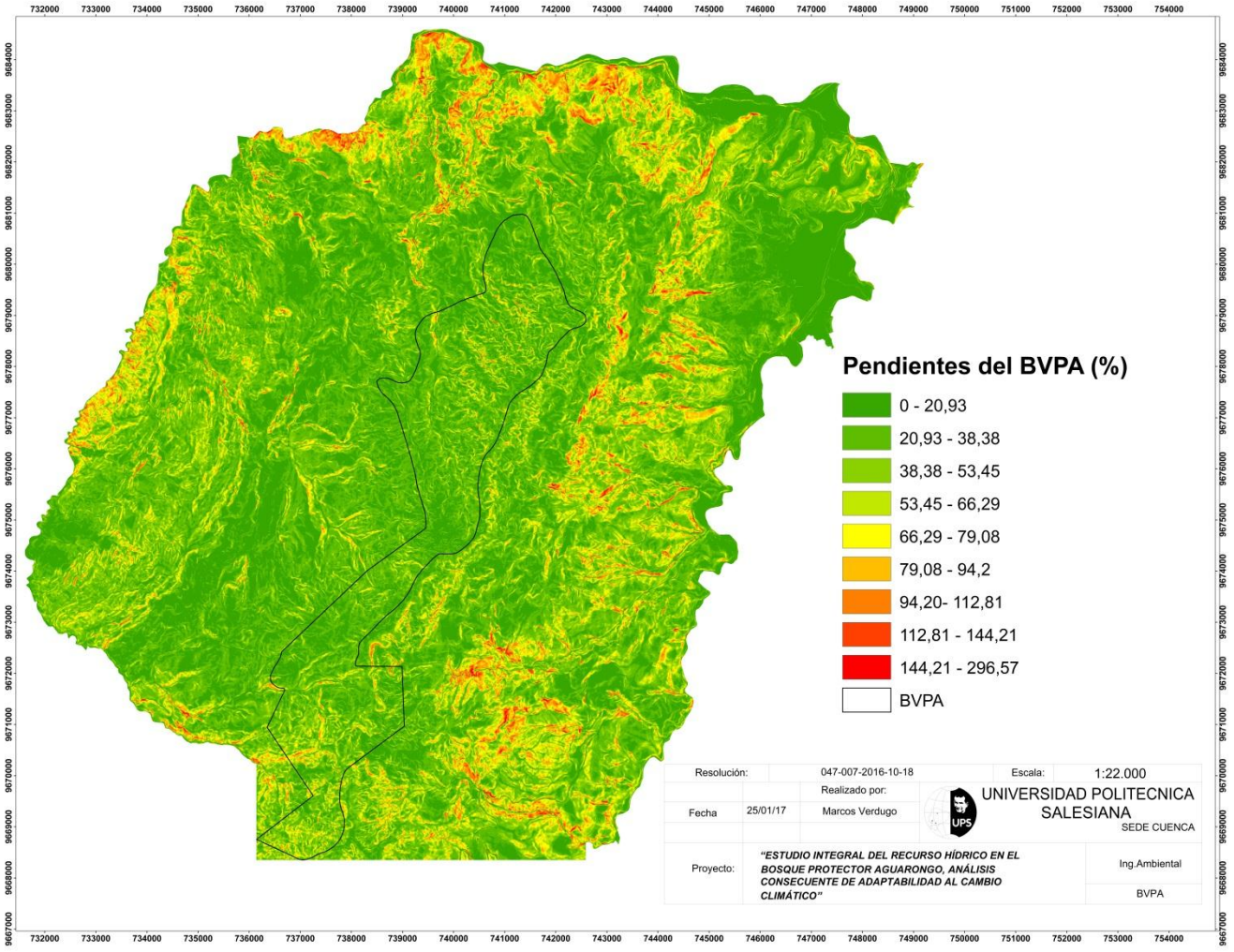

Ilustración 74: Mapa de pendientes del BVPA
Fuente: Universidad del Azuay
Elaboración: EL Autor

7.8. Mapas de cobertura vegetal de las microcuencas del BVPA

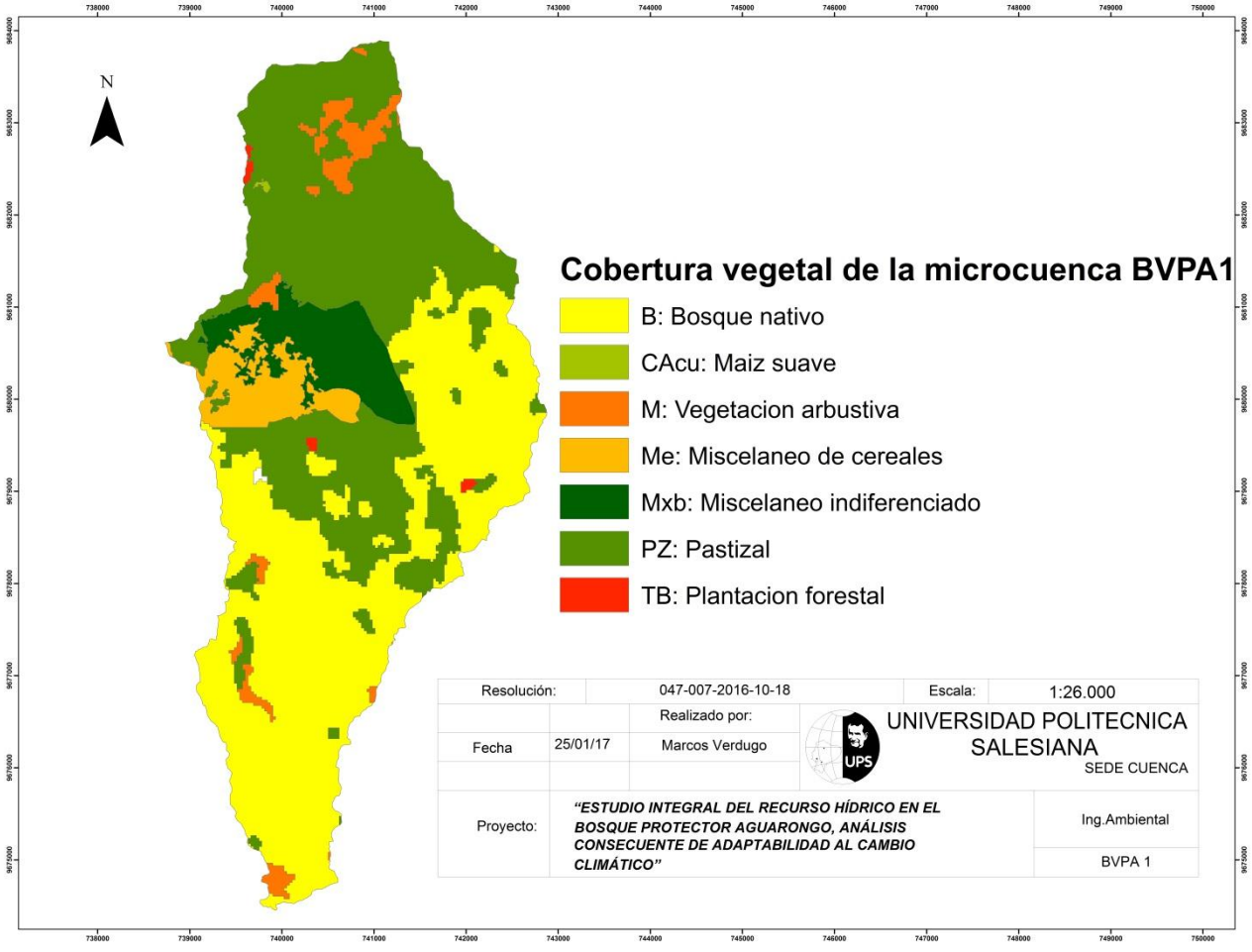

Ilustración 75: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA1
Fuente: MAGAP (2014)
Elaboración: EL Autor

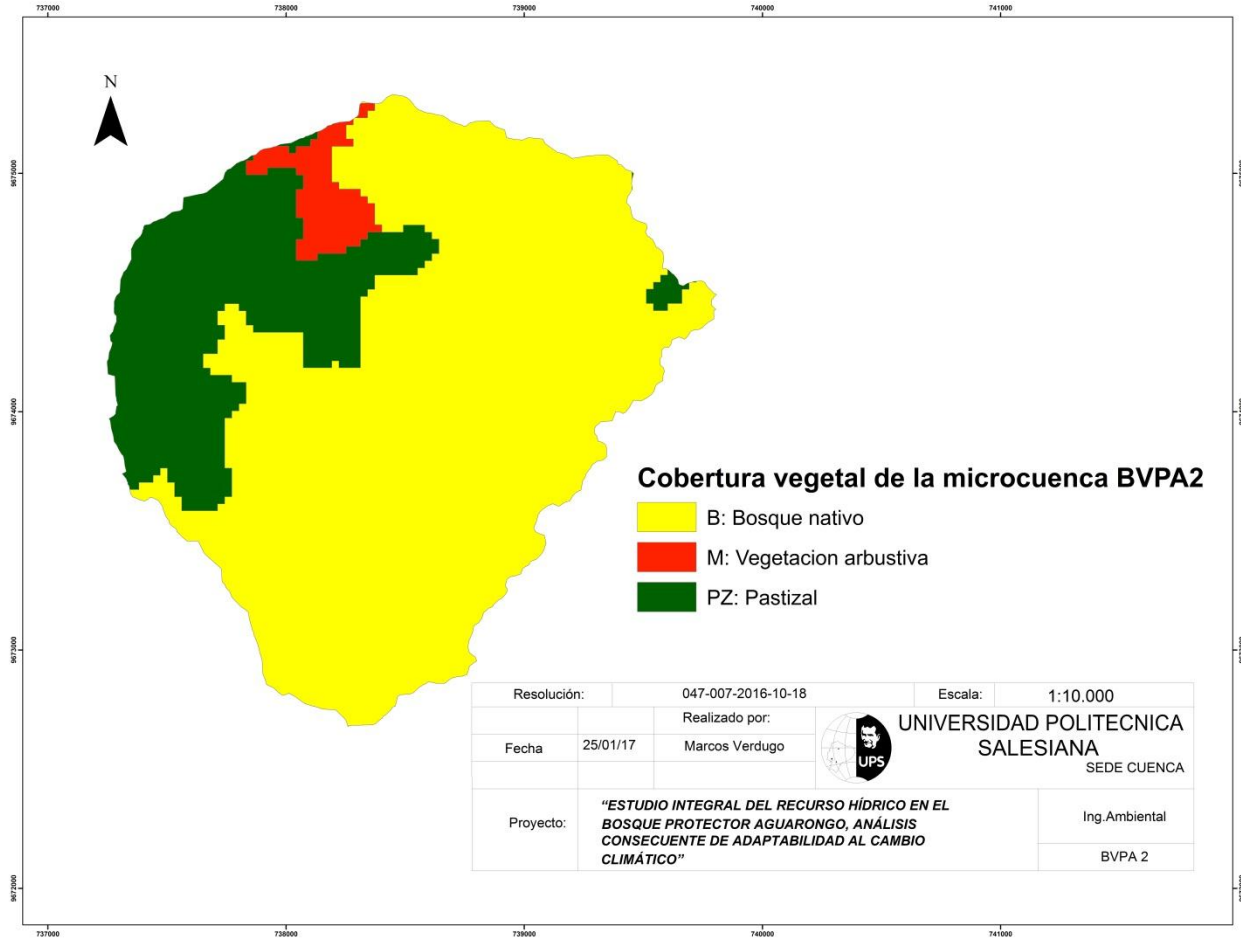

Ilustración 76: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA2
Fuente: MAGAP (2014)
Elaborador: EL Autor

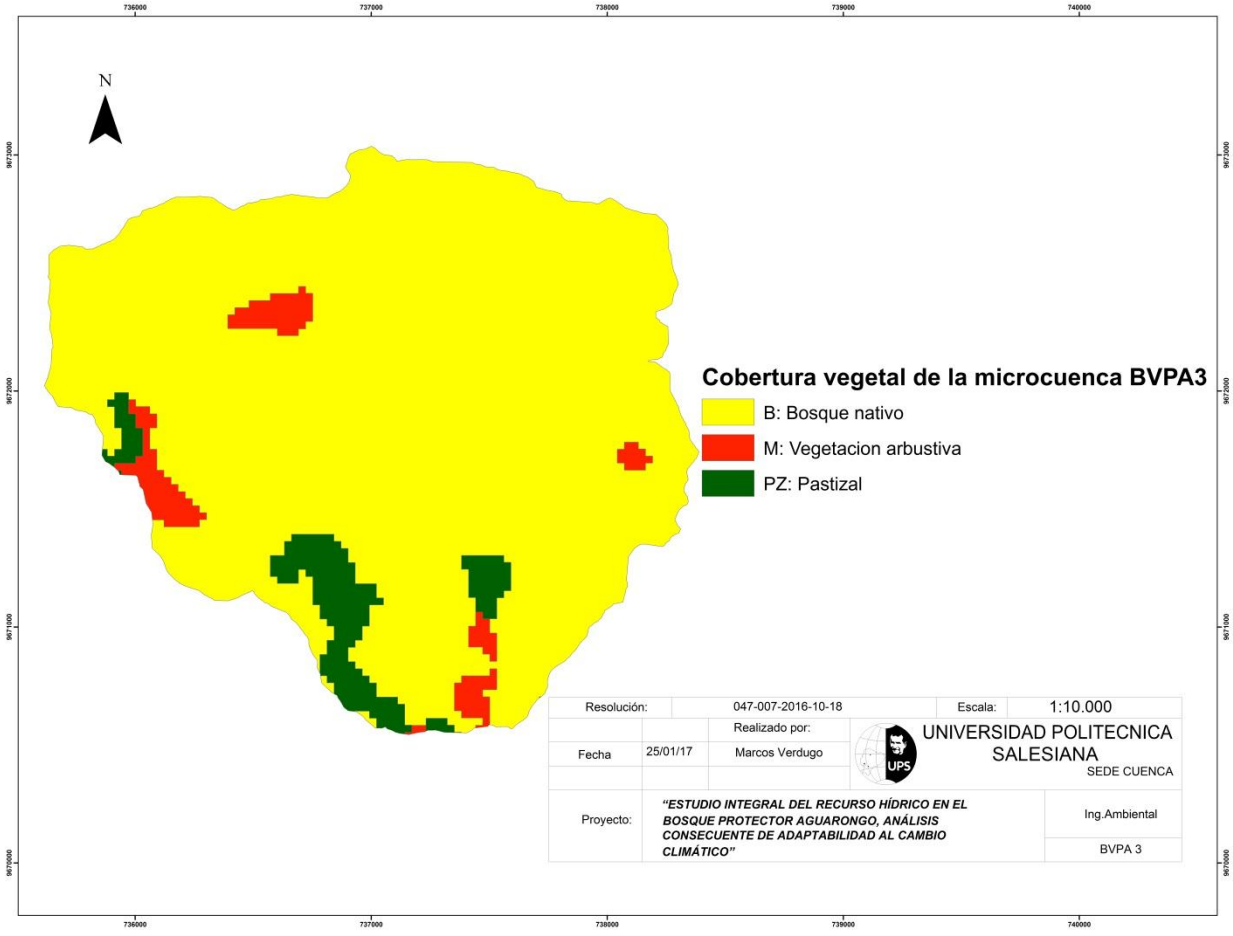

Ilustración 77: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA3
Fuente: MAGAP (2014)
Elaborador: EL Autor

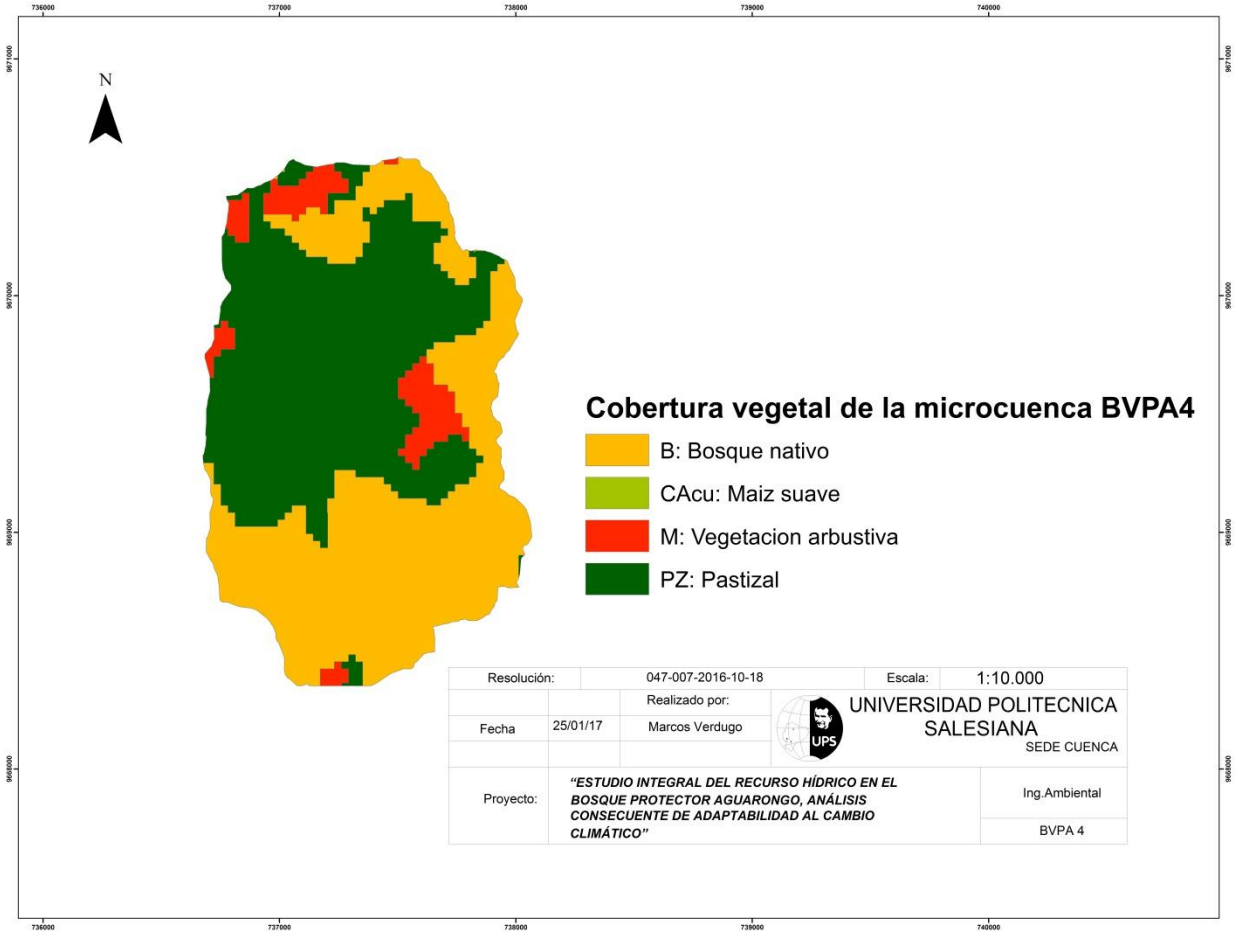

Ilustración 78: Cobertura vegetal de la microcuenca BVPA4
Fuente: MAGAP (2014)
Elaborador: EL Autor