

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ESTUDIO GEOLOGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA
RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS
CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE
DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION – CUSCO

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Geólogo

Presentado por:

Bach. Juvenal Meza Quispe

Asesor:

Mgt. Edison Santiago Mattos Ojeda

Cusco-Perú

2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: ESTUDIO GEOLOGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA RIBERENA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION- CUSCO presentado por: Juvenal Meza Quispe

con Nro. de DNI: 70031604, para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero geologo

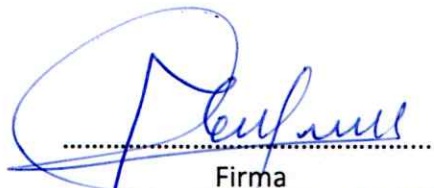
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3%

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 02 de febrero de 2023


Firma

Post firma EDISON SANTAGO MATOS

Nro. de DNI 23853084

ORCID del Asesor 0000-0002-3236-025X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:202251003

NOMBRE DEL TRABAJO

**Estudio Geologico e Hidrologico para la
defensa ribereña del rio Vilcabamba y su
s afluentes de los c**

AUTOR

Juvenal Meza Quispe

RECUENTO DE PALABRAS

47746 Words

RECUENTO DE CARACTERES

264788 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

192 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

12.3MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 2, 2023 4:55 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 2, 2023 4:57 PM GMT-5

● 3% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

A Dios, Por darme la vida y estar siempre conmigo guiándome para cumplir con mis metas trazadas.

A mis padres y familiares por llenarme de alegría día a día, por todos los consejos brindados y a mis amigos incondicionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis padres y a todas las personas que hicieron posible esta investigación y de alguna manera estuvieron en el momento o lugar indicado para darme una mano y brindarme consejos sabios.

Al asesor y docentes por los consejos brindados y su tiempo.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo central determinar las condiciones geomorfológicas, geológicas e hidrológicas para la defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, ante avenidas extraordinarias; para cuyo efecto, se ha diseñado una investigación de tipo aplicada, descriptiva, de enfoque mixto y diseño no experimental, utilizando técnicas de recolección de datos como: la elaboración de mapas base con coordenadas específicas; cartografiado geológico-estructural con determinaciones de dirección y buzamientos de estratos, fallas y delimitaciones de zonas de contacto de litologías; parámetros morfométricos de las áreas de estudio para la determinación de las características físicas de las cuencas e intercuencas de estudio; determinación de caudales; precipitaciones medias anuales; temperaturas medias anuales, etc., a través de la utilización de equipos y materiales de campo, gabinete y laboratorio. Las conclusiones a las que se arribó en la investigación en términos geomorfológicos fueron: la presencia preponderante de pendientes empinadas, fuertemente empinadas o escarpadas tanto en la cuenca de Vilcabamba la cual es de orden o nivel 6 con código 4994828 y como en la intercuenca de Huaychaumarca. Las características geológicas de la cuenca de Vilcabamba presentan ocho formaciones litológicas y cuatro depósitos glaciares. Las características estructurales de la zona de estudio demuestran que existen fallas de rumbo normales e inversas; afloramientos de estructuras de pizarra con diferentes fracturas, direcciones y familias, así como estructuras de areniscas cuarzosas y once estratos debidamente diferenciados. El análisis de las características geodinámicas muestra deslizamientos de tipo traslacional; flujo de detritos compuestos por una mezcla de sedimentos y rocas desprendidas en diferentes partes de la cuenca de Vilcabamba; erosión de cárcavas y riberas; socavaciones principalmente en los centros poblados de Pucyura y Habaspata y desbordes al sur del poblado de Huancacalle. El análisis de las características hidrológicas evidencia un promedio de precipitación media anual de 1,642.8 mm en la zona de estudio y de 1,433.1 mm en la zona de Vilcabamba, con una ecuación de regresión potencial de $Y=499.11(x)^{0.1556}$; una temperatura media anual de 8.4 °C, las mismas que va descendiendo en la medida en que se eleva la altitud; una evapotranspiración promedio de 70.82%. La estimación de caudales señala que el caudal del río Vilcabamba alcanza a 4.73 m³/seg y del río Huaychaumarca a 0.14 m³/seg. Las temperaturas medias mensuales en la intercuenca de Huaychaumarca con código 4994829, son ligeramente mayores a la cuenca de Vilcabamba con código 4994828 de acuerdo a la codificación de

pfafstetter. El estudio de las características geotécnicas a través de las calicatas realizadas muestra que existen diversos estratos de suelos limo-arcillosos de alta plasticidad, compuestos por grava limosa y mezcla de arena y limo en el suelo A-1-b; grava limosa con mezcla de arena y limo de color pardo rojizo en el suelo A-1-a; y arenas, limos y arcilla con ligera plasticidad en suelo A-4, todas en el sistema ASSHTO; siendo recomendable la construcción de defensas ribereñas en la zona, utilizando la alternativa de gaviones o enrocados.

Palabras clave

Geomorfología, geología, hidrología, geodinámica, geotecnia, Vilcabamba, Huaychaamarca, defensa ribereña.

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the geomorphological, geological and hydrological conditions for the riparian defense of the Vilcabamba River and its tributaries in the populated centers of Pucyura, Habaspata and Huancacalle in the district of Vilcabamba, province of La Convención, against extraordinary floods; For this purpose, an applied, descriptive, mixed approach and non-experimental design research has been designed, using data collection techniques such as: the preparation of base maps with specific coordinates; geological-structural mapping with determinations of direction and dips of strata, faults and delimitations of lithology contact zones; morphometric parameters of the study areas to determine the physical characteristics of the study basins and inter-basins; determination of flows; average annual rainfall; average annual temperatures, etc., through the use of field, cabinet and laboratory equipment and materials. The conclusions reached in the investigation in geomorphological terms were: the predominant presence of steep, strongly steep or steep slopes both in the Vilcabamba basin and in the Huaychaumarca inter-basin. The geological characteristics of the Vilcabamba basin present eight lithological formations and four glacial deposits. The structural characteristics of the study area show that there are normal and reverse strike-slip faults; outcrops of slate structures with different fractures, directions and families, as well as quartz sandstone structures and eleven duly differentiated strata. The analysis of the geodynamic characteristics shows translational type landslides; debris flow composed of a mixture of sediments and loosened rocks in different parts of the Vilcabamba basin; erosion of gullies and riverbanks; undermining mainly in the populated centers of Pucyura and Habaspata and overflows to the south of the town of Huancacalle. The analysis of the hydrological characteristics shows an average mean annual precipitation of 1,642.8 mm in the study area and 1,433.1 mm in the Vilcabamba area, with a potential regression equation of $Y=499.11(x) 0.1556$; an average annual temperature of 8.4 °C, the same that goes down as the altitude rises; an average evapotranspiration of 70.82%. The estimation of flows indicates that the flow of the Vilcabamba River reaches 4.73 m³/sec and that of the Huaychaumarca River reaches 0.14 m³/sec. The average monthly temperatures in the Huaychaumarca interbasin are slightly higher than in the Vilcabamba basin. The study of the geotechnical characteristics through the pits carried out shows that there are various strata of highly plastic clay-loam soils, composed of silty gravel and a mixture of sand and silt in soil A-1-b; silty gravel with a mixture of sand and reddish-brown silt in soil A-1-a; and sands, silts and clay with slight plasticity in soil A-4, all in the ASSHTO

system; The construction of riverside defenses in the area is recommended, using alternative gabions or rockfill.

Keywords

Geomorphology, geology, hydrology, geodynamics, geotechnics, Vilcabamba, Huaychaamarca, riparian defense.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	vi
Índice General.....	viii
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Figuras.....	xv
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Descripción del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Hipótesis de Investigación.....	3
1.4.1. Hipótesis General.....	3
1.4.2. Hipótesis Específicas.....	4
1.5. Justificación.....	4
1.6. Variables de Investigación.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	6
1.7.1. Tipo de Investigación.....	6
1.7.2. Nivel de Investigación.....	6
1.7.3. Enfoque de Investigación.....	6
1.7.4. Diseño de Investigación.....	6
1.8. Recolección de Datos.....	6
1.8.1. Técnicas.....	6
1.8.2. Equipos.....	7

1.8.3. Materiales	7
1.8.4. Laboratorio	7
1.9. Ubicación y Accesibilidad.....	7
1.9.1. Ubicación Política.....	7
1.9.2. Ubicación Geográfica	8
1.9.3. Ubicación Hidrográfica	9
1.9.4. Accesibilidad	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de Investigación	11
2.2. Base Legal.....	11
2.3. Marco Teórico Conceptual.....	12
2.3.1. Geomorfología Regional	12
2.3.2. Geología Regional	15
2.3.3. Geología Estructural	19
2.3.4. Erosión.....	21
2.3.5. Socavación	23
2.3.6. Geodinámica.....	26
2.3.7. Hidrología.....	29
2.3.8. Geotecnia.....	35
2.3.9. Métodos de Protección de Riberas	39
CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	43
3.1. Pendientes.....	43
3.1.1. Fisiografía de la Cuenca Vilcabamba e Intercuenca Huaychaumarca	47
3.2. Geomorfología	56
3.2.1. Cima de Montaña.....	58
3.2.2. Vertiente Disectada de Montaña	59
3.2.3. Cono Aluvial de Montaña	60
3.2.4. Fondo de Valle de Montaña	60
3.2.5. Laguna	61
3.3. Parámetros Morfométricos.....	63
3.3.1. Parámetros Morfométricos de la Cuenca Vilcabamba	63
3.3.2. Parámetros Morfométricos de la Intercuenca Huaychaumarca.....	70

3.4. Parámetros hidro morfométricos de la Cuenca Vilcabamba	71
3.4.1. Forma de Drenaje	72
3.4.2. Grado de Ramificación.....	72
3.4.3. Longitud del curso principal y longitud total de drenajes de diferentes grados	72
3.4.4. Pendiente media del curso principal y desnivel del curso principal.....	72
3.4.5. Densidad de Drenaje	72
3.4.6. Relación de Bifurcación de Ríos	72
3.4.7. Perfil Longitudinal del Cauce Principal	73
3.5. Parámetros hidro morfométricos de la Intercuenca Huaychaumarca.....	74
3.5.1. Perfil Longitudinal del Cauce Principal	75
CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES LOCALES	76
4.1. Caracterización Litológica	76
4.1.1. Grupo Ollantaytambo (CaOi-o/Ind).....	76
4.1.2. Formación San José (Om-si)	76
4.1.3. Grupo Copacabana (Pi-c)	76
4.1.4. Grupo Mitu (PsT-m)	77
4.1.5. Formación Maras (Kis-ma).....	78
4.1.6. Formación Vilquechico (Kis-vi).....	78
4.1.7. Formación Ausangate (KsP-au).....	78
4.1.8. Formación Muñani (KsP-mu)	79
4.1.9. Depósito Glaciar (Qh-gl)	79
4.1.10. Depósito Fluvioglaciar (Qh-fl).....	79
4.1.11. Depósito Aluvial (Qh-al)	80
4.1.12. Depósito Coluvial (Qh-co).....	81
4.2. Características Estructurales	83
4.2.1. Fallas	83
4.2.2. Análisis estructural de las pizarras de la formación San José.....	83
4.2.3. Análisis estructural de las areniscas de Grupo Copacabana	86
4.2.4. Columna Estratigráfica.....	88
CAPÍTULO V: CARACTERÍSTICAS GEODINÁMICAS	91
5.1. Geodinámica externa de la Cuenca Vilcabamba	91
5.1.1. Deslizamientos.....	91

5.1.2. Flujo de detritos.....	91
5.1.3. Erosión.....	92
5.1.4. Socavación.....	94
5.1.5. Desborde	95
5.2. Geodinámica externa de la Intercuenca Huaychaamarca.....	95
5.2.1. Flujo de detritos.....	95
5.2.2. Erosión.....	95
5.2.3. Socavación.....	97
CAPÍTULO VI: CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	100
6.1. Análisis, interpretación y evaluación de los datos meteorológicos.....	100
6.1.1. Información meteorológica	100
6.2. Análisis de precipitaciones.....	101
6.2.1. Completado y extensión de datos.....	101
6.3. Regionalización de parámetros climáticos	101
6.3.1. Regionalización de la precipitación	101
6.3.2. Regionalización de la precipitación para la cuenca de Vilcabamba	104
6.3.3. Regionalización de la precipitación para la intercuenca Huaychaamarca	109
6.4. Análisis de temperatura	112
6.4.1. Regionalización de las temperaturas media para la cuenca Vilcabamba.....	112
6.4.2. Regionalización de las temperaturas para la intercuenca Huaychaamarca	114
6.5. Determinación de evapotranspiración real (ETR) y coeficiente de escurrimiento Ce (%) ...	115
6.6. Estimación de caudales	116
6.6.1. Método directo	116
6.6.2. Método directo	118
6.6.3. Precipitación máxima y periodos de retorno	124
6.6.4. Curvas IDF	126
6.6.5. Hietograma.....	129
6.6.6. Tiempos de concentración	131
6.6.7. Generación de máximas avenidas por método empírico	131
6.6.8. Modelamiento hidrológico (HEC – HMS).....	134
CAPÍTULO VII: CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.....	140
7.1. Generalidades.....	140

7.2. Normatividad.....	140
7.3. Estudio de suelos.....	140
7.3.1. Trabajos realizados de calicatas in-situ.....	141
7.3.2. Trabajo de Auscultación con PDL in-situ.....	141
7.3.3. Trabajos realizados en laboratorio	142
7.3.4. Descripción estratigráfica de calicata N°01.....	145
7.3.5. Descripción estratigráfica de calicata N°03.....	146
7.3.6. Descripción estratigráfica de calicata N°03.....	147
7.4. Análisis de canteras.....	148
7.4.1. Descripción de cantera	149
7.4.2. Ubicación de canteras para protección de riberas con gaviones o enrocados utilizando los materiales de cantos rodados.....	150
CAPÍTULO VIII: ALTERNATIVAS DE DEFENSA RIBEREÑA PROPUESTAS	153
8.1. Gaviones.....	153
8.1.1. Gavión.....	154
8.1.2. Colocado de gavión en situ	154
8.1.3. Delimitación de espacio para colocado de gaviones en el rio Huaychaamarca para un periodo de retorno de caudal máximo en 100 años	154
8.2. Enrocado ciclópeo	160
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES.....	166
BIBLIOGRAFÍA.....	167
ANEXOS II: REGISTRO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS SENAMHI	169
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Variables de la investigación	5
Tabla 2: Ubicación Política.....	8
Tabla 3: Ubicación Geográfica de los centros poblados	8
Tabla 4: Cronología de los principales sismos registrados en el departamento de Cusco	28
Tabla 5: Clasificación del flujo en canales.....	33
Tabla 6: Metodología para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning.....	35
Tabla 7: Clasificación de suelos según el tamaño de partículas.....	36
Tabla 8: Valores de cohesión y el ángulo de rozamiento interno.....	37
Tabla 9: Pendientes de la Cuenca Vilcabamba.....	43
Tabla 10: Pendientes de la Intercuenca Huaychaumarca	44
Tabla 11: Caracterización de la fisiografía de la Cuenca Vilcabamba.....	47
Tabla 12: Caracterización de la fisiografía de la Intercuenca Huaychaumarca	48
Tabla 13: Unidades Geomorfológicas del área de estudio.....	57
Tabla 14: Rango aproximado de factor de forma	64
Tabla 15: Tabla de índice o coeficiente de compacidad	64
Tabla 16: Tiempo de concentración Cuenca Vilcabamba	67
Tabla 17: Morfometría de la Intercuenca Huaychaumarca.....	68
Tabla 18: Tiempo de concentración Intercuenca Huaychaumarca.....	71
Tabla 19: Rangos de la Densidad de Drenaje	72
Tabla 20: Relación de Bifurcación de los ríos de la Cuenca Vilcabamba	73
Tabla 21: Resumen de las características hidro-morfométrica, Intercuenca Huaychaumarca ...	74
Tabla 22: Relación de bifurcación de ríos de la Intercuenca Huaychaumarca	75
Tabla 23: Datos del afloramiento en la formación San José, Estación 01.....	84
Tabla 24: Datos del afloramiento de la formación San José, Estación 02.....	86
Tabla 25: Estaciones meteorológicas seleccionadas para el área de estudio	100
Tabla 26: Estaciones seleccionadas para realizar la regionalización de precipitación.....	102
Tabla 27: Cálculo de factor de influencia total.....	106
Tabla 28: Precipitación media mensual regionalizada para la cuenca Vilcabamba	107
Tabla 29: Precipitación regionalizada para diferentes altitudes	108
Tabla 30: Precipitación media mensual regionalizada para la intercuenca Huaychaumarca	111

Tabla 31: Regionalización de la temperatura media por regresión lineal simple.....	112
Tabla 32: Regionalización de temperatura media para diferentes curvas de nivel, Cuenca Vilcabamba	114
Tabla 33: Regionalización de la temperatura media por regresión lineal simple.....	114
Tabla 34: Regionalización de temperatura media para diferentes altitudes	115
Tabla 35: Evapotranspiración real y coeficiente de escurrimiento.....	116
Tabla 36: Caudal de aforo del río Huaychaamarca	117
Tabla 37: Caudal de aforo del río Vilcabamba y río Cayo	117
Tabla 38: Parámetros estadísticos de precipitación máxima en 24 horas, estación Quillabamba	119
Tabla 39: Periodo de retorno y precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno.....	125
Tabla 40: Precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno	126
Tabla 41: Regresión potencial para los distintos periodos de retorno	127
Tabla 42: Intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno y duración	128
Tabla 43: Tiempos de concentración	131
Tabla 44: Intensidad de precipitación para un tiempo de duración y distintos periodos de retorno.....	131
Tabla 45: Métodos empíricos de estimación de máximas avenidas en la cuenca Vilcabamba...	132
Tabla 46: Métodos empíricos de estimación de máximas avenidas, intercuenca Huaychaamarca	132
Tabla 47: Características de la subcuenca Vilcabamba	135
Tabla 48: Características de la microcuenca Huaychaamarca	137
Tabla 49: Ubicación de calicatas.....	140
Tabla 50: Características físicas y mecánicas de los suelos	142
Tabla 51: La ubicación de canteras para protección de riberas con gaviones	148

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Centro poblado de Huancacalle	8
Figura 2: Accesibilidad al área de estudio	9
Figura 3: Mapa de Ubicación.....	10
Figura 4: Escarpe de falla ubicado al sur del poblado de Vilcabamba, donde es posible observar que afecta depósitos aluviales y fluvio-glaciares.....	20
Figura 5: Mapa de zonificación cuyo factor se interpreta como aceleración máxima horizontal en suelos rígidos con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años	26
Figura 6: Mapa de ordenadas Espectrales del Perú, distribución de Isoaceleraciones para 10% de excedencia en 50 años	27
Figura 7: Representación esquemática del ciclo hidrológico	30
Figura 8: Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca	32
Figura 9: Distribución de Pendiente de la Cuenca Vilcabamba e Intercuenca Huaychaumarca	45
Figura 10: Mapa de Pendientes	46
Figura 11: Distribución de las áreas de las unidades fisiográficas de la Cuenca Vilcabamba	48
Figura 12: Cima de montaña alta escarpada del cerro Collpacasa, oeste del poblado de Huancacalle	49
Figura 13: Pendiente de montaña alta escarpada, quebrada Tunisca, al suroeste del Poblado de Huancacalle	50
Figura 14: Vertiente disectada de montaña de alta empinada	51
Figura 15: Valle fuertemente empinado, quebrada Cavara, al suroeste de Huancacalle	52
Figura 16: Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada, ubicado en el poblado de Huancacalle	53
Figura 17: Mapa Fisiográfico – Cuenca Vilcabamba	54
Figura 18: Mapa Fisiográfico – Intercuenca Huaychaumarca	55
Figura 19: Distribución de áreas de las unidades geomorfológicas del área de estudio (Cuenca Vilcabamba e Intercuenca Huaychaumarca)	56
Figura 20: Mapa Geomorfológico	62
Figura 21: Curva hipsométrica de la Cuenca Vilcabamba.....	65
Figura 22: Polígono de Frecuencias de la Cuenca Vilcabamba	66

Figura 23:	Ubicación de dos puntos de aforo	67
Figura 24:	Curva hipsométrica de la Intercuenca Huaychaumarca	69
Figura 25:	Polígono de frecuencias de la Intercuenca Huaychaumarca	70
Figura 26:	Ubicación de aforo del río Huaychaumarca	71
Figura 27:	Perfil longitudinal del drenaje principal de la Cuenca Vilcabamba	73
Figura 28:	Perfil Longitudinal del drenaje principal de la Intercuenca Huaychaumarca	75
Figura 29:	Arenisca blanquecina de grano grueso, medio a fino ubicada en la cuenca de Vilcabamba	77
Figura 30:	Afloramiento del grupo Mitu en el deslizamiento cornetero perteneciente a la cuenca de Vilcabamba	78
Figura 31:	Viviendas de Huancacalle sobre depósitos fluvioglacial	80
Figura 32:	Depósito Aluvial ubicada al sur del centro poblado de Huancacalle	81
Figura 33:	Viviendas construidas sobre depósitos coluviales, Centro poblado de Huancacalle	81
Figura 34:	Mapa Geológico	82
Figura 35:	Afloramiento de Pizarra al Oeste de la población de Huancacalle	84
Figura 36:	Diagrama de contornos de fracturas medidas.....	85
Figura 37:	Roseta de fracturas del afloramiento de pizarra.....	85
Figura 38:	Afloramiento de arenisca cuarzosa al SSW de centro poblado de Huancacalle	86
Figura 39:	Diagrama de contornos	87
Figura 40:	Roseta de fracturas de las areniscas de Copacabana	87
Figura 41:	Columna estratigráfica del grupo Ollantaytambo.....	88
Figura 42:	Mapa Estructural	89
Figura 43:	Corte geológico de la sección A-A' la cual se muestra en el plano estructural	90
Figura 44:	Corte geológico de la sección B-B' la cual se muestra en el plano estructural	90
Figura 45:	Corte geológico de la sección C-C' la cual se muestra en el plano estructural	90
Figura 46:	Deslizamiento al frente del poblado de Kornetera, margen izquierdo del río Cara. 91	
Figura 47:	Flujos de detritos	92
Figura 48:	Erosión de ribera en la margen derecha del río Vilcabamba, sector Huancacalle .	93
Figura 49:	Erosión de ribera en la margen izquierda del río Vilcabamba, sector Huancacalle	93
Figura 50:	Erosión de ribera, en la confluencia del río Cayara y río Cayco. Margen derecha al norte del sector Tintoc.....	94

Figura 51:	Socavación de la margen izquierda del río Vilcabamba	94
Figura 52:	Río Vilcabamba, sur del poblado de Huancacalle	95
Figura 53:	Erosión de ribera de aguas arriba del cauce Huaychaumarca, al oeste del Poblado de Pucyura	96
Figura 54:	Barreras de roca improvisadas en la margen derecha del afluente Huaychaumarca al oeste del poblado de Pucyura	96
Figura 55:	Barreras de roca improvisadas en la margen derecha del afluente Huaychaumarca al oeste del poblado de Pucyura	97
Figura 56:	Socavación de cauces naturales, en la margen derecha del afluente Huaychaumarca al oeste del poblado de Pucyura	97
Figura 57:	Río Huaychaumarca, oeste del poblado de Pucyura y Habaspata	98
Figura 58:	Mapa de Geodinámica externa	99
Figura 59:	Ecuación de regresión lineal simple	102
Figura 60:	Ecuación de regresión exponencial	103
Figura 61:	Ecuación de regresión logarítmica	103
Figura 62:	Ecuación de regresión polinómica	104
Figura 63:	Ecuación de regresión potencial	104
Figura 64:	Ecuación de regresión potencial	105
Figura 65:	Comportamiento de la precipitación media mensual de la cuenca Vilcabamba.....	106
Figura 66:	Ecuación de regresión potencial	109
Figura 67:	Comportamiento de la precipitación media mensual, intercuenca Huaychaumarca	110
Figura 68:	Regresión lineal simple de la temperatura media mensual.....	113
Figura 69:	Comportamiento de la temperatura media mensual de la cuenca Vilcabamba	113
Figura 70:	Comportamiento mensual de las temperaturas, intercuenca Huaychaumarca	115
Figura 71:	Medición del caudal del río Vilcabamba	118
Figura 72:	Análisis de datos dudosos de las precipitaciones máximas, estación Quillabamba	119
Figura 73:	Distribución Log normal 3 parámetros	120
Figura 74:	Distribución Gamma 3 parámetros	121
Figura 75:	Distribución Gamma 2 parámetros	121
Figura 76:	Distribución Log normal 2 parámetros	122
Figura 77:	Distribución normal	122

Figura 78:	Distribuciones de densidad de probabilidad	123
Figura 79:	Gráfico de ajuste de modelos de distribución de lo Normal, Gamma y log Pearson III.....	124
Figura 80:	Precipitación de diseño – periodo de retorno	125
Figura 81:	Regresión potencial de los periodos de retorno	127
Figura 82:	Curvas IDF para el área de estudio.....	129
Figura 83:	Curva IDF para un periodo de retorno de 100 años	129
Figura 84:	Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años	130
Figura 85:	Patrón de tormenta para un periodo de retorno de 100 años.....	130
Figura 86:	Avenidas máximas de la Cuenca Vilcabamba para distintos periodos de retorno .	132
Figura 87:	Avenidas máximas de la Cuenca Vilcabamba para distintos periodos de retorno .	133
Figura 88:	Subcuenca Vilcabamba.....	134
Figura 89:	Patrón de tormenta ingresado en HEC – HMS	135
Figura 90:	Simulación del modelamiento hidrológico, subcuenca Vilcabamba en HEC HMS	136
Figura 91:	Resultados de la simulación del modelamiento hidrológico	136
Figura 92:	Microcuenca Huaychaamarca	137
Figura 93:	Patrón de la tormenta ingresado en HEC – HMS.....	138
Figura 94:	Simulación del modelamiento hidrológico de la microcuenca Huaychaamarca en HEC – HMS.....	139
Figura 95:	Resultados de la simulación del modelamiento hidrológico	139
Figura 96:	Calicata 01, 02 y 03 con su respectivo ensayo con PDL.....	142
Figura 97:	Cuarteo de muestra y peso de material seco	143
Figura 98:	Clasificación de granulometría	144
Figura 99:	Curva granulométrica de la calicata 01	144
Figura 100:	Ensayo de limite líquido y limite plástico	145
Figura 101:	Perfil de calicata 01	146
Figura 102:	Perfil de calicata 03.....	147
Figura 103:	Perfil de calicata 02	148
Figura 104:	Material de la cantera.....	149
Figura 105:	Cantos rodados para las posibles utilizaciones en gaviones o enrocados en el río Vilcabamba	150

Figura 106: Cantos rodados para posibles utilizations en gaviones o enrocados en el río Cayara.....	150
Figura 107: Mapa Geotécnico	151
Figura 108: Obra de protección por gaviones TIPO I.....	153
Figura 109: Digitalización de coeficiente de rugosidad e importado de secciones transversales del río	154
Figura 110: Digitalización del caudal máximo y pendiente de río para un periodo de retorno de 100 años	154
Figura 111: Sección transversal de la progresiva con un ancho de 9 metros y altura de 2 metros incluyendo su tirante	155
Figura 112: Sección transversal de la progresiva 220 que corresponde al corte A-A' con un ancho de 10 metros y altura de 2 metros incluyendo su tirante	155
Figura 113: Obra de protección por gaviones para protección de erosión y socavación para el río Huaychaumarca	156
Figura 114: Sección transversal de la progresiva 260 correspondiente al corte A-A' con un ancho de 28 metros y altura de 3 metros incluyendo su tirante.....	156
Figura 115: Sección transversal de la progresiva 320 correspondiente al corte B-B' con un ancho de 30 metros y altura de 4 metros incluyendo su tirante	157
Figura 116: Obra de protección por gaviones para protección de la erosión y socavación de una margen para el río de Vilcabamba	157
Figura 117: Obra de protección ribereña para la erosión y zonas de desbordamiento en el río de Vilcabamba para ambas márgenes.....	158
Figura 118: Sección transversal del río Vilcabamba para un caudal 280m ³ /s de la progresiva 120 con un ancho de 38 metros y altura de 5 metros incluyendo su tirante que corresponde al corte C-C'	158
Figura 119: Sección típica de enrocado de protección	159
Figura 120: Obra de protección de riberas con enrocados.....	160
Figura 121: Obra mapa de desborde, erosión, socavación y proyección defensa ribereña (peligros)	161

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción del problema.

Debido al crecimiento rural vertiginoso que se viene experimentando en las últimas décadas en la mayoría de los centros poblados de la región Cusco y el país, se ha hecho común que se instalen poblaciones en riberas erosionables, fajas marginales y áreas inundables los que conllevan a un peligro latente. Esto hace que sea necesario controlar las zonas de erosión e inundación producidos por crecidas y desbordes de los ríos en épocas de lluvias.

La construcción de defensas ribereñas constituye infraestructuras preventivas ante inundaciones producto de avenidas extraordinarias o prolongadas de los ríos y quebradas de la accidentada topografía regional. El planeamiento de las defensas ribereñas ayuda a prevenir las acciones erosivas y destructivas de un determinado río en una determinada población, como es el caso de los centros poblados de Habaspata y Huancacalle.

Los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle ubicados en las riberas del río Vilcabamba y sus afluentes se encuentran vulnerables ante la probabilidad de sufrir daños a la integridad física y a la infraestructura social por el desborde del río Vilcabamba y sus afluentes en épocas de precipitaciones, peligro latente que vienen experimentando estas poblaciones a lo largo del tiempo.

Por ello, y con la finalidad de establecer un diagnóstico de la problemática se propone realizar un estudio geológico e hidrológico para la defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, provincia de La convención – Cusco, considerando una evaluación temporal y longitudinal.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las condiciones geomorfológicas, geológicas e hidrológicas para la defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba la Convención, ante avenidas extraordinarias?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características geomorfológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco?
- ¿Cuáles son las características geológicas y estructurales de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco?
- ¿Cuáles son los parámetros geodinámicos de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco?
- ¿Cuáles son las características hidrológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco?
- ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos de los suelos del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco?
- ¿Cuáles serían las alternativas de defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba de la provincia de La Convención – Cusco, de acuerdo al estudio geológico e hidrológico realizado?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las condiciones geomorfológicas, geológicas e hidrológicas para la defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba la Convención, ante avenidas extraordinarias.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco.
- Determinar las características geológicas y estructurales de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco.
- Determinar los parámetros geodinámicos de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco.
- Determinar las características hidrológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco.
- Determinar los parámetros geotécnicos del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco.
- Proponer alternativas de defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba de la provincia de La Convención – Cusco, de acuerdo al estudio geológico e hidrológico realizado.

1.4. Hipótesis de investigación

1.4.1. Hipótesis general

El estudio de las condiciones geomorfológicas, geológicas e hidrológicas permite plantear alternativas para la defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba la Convención, ante avenidas extraordinarias.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las características geomorfológicas con pendientes empinadas y altas tasas de escurrimiento superficial de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los Centros

poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención, Cusco, ocasionan altos caudales de avenidas máximas.

- Las características geológicas altamente fracturadas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco, muestran varios sistemas de fallas que son favorables para la infiltración.
- Los parámetros geodinámicos de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco, tienen precedentes de movimientos sísmicos y presencia de deslizamiento, erosión y socavamiento.
- Las características hidrológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La Convención – Cusco, presentan precipitaciones que ocasionan un aumento de caudales en el área de estudio.
- Los parámetros geotécnicos de las riberas del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba de la provincia de La Convención, Cusco, muestran una presencia significativa de bloques de roca, grava, arena y material fino.
- Las alternativas más adecuadas de defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba de la provincia de La Convención, Cusco, son los gaviones y enrocados.

1.5. Justificación

El presente trabajo de investigación se justifica en la necesidad de realizar un estudio geológico e hidrológico adecuado para la defensa ribereña de la zona de estudio, a fin de garantizar el no desbordamiento de los ríos y evitar inundaciones ante avenidas extraordinarias provocadas por los ríos Vilcabamba y Huaychaamarca, lo que permitirá brindar seguridad, estabilidad y desarrollo a los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La convención – Cusco. Así mismo, a través de la **presente investigación denominada: “Estudio geológico e hidrológico para la defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y**

Huancacalle del distrito de Vilcabamba, La convención – **Cusco**”, se busca obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.6. Variables de investigación

Tabla 1

Variables de la investigación.

Variable	Dimensiones	subdimensiones
Geología e hidrología	Características geomorfológicas locales	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes • Fisiografía • Geomorfología • Parámetros morfométricos
	Características geológicas y estructurales locales	<ul style="list-style-type: none"> • Litología • Estudio estructural
	Características geodinámicas	<ul style="list-style-type: none"> • Sismicidad • Deslizamiento • Erosión (erosión de cárcavas y erosión de riberas) • Socavación • Desborde
	Características hidrológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Caudales máximos • Periodo de retorno • Escorrentía superficial
	Parámetros geotécnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de suelos (granulometría, límites de consistencia, capacidad de carga) • Parámetro de canteras (% de desgaste de la roca)
	Alternativas de defensa ribereña	<ul style="list-style-type: none"> • Gaviones • Enrocado

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Metodología de investigación

1.7.1. Tipo de investigación

1.7.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo porque se realizan caracterizaciones geomorfológicas, geológicas, geodinámicas, hidrológicas y geotécnicas tal como se presentan en la realidad geológica de las zonas de estudio, con la finalidad de proponer alternativas de defensa ribereña idóneas para la proteger los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle.

1.7.3. Enfoque de investigación

El enfoque de investigación utilizado es el mixto, porque tanto el acopio como el procesamiento y análisis de la información se efectuó utilizando instrumentos cuantitativos y cualitativos.

1.7.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, es decir, no se efectúan cambios o modificaciones en las variables o dimensiones de estudio, por el contrario, se realizan descripciones y caracterizaciones geológicas e hidrológicas tal como se presentan en la realidad de la zona de estudio.

1.8. Recolección de datos

1.8.1. Técnicas

Elaboración de un mapa base, cartografiado geológico – estructural; determinación de parámetros morfométricos del área de estudio; determinación de caudales máximos e interpretaciones de los mismos; uso de softwares geológicos. A continuación, se describen cada una de estas técnicas utilizadas:

- a) Mapa base: este mapa sirvió como referencia ya que contiene los datos necesarios de las zonas de trabajo de las cuales se obtuvo coordenadas de lugares específicos.
- b) Cartografiado geológico estructural: para la determinación de la dirección y buzamiento de los estratos, fallas y delimitación de zonas de contacto de litologías.
- c) Parámetros morfométricos del área de estudio: para la determinación de las características físicas de la cuenca e inter cuenca, ya que éstas presentan una relación con crecidas de caudales.

d) Determinación de caudales máximos: para determinar valores numéricos de caudales que permitan proponer defensas ribereñas.

1.8.2. Equipos

Equipos de campo: cámara fotográfica, flexómetro, cinta métrica de 50 metros, GPS, picota y brújula.

Equipo de gabinete: fotocopiadora, escáner, plotter, impresora, laptop.

1.8.3. Materiales

Material de campo: ponchos de agua, protector, rayador, lupa 15-20x, ácido clorhídrico (HCL) al %, bolsas de muestras para suelo, papel milimétrico, porta minas, lápices de colores, tablero, cartas nacionales, imagen satelital.

1.8.4. Laboratorio

Se utilizó el laboratorio para el análisis de densidad de la humedad natural, penetración dinámica ligera y límites Atterberg

1.9. Ubicación y accesibilidad

1.9.1. Ubicación política

Políticamente el área de estudio se ubica en la zona sur del territorio peruano, tal y como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 2
Ubicación Política

Detalle	Zona de estudio
Región	Cusco
Provincia	La Convención
Distrito	Vilcabamba
Centro Poblado	Pucyura, Habaspata, Huancacalle

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 1

Centro poblado de Huancacalle



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

1.9.2. Ubicación geográfica

Los datos de ubicación geográfica de la zona de estudio están registrados en proyección WGS84, Franja 18L, con las coordenadas geográficas y UTM siguientes:

Tabla 3

Ubicación geográfica de los centros poblados

Centro Poblado	Coordenadas geográficas		Coordenada UTM		Altitud media msnm
	Latitud sur	Longitud oeste	Este	Norte	
Pucyura	13° 05'30.47"	72°56'10.23"	723,765	8'551,220	2850
Habaspata	13° 05'16.10"	72°56'3.05"	723,985	8'551,660	2830
Huancacalle	13° 06'27.26"	72°56'15.57"	723,590	8'549,475	2970

Fuente: Elaboración Propia

1.9.3. Ubicación hidrográfica

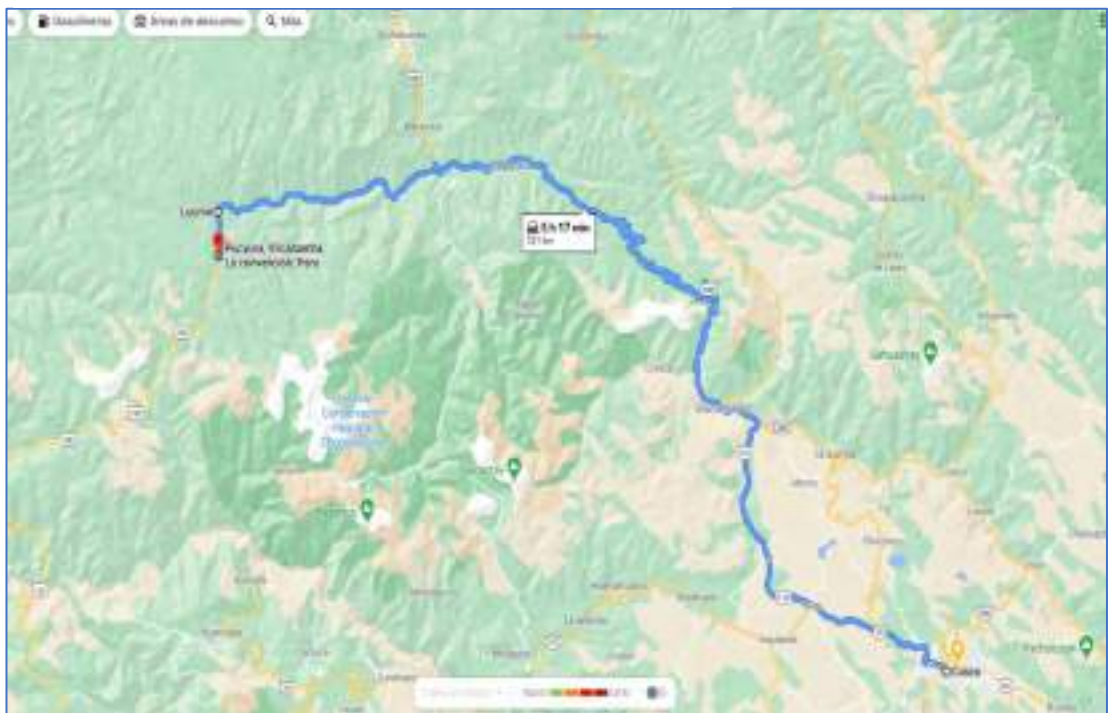
El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca Vilcabamba de código 499482 que pertenece a la cuenca Vilcanota de código 49948 y que a su vez pertenece a la cuenca Urubamba, código 4994. Por lo que en la zona de estudio se continuo con la codificación codificación por el método de Pfafstetter determinado que las cuencas hidrográficas de

estudio son cuenca Vilcabamba de código 4994828 y intercuenca Huaychaumarca de código 4994829

1.9.4. Accesibilidad

El acceso al área de estudio se realiza mediante la carretera principal asfaltada Cusco – Quillabamba, hasta llegar al poblado de Santa María, a 181 km, en este punto se toma el desvío mediante la carretera afirmada (Santa María – Lucma – Pucyura) recorriendo una distancia de 125 km. para llegar al poblado de Lucma. Se sigue la carretera afirmada el cual se dirige al poblado de Pucyura, Huancacalle y Habaspata respectivamente.

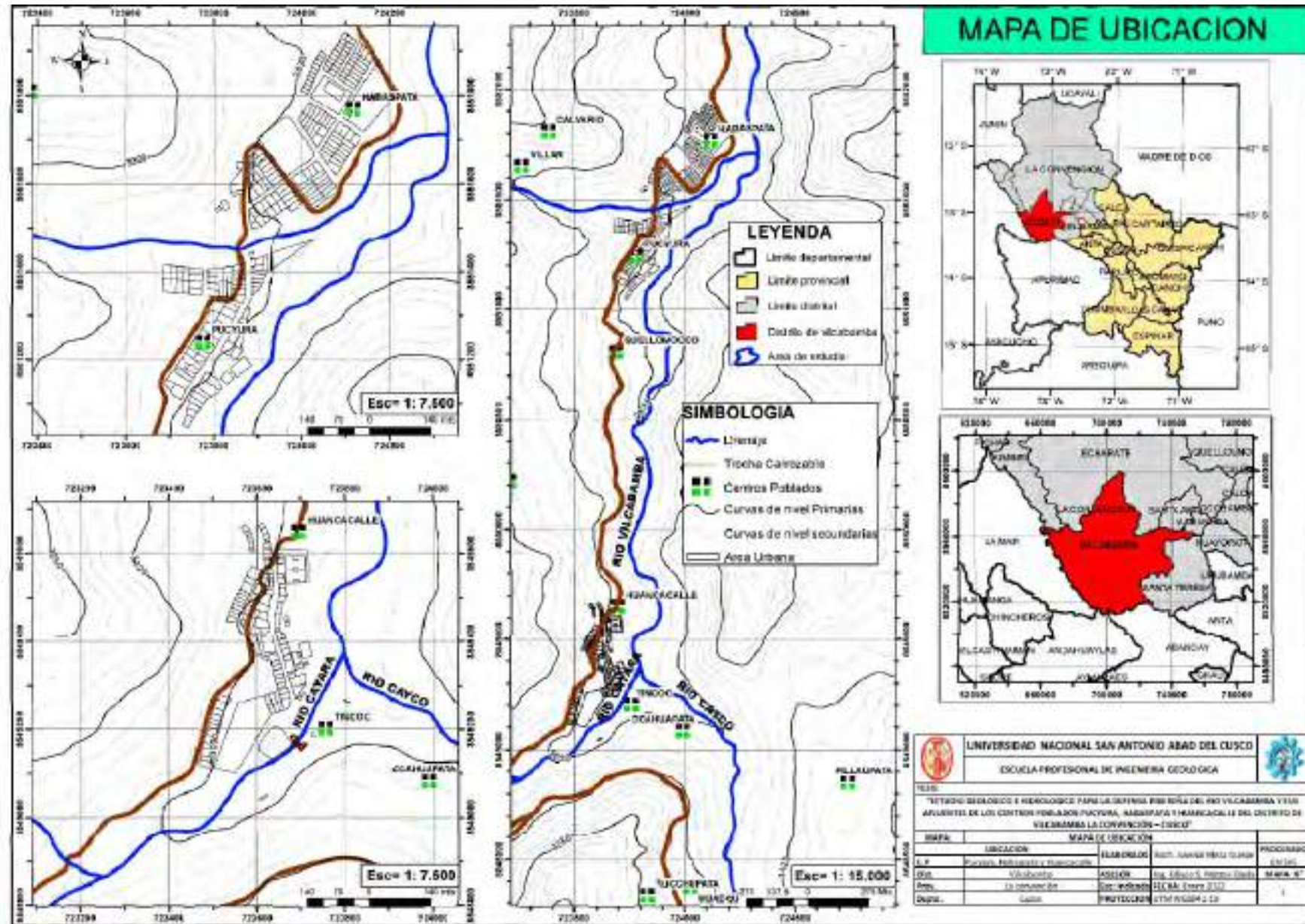
Figura 2
Accesibilidad al área de estudio.



Fuente: Google Maps

“ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RÍO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION –CUSCO”

Figura 3 : Mapa de ubicación



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

(Rojas Montalvo, 2014) en su tesis “**Bases** de diseño hidráulico para los encauzamientos o canalizaciones de **ríos**”, **tiene por objetivo** proteger frente a las inundaciones, impedir o dificultar que el territorio se inunde; es decir impedir la destrucción de terreno, especialmente los límites de cauce. A este objetivo puede mover el valor económico del terreno o también los inconvenientes de todo tipo (incluso políticos) que pueden acarrear un cambio en los límites del cauce. Entre sus principales conclusiones presenta que una obra de encauzamiento parcial puede generar mayor estabilidad que la protección pretendida. las transiciones de comienzo y fin de un encauzamiento deben ser suaves y graduales.

(Zevallos Loaiza, 2015) en su tesis para optar al master en ingeniería civil con mención en recursos hídricos de la universidad de Piura, titulado “**Diseño** de la defensa ribereña para el balneario turístico Cocalmayo, ubicado en la margen izquierda del río **Urubamba**”. **Tuvo por objetivo** dar a conocer prácticas y métodos para realizar estudios de defensa ribereña en condiciones en las que no se tiene información disponible, así mismos procedimientos de toma de datos de campo y metodología para seleccionar un sistema de protección ribereña. Entre sus principales conclusiones plantea que en el tramo estudiado se necesita un sistema de defensa ribereña porque en el río Urubamba se producen avenidas, efecto de intensas y prolongadas precipitaciones pluviales provenientes de las zonas altas de su cuenca, las cuales generan súbitas elevaciones del nivel del río, estas avenidas a su vez generan palizadas de magnitudes importantes poniendo en riesgo vidas humanas y el balneario de Cocalmayo que se encuentran en el área de estudio.

2.2. Base Legal

Ley N° 30557

Ley que declara de interés nacional y necesidad pública la construcción de defensas ribereñas y servidumbres hidráulicas Artículo 1. Declaración de interés nacional y necesidad pública de la construcción de defensas ribereñas y servidumbres hidráulicas declárase de interés nacional y necesidad pública la construcción de defensas ribereñas y servidumbres hidráulicas,

bajo el enfoque de planificación nacional y de integración del ordenamiento territorial de las cuencas hidrográficas del territorio nacional, teniendo como base los criterios de sostenibilidad, prevención y adaptación al cambio climático; con la finalidad de proteger a los pobladores de las inundaciones y desbordes provocados por la crecida de los ríos.

Ley N° 29338

Ley de recursos hídricos, cuyo Título V - Protección del Agua, artículo 74°, hace referencia a la determinación y protección de la faja marginal; mientras que el artículo 75°, hace mención a la protección del agua.

En el Título XI – los Fenómenos Naturales, artículo 119° se establece que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en conjunto con los Consejos de Cuencas, deben establecer programas de control de avenidas, desastres e inundaciones.

Decreto Supremo N° 039-2008-AG

Que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua – ANA En el artículo 31°, establece que la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, debe coordinar acciones para prevenir o minimizar los efectos de eventos extremos, así como promover obras de encauzamiento, defensa ribereña y protección de estructuras de captación de los ríos.

Resolución Jefatural N° 056 -2018-ANA

Esta Resolución aprueba la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales, conforme al Anexo que forma parte integrante de la misma resolución (Art. 1). Dicha clasificación los cuerpos de aguas continentales superficiales se realiza en 2 unidades hidrográficas, las cuales son denominadas como: cuencas e intercuencas, realizadas mediante el método Pfafstetter la cual clasifica una cuenca en nueve espacios.

2.3 Marco teórico conceptual

2.3.1. Geomorfología regional

La geomorfología es una de las ramas de la geografía, la cual describe y califica las formas de relieve desde sus características físicas según su formación comprendiendo los siguientes aspectos como litológicos, climáticos e hídricos las cuales intervienen en la formación del esta. la

geomorfología describe dicho relieve y explica su evolución y proceso de modelado que ha acontecido hasta la actualidad.

La geomorfología tiene como principal objetivo el reconocimiento de la fisiografía del terreno como su forma y evolución que influyen en los paisajes y los posibles peligros geológicos como son: los deslizamientos, inundaciones, erosiones y huaycos.

La zona de estudio está localizada en la cuenca de Vilcabamba perteneciente a la cordillera oriental situándose entre la cordillera occidental y la zona subandina. En la que resaltan los siguientes rasgos geomorfológicos como las terrazas, valles, laderas y montañas.

2.3.1.1. Unidades morfo estructurales

a) Cordillera oriental

La Cordillera Oriental es una zona morfo-estructural fuertemente individualizada, que ocupa casi la totalidad de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. En esta unidad afloran principalmente rocas metamórficas del Paleozoico inferior, intrusivos paleozoicos y permo-triásicos; así como, rocas sedimentarias del Paleozoico superior y escasamente, rocas del Meso-Cenozoico. Esta unidad ha sido dividida en: Cordillera de Vilcabamba, Vertiente norte, Valles Transversales, Valles Intracordilleranos, Montañas de Mesapelada, borde sur de la Cordillera Oriental y borde norte de las Altiplanicies (INGEMMET, 1999, pág. 25)

b) Cordillera de Vilcabamba

La Cordillera de Vilcabamba ocupa gran parte del cuadrángulo de Machupicchu y la parte suroeste del cuadrángulo de Quillabamba limita al suroeste con el río Apurímac, desarrollando una vertiente bien abrupta, mientras que al norte el paso es gradual hacia la vertiente norte de la Cordillera Oriental. Esta unidad se extiende al este hacia el cuadrángulo de Urubamba (27-r) y por el oeste hacia el cuadrángulo de Pacaypata (27-p).

Desde el punto de vista morfológico, la Cordillera de Vilcabamba se caracteriza por presentar terrenos elevados y accidentados, formando nevados que sobrepasan los 5 000 msnm, resaltando el nevado de Salcantay con 6 264 msnm. litológicamente, está constituida por las rocas más antiguas y más deformadas de la región. las estructuras que resaltan son las fallas E-0 y el anticlinal de dirección E-0. Los valles glaciares y las morrenas, que corresponden a formas de acumulación muy frecuentes y se distribuyen a lo largo de los nevados, son las dos formas principales que se han desarrollado en esta unidad. Los valles en forma de U de longitud

media reciben agua durante todo el año de los deshielos, destacando los manantiales de los valles de Aobamba, Sacsara y Santa Teresa. Las pendientes de fuertes ocasionalmente pueden resultar en aludes, y las porciones más altas de las montañas cubiertas de nieve corresponden a las elevaciones que son más notables. (INGEMMET, 1999, págs. 25-26).

c) Vertiente norte de la cordillera de Vilcabamba

La vertiente norte de la Cordillera de Vilcabamba corresponde a la totalidad del cuadrángulo de Quillabamba. Comienza gradualmente a partir del flanco norte de la Cordillera de Vilcabamba y se prolonga hasta el cuadrángulo de Timpia (25-q). Las rocas intrusivas del macizo de Quillabamba que controlan las zonas altas del talud son reemplazadas gradualmente por rocas paleozoicas a medida que desciende desde el norte. Los ríos y valles transversales que descargan sus aguas en la cuenca del río Urubamba cortan hidrogeológicamente esta pendiente. En la zona baja se considera la denominada Ceja de Seiva, que se ubica aproximadamente entre los 1.500 y los 800 msnm en la zona de estudio. El ser una región de transición entre la Cordillera Oriental y la región Subandina la define. Presenta una topografía complicada, presentando por un lado una superficie montañosa con quebradas, cerros y laderas, y por otro lado, relieves relativamente empinados a suaves, desarrollando áreas algo planas (mesetas), cortadas por los valles transversales. (INGEMMET, 1999, pág. 27).

d) Valles transversales del río Vilcabamba

Los valles transversales son producto de una erosión fluvial permanente que constituyen colectores de agua provenientes de las montañas. **“Este valle está ubicado al norte y noroeste del cuadrángulo de Machupicchu, se caracteriza por ser profundo y encañonado. las nacientes se encuentran aproximadamente a 4 400 msnm en los nevados Pumasillo y Choquetacarpo. la dirección del río es inicialmente N-S y luego E-O hasta la confluencia con el río Urubamba. Este valle del tipo juvenil se ha desarrollado sobre rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico inferior”** (INGEMMET, 1999, pág. 30).

e) Valles intercordilleranos

El principal valle intercordillerano, el río Urubamba, tiene una longitud de unos 150 km y atraviesa la cordillera oriental tanto en la vertiente norte como en la sur. A medida que avanza en dirección SSE-NNO sobre rocas intrusivas y metamórficas paleozoicas, cubre elevaciones entre 2200 msnm y 550 msnm; a su vez, las pendientes de los valles cambian de empinadas a levemente empinadas (15 a 25 por ciento), lo que indica un valle maduro.

f) Montañas

Es la forma topográfica que presenta el relieve de la Cuenca de Vilcabamba que presenta montañas de cobertura glaciaria, rocas sedimentarias, rocas intrusivas y rocas metamórficas. La cobertura glaciaria está ubicada al norte de nuestro proyecto, el cual abarca un área promedio de 3.10 km² y un perímetro de 12.03 km.

2.3.2. Geología regional

En el **cuadrángulo de “Machupicchu (27 -q)** se han reconocido unidades estratigráficas que van del Paleozoico inferior al **Cuaternario**” (INGEMMET, 1999, pág. 37) las cuales son diversas y se muestran a continuación.

2.3.2.1. Cámbrico

2.3.2.1.1. *Grupo Ollantaytambo (CaOi-o/ind)*

Ubicada en la parte SEE de la localidad de Huancacalle y está conformado por cuarcitas, metavolcánicos verdes y niveles de mármol, esquisto sericitico carbonosos, filitas grises pizarras lipolíticas grises, micaesquistos (INGEMMET, 1999).

2.3.2.2. Ordovícico

2.3.2.2.1. *Formación San Jose: Arenigiano - Llanvirniano (Om-sj)*

Sobreyace en aparente discordancia a la Formación Verónica. En el Cuadrángulo de Urubamba aflora en el Abra de Málaga y se extiende hacia el este hasta el río Patacancha y al oeste por la carretera Ollantaytambo-Quillabamba. Han sido divididas en 3 secuencias: la secuencia inferior (350 m.), está conformada por cuarcitas (areniscas sericíticas, finas, rojizas, verdes y grises, seguida por pizarras micáceas y esquistos de estaurolita de color verde o negro y termina por cuarcitas grises intercaladas con pizarras. La secuencia intermedia (450 m.) se caracteriza por su aspecto de microflichs (lutitas bandeadas) formados de niveles delgados de areniscas finas de color claro, que pasan gradualmente a niveles de lutitas negras. Encima de esta parte intermedia, afloran básicamente pizarras negras o filitas (400 m.) (INGEMMET, 1996, pág. 36).

2.3.2.3. Pérmico

2.3.2.3.1. *Grupo Copacabana: Pérmico inferior (Pi-co)*

Este grupo se encuentra en aparente concordancia estratigráfica sobre las secuencias del Grupo Tarma. Las calizas Copacabana afloran también en el extremo noreste del cuadrángulo

de Pacaypata, al Sur del cerro Minaspata y Otuto, donde sobreyacen al Grupo Ambo. El Grupo Copacabana está compuesto principalmente, por calizas y lutitas marinas. las calizas son de varios tipos, de grano fino, oolíticas o nodulosas, de color gris blanquecino a negro. A este grupo, se le asigna un espesor de 1,200 a 2,000 m. en el borde suroeste del cuadrángulo de Pacaypata, en tanto que, en el borde noreste, la potencia es de aproximadamente de 1,200 m. (INGEMMET, 1997, pág. 70).

2.3.2.3.2. Grupo Mitu: permiano superior (PsT-m)

El Grupo Mitu aflora en los alrededores de Vilcabamba, al sur de Huanipaca-Cachora, al norte de Curahuasi (cuadrángulo de Machupicchu), entre los cerros California y Simbeni y en la hacienda Copacabana (cuadrángulo de Quillabamba). (INGEMMET, 1999, pág. 67). Estos afloramientos definen tres dominios paleo geográficos.

Un primer dominio corresponde a los afloramientos de Vilcabamba y norte de Quillabamba, donde el Grupo Mitu sobreyace en fuerte discordancia al Grupo Copacabana. En este dominio la litología es principalmente volcánica, con basaltos, riolitas, gabrodioritas y brechas volcánicas, con escasas intercalaciones de conglomerados, areniscas (grauvaca Itarenita) y localmente dolomitas. El grosor de estos niveles varía entre 1 000 m (Vilcabamba) y 1 200m (Simbeni - Copacabana). (INGEMMET, 1999, pág. 67).

El segundo dominio, corresponde a los afloramientos de Huanipaca donde la litología es esencialmente conglomerádica, existiendo también escasamente areniscas y lutitas, todos de color rojo. los conglomerados presentan clastos subangulosos a subredondeados de volcánicos lutitas, cuarcitas, areniscas, intrusivos, dacíticos y andesíticos, con tamaño mayor de hasta un metro y el promedio de 15 cm. la matriz es areno-arcillosa y son del tipo flujo de lodo (debris flow) típicos de abanicos aluviales. las areniscas son feldespáticas de grano fino a medio. El grosor en este dominio varía entre 300 y 1 000 metros (INGEMMET, 1999, pág. 67).

El tercer dominio, corresponde al afloramiento de Apayhuana, que se prolonga al cuadrángulo vecino de Abancay (entre el norte de Curahuasi y Cachora), donde los afloramientos se hallan controlados por fallas. Aquí se presentan areniscas blancas, rojizas y verdes de composición feldespáticas de grano grueso a fino, con laminaciones oblicuas y horizontales de medios fluviales. A la base de algunos bancos se tienen conglomerados con clastos de cuarcita, las lutitas son rojas, verdes y negras, de llanura de inundación. localmente,

se han observado calizas grises posiblemente de origen marino. El grosor en este dominio es de al menos 250 m. (INGEMMET, 1999, pág. 67).

2.3.2.4. Cretáceo

2.3.2.4.1. *Formación Maras: Albiano medio (Kis-ma)*

La Formación Maras está compuesta básicamente por yesos, intercaladas con lutitas rojas y más escasamente lutitas verdes y algunos niveles de calizas de grosores delgados (3 a 7 metros). Las lutitas serían de origen lacustre o marino poco profundo, los yesos de *sabkha* y las calizas indicarían máximos transgresivos (Carlotto, 1992). El grosor total de esta unidad es difícil calcular, pero se puede estimar entre 100 y 200 metros, aunque en algunos lugares pueden sobrepasar los 400 metros debido a efectos diapíricos y tectónicos (INGEMMET, 1996, pág. 78).

2.3.2.4.2. *Formación Vilquechico Ks-vi (Cretáceo tardío)*

Este compuesto por areniscas cuarzosas blancas en estratos gruesos a medios intercalados con limoarcillita y lodolitas de coloración gris verdosa, beige, pardo amarillento y gris violáceo bien laminadas intercaladas con caliza y calcarenitas (INGEMMET, 1999).

Está compuesta por lutitas rojas y verduzcas grisáceas a pardo amarillentas, en capas delgadas que se intercalan con areniscas cuarzosas grises de grano fino. Aflora conformando el núcleo del sinclinal de Alvarizani y del sinclinal de Putina en el cerro Uyumayo, en la esquina suroeste del cuadrángulo de Putina, en las faldas del Cerro Senja y la comunidad de Chaconayoc (Baca Huarcaya Fernandez & Villalba Velasque, 2016, pág. 50)

2.3.2.4.3. *Formación Ausangate KsP-au (Paleoceno basal)*

De edad Campaniano-Maastrichtiano, que fue asignada por Carlotto (1999) para esta unidad. Esta unidad litológica está constituida por una secuencia intercalada de lutitas, limolitas laminares, limoareniscas y limoarcillas con estratificación laminar intercalado con delgados estratos de areniscas arcósicas de grano fino a medio, en estratos tabulares de color rojo violáceo. Esta formación suprayace en discordancia erosional a la Formación Arcurquina al W infrayace en concordancia a depósitos cuaternarios. En esta formación se encuentra un conjunto de estructuras monoclinales locales (anticlinal, sinclinal) que se presenta con ángulo bajo en las estructuras. Esta moderadamente fracturado. Esta formación aflora en los distritos de Limatambo, Huarcondo, Ancahuasi, Zurite, Pucyura y Cachimayo. Aflora al NE del Distrito de Limatambo, se encuentra en pequeñas extensiones en el cerro de Pucaventa. Aflora al SW

del Distrito de Huarcocondo en pequeñas extensiones, ubicado en el norte del sector de Huamanmarca. Aflora hacia el centro del distrito de Pucyura en pequeñas extensiones, ubicado en el cerro Moyontuyoc. Aflora al Sur y centro del Distrito de Cachimayo en pequeñas extensiones, que se ubican en el cerro de Moyontuyoc y el sector de Quellorumi, Colpani y Maranhuayco. (Baca Huarcaya Fernandez & Villalba Velasque, 2016, pág. 53).

2.3.2.5. Paleógeno

2.3.2.5.1. *Formación Muñani (KsP-mu)*

Compuesto por areniscas y limoarcillitas marrón rojizas. En los niveles superiores conglomerados polimicticos. (INGEMMET, 1999) Las cuales están compuestos por tres unidades:

Unidad inferior

Los conglomerados están compuestos en su mayor parte por cuarzo lechoso y cuarcitas. El tamaño del clasto varía de 1-2 cm, siendo subangulosos a subredondeados. La base del banco es generalmente una superficie de erosión. Se intercalan también en esta unidad lutitas marrones y rojas. (INGEMMET, 1996, pág. 73)

Unidad media

De 200 m de grosor. Esta unidad está compuesta por areniscas de grano medio de color rosado a rojizo, en bancos de 0.5 -1.0 m (INGEMMET, 1996, pág. 73)

Unidad superior

El grosor de esta unidad es de 140 m. Sin embargo, hay que señalar que esta unidad no está completa, pues es interrumpida por la erosión cuaternaria. Esta unidad, está compuesta por areniscas de grano medio en bancos de 20 - 30cm. (INGEMMET, 1996, pág. 74).

2.3.2.6. Cuaternario

2.3.2.6.1. *Depósitos morrénicos (Q-mo)*

Los depósitos morrénicos de la zona de estudio se localizan principalmente en las partes altas de las montañas. Estos depósitos se presentan aproximadamente a partir de los 3300 msnm, en el fondo de los valles glaciares. Las morrenas están constituidas por acumulaciones de bloques heterométricos y gravas, principalmente de rocas intrusivas o metamórficas, en una matriz areno-arcillosa (INGEMMET, 1999, pág. 84).

2.3.2.6.2. *Depósitos aluviales (Q-al)*

Corresponden a los depósitos de conos aluviales que están principalmente asociados a la desembocadura de las quebradas principales, adyacentes a los valles de los ríos: Apurímac, Vilcabamba y Urubamba (cuadrángulo de Machupicchu). Estos depósitos están conformados por grandes bloques y gravas de rocas, envueltos por una matriz areno-arcillosa. (INGEMMET, 1999, pág. 87)

2.3.3. Geología estructural

Para el análisis estructural, se ha considerado el análisis de pliegues, fallas y diaclasas, para lo cual se ha tomado medidas de rumbos y buzamientos de estratos (SO), esquistosidades (S 1 y S2), estrías de fallas, etc. Estos datos han sido tratados manualmente y por computadora (INGEMMET, 1999).

2.3.3.1. Pliegues

El análisis estructural del sinclinal de Vilcabamba, cuyas medidas han sido tomadas en rocas del Paleozoico superior y del Meso-cenozoico, muestra también una dirección casi E-O. En el cuadrángulo de Quillabamba el anticlinal de Coribeni, que afecta a las formaciones San Gabán y Quillabamba nos da una dirección microtectónica de N95°. Además, se puede apreciar que la esquistosidad S 1 es casi paralela a la estratificación SO, confirmando que se trata de una esquistosidad de plano axial. Las esquistosidades S2 que cortan a las esquistosidades S 1 han sido medidas al norte de Cachora y al norte de Quelluno. La esquistosidad S1 y S2 que afectan rocas del Paleozoico inferior, son asumidas como pertenecientes a la tectónica eohercínica, siendo S 1 la más antigua (INGEMMET, 1999, pág. 151).

2.3.3.2. Fallas

En la zona de Huancacalle existe una pequeña falla E-O que desplaza las rocas del Paleozoico inferior y superior y además a la falla Cayara. El desplazamiento sinistral observado en campo el cual es ratificado por el análisis micro tectónico de las estrías que además indican que la compresión que produjo esta falla, fue de dirección E-O (INGEMMET, 1999, pág. 153).

2.3.3.3. Falla Inversa

Cuando en la corteza terrestre actúan fuerzas de carácter tangencial o compresión lateral se producen deformaciones de tipo longitudinal, las rocas se pliegan de forma continua. Al contrario de las fallas normales, los sectores de la corteza, afectado por esfuerzo tangencial horizontales desarrollan un agrietamiento diferente. Puesto que la fuerza principal actúa de

sentido del acortamiento en sentido horizontal. Las fallas que surgen en tales condiciones son inversas por las razones siguientes: como en el caso de las fallas normales, las inversas se desarrollan según planos de cizalla T1 y T2, pero la posición de los ejes de máximo esfuerzo y máxima deformación cambian (Cardoso, 1985, pág. 128).

2.3.3.4. Sistema de fallas Ollantaytambo - Vilcabamba – Quimbiri

Estas estructuras regionales se encuentran al norte y son paralelas a la falla Zurite, que constituye parte de la configuración de la deflexión de la cadena andina. El reconocimiento de estas estructuras se realizó utilizando imágenes satelitales y teniendo en cuenta morfologías o formación de morfologías asociadas a actividad tectónica. Una de las evidencias de actividad tectónica con ruptura superficial se ubica al sur del poblado de Vilcabamba, donde se puede observar un trazo de falla de 10 kilómetros que afecta desde rocas de basamento y de cobertura cuaternaria, incluyendo depósitos fluvio - glaciares y morrenas (INGEMMET, 2013, pág. 129).

Figura 4

Escarpe de falla ubicado al sur del poblado de Vilcabamba, donde es posible observar que afecta depósitos aluviales y fluvio-glaciares.



Fuente: (INGEMMET, 2013).

2.3.4. Erosión

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento (Alanya Barzola, 2017, pág. 27)

2.3.4.1. Erosión en ríos y corrientes de agua

Las corrientes de agua poseen un comportamiento complejo y sobre todo dinámico. El río es solamente una parte del sistema: la cuenca, la geología, el clima, la vegetación y otros factores influyen en forma determinante en su comportamiento. El sistema fluvial incluye unas zonas de producción de sedimentos, unas de transporte y finalmente unas de depositación y para conocer el comportamiento de la corriente se hace necesario determinar las características morfológicas de la corriente, su geología, sedimentos, hidrología e hidráulica. (Alanya Barzola, 2017, pág. 30)

2.3.4.2. Etapas de la corriente de agua

- *Etapa de formación o niñez:* En zonas de alta montaña cada corriente posee una hoya o cuenca de drenaje en forma de embudo con laderas de pendiente muy alta (más del 6%). Generalmente las corrientes generadoras de la corriente principal solo se forman durante las lluvias, en esta etapa de la corriente se produce procesos de erosión laminar, en surcos y en cárcavas y la mayor cantidad de sedimentos producto de la erosión proviene de esta área (Alanya Barzola, 2017, pág. 33)
- *Etapa de juventud:* Una corriente de agua joven tiene como característica pendientes medianas y grandes velocidades del agua. En este tramo aparecen valles de gravas, arenas y cantos provenientes de la zona de formación o niñez y el cauce se profundiza muy rápidamente por efectos de la erosión regresiva y ocurren fenómenos de inestabilidad lateral de las laderas por flujo y erosión. (Alanya Barzola, 2017, pág. 34)
- *Etapa de madurez:* En corrientes maduras la erosión de fondo del cauce durante una avenida es sólo momentánea pues disminuir la velocidad del agua, recupera nuevamente los sedimentos, la corriente trata de ampliar su cauce y la energía la utiliza en procesos de erosión lateral. El proceso de formación y destrucción de meandros o el entrecruzamiento es generalmente continuo y durante las avenidas los canales no son suficientes y el río se desborda buscando nuevos cauces (Alanya Barzola, 2017, pág. 34).
- *Etapa de la vejez:* Cuando la corriente de agua va a entregar su caudal al mar, la pendiente del río es prácticamente cero y se forman deltas al dividirse en cauces menores. No hay erosión vertical, pero se presenta un movimiento lateral de los cauces debido a los procesos de sedimentación e inundación. La sedimentación es mucho más importante que la erosión (Alanya Barzola, 2017)

2.3.4.3. Factores que influyen en la erosión de las riberas

Las características del cauce y las condiciones ambientales definen la magnitud y el tipo de erosión que se da en un tramo de río y las cuales se mencionan a continuación.

- *Condición del flujo de río:* El flujo en un río es el factor dominante en el proceso de erosión de las riberas del mismo, ya que aparte de ser un factor erosivo en sí mismo contribuye también en el mecanismo de transporte del material lejos del margen erosionado. La magnitud del caudal y la duración son también factores importantes. La magnitud del caudal del flujo es directamente proporcional a la magnitud de la erosión en los márgenes del cauce y la influencia de la duración de una avenida sobre la estabilidad de las riberas del cauce puede ser incluso mayor que la magnitud de dicha avenida (Alanya Barzola, 2017, pág. 44)
- *Características de los materiales de las riberas:* La resistencia a la erosión de los márgenes de un cauce está íntimamente relacionada con las características de los materiales que constituyen los mismos. Los materiales se pueden clasificar en: cohesivos, no cohesivos y estratificados (Alanya Barzola, 2017, pág. 45)
- *Vegetación existente en las riberas:* La estabilidad de las riberas está fuertemente influenciada por la vegetación natural existente en las mismas, debido principalmente a fuerza de fijación al suelo de las raíces. Esta fuerza contribuye a la cohesión entre partículas del suelo e influye en la resistencia del suelo, debido a la transferencia de tensiones entre el suelo y raíces, aumentando de esta forma la resistencia a la erosión de las riberas (Alanya Barzola, 2017, pág. 45)
- *Estabilidad de lecho:* la inestabilidad del lecho del cauce se manifiesta a lo largo de procesos de elevación y socavación del mismo. la socavación del lecho afecta indirectamente a la erosión de los márgenes, debido a la pérdida de soporte que esto significa para las mismas. Además, si el material del lecho es más resistente a la erosión que el material del margen la energía erosiva del río afecta más directamente a las riberas incrementándose los procesos erosivos en las mismas (Alanya Barzola, 2017, pág. 45).

2.3.5. Socavación

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del

cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, etc. (Suarez, 2001, pág. 135)

2.3.5.1. Componentes de la socavación:

Se debe tener en cuenta 6 componentes.

Socavación no superficial: Es el cambio en el nivel del fondo del cauce con el tiempo, a 10, 50, 100 o 500 años. Esta profundización o agradación del cauce ocurre en longitudes importantes de la corriente en un proceso que obedece a fenómenos geomorfológicos, los cuales pueden ser acelerados por la intervención antrópica de la cuenca o el cauce. Estos factores se puede realizar una evaluación cualitativa de su efecto sobre el fondo del cauce. Adicionalmente se pueden realizar cálculos extrapolando información usando criterios de Ingeniería. Con este objeto existen programas de computador para analizar la socavación y la sedimentación, tales como BRI-STAR de la FHWA (Molinas, 1993), HEC-6 del U.S. (Suarez, 2001, pág. 138)

- 1) *Socavación por aumento de caudal:* Al aumentar el caudal la velocidad aumenta y se produce erosión en el fondo de la corriente. Al bajar nuevamente el nivel de la corriente, comúnmente esta socavación se recupera nuevamente por sedimentación (Suarez, 2001, pág. 138)
- 2) *Socavación por contracción del cauce:* La construcción de un puente puede disminuir el ancho del cauce para el paso de grandes caudales y al presentarse los caudales, se produce un aumento extraordinario de las velocidades en la contracción, produciéndose socavación del fondo del cauce en el sector contraído (Suarez, 2001, pág. 138)
- 3) *Socavación local en los estribos:* Junto a los estribos del puente se genera turbulencia, la cual produce erosión adicional y disminuye localmente el nivel del fondo del cauce junto al estribo (Suarez, 2001, pág. 138)
- 4) *Socavación local en las pilas:* En las pilas dentro del cauce se producen remolinos de turbulencia, los cuales hacen que el nivel del río descienda especialmente junto a estas estructuras. Alrededor de las pilas se forma una fosa profunda por socavación (Suarez, 2001, pág. 138)

5) *Inestabilidad geomorfológica de la corriente:* la movilidad lateral de la corriente modifica necesariamente los *niveles* del fondo del cauce en sitios específicos (Suarez, 2001, pág. 138)

2.3.5.2. Cálculo de la socavación general

Esta socavación es una erosión general de todo el cauce y no depende de que exista o no un puente u otra estructura por lo que según Ílschtvan - Ievediev (Maza, 1967) la expresión para evaluar la socavación general son las siguientes (Suarez, 2001, pág. 141)

Para suelos granulares

$$y_s = \left[\frac{\alpha \cdot y_0^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/z}$$

Para suelos cohesivos

$$y_s = \left[\frac{\alpha \cdot y_0^{5/3}}{0.60 \gamma^{1.18} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/x}$$

Ojo

$$\alpha = \frac{Q_d}{(H_m)^{5/3} B_e \cdot \mu}$$

Donde

y_s = Profundidad de socavación en el punto de análisis (m)

y_0 = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida, y el nivel del fondo original (medido antes de la avenida) en m.

α = Coeficiente de distribución de gasto.

D_m = Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.

γ = Peso específico seco del material (t/m²).

Q_d = Caudal del diseño (m³/s).

H_m = Profundidad media de la sección (m).

B_e = Ancho efectivo que depende de la dirección de las pilas (m).

x, z = Exponentes en función de D_m o γ según el tipo de material del fondo.

β = Coeficiente, depende del período de retorno del gasto de diseño.

ψ = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión.

μ = Factor de contracción.

2.3.5.3. Sistema de control de socavación

- Construcción de estructuras: para manejar el flujo disminuir la profundidad de socavación, tales como estructuras de caída para proteger el fondo aguas abajo de la estructura o revestimientos de la zona expuesta a socavación. Unas de las estructuras más populares son las estructuras guía para la protección de estribos de puentes (Suarez, 2001, pág. 160)
- Recubrimiento del cauce el enrocado es el método más común y mejor documentado para el control de socavación en pilas de puentes. Otros sistemas alternativos incluyen los tetrápodos, hexápodos, gaviones, bolsacreto, adoquines unidos por cables y estructuras ancladas (Suarez, 2001, pág. 160)
- Construcción de cimentaciones profundas muy por debajo del nivel de socavación esperada (Suarez, 2001, pág. 160)
- Construcción de estructuras flexible que se adapte a la socavación. Un ejemplo son las estructuras en gaviones o en enrocado (Suarez, 2001, pág. 160)

2.3.6. Geodinámica

2.3.6.1. Geodinámica interna

2.3.6.1.1. Sismicidad en el Perú

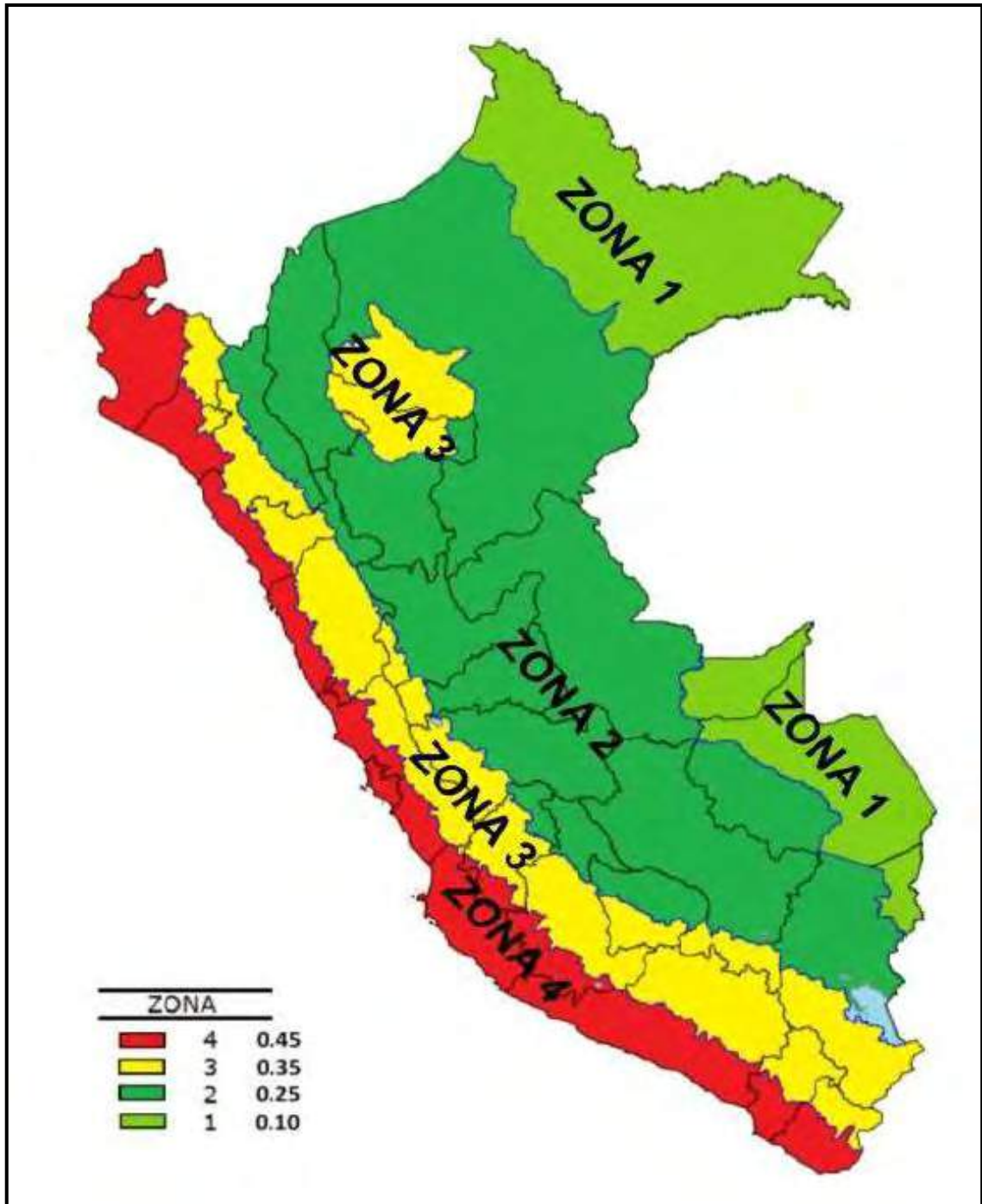
La sismicidad en el territorio peruano es debida al proceso de subducción de placas y a la dinámica de cada una de las unidades tectónicas presente en el interior del continente. los sismos de foco superficial se encuentran distribuidas entre la línea de la fosa peruano-chilena y la costa desde el departamento de tumbes hasta Tacna y define la principal fuente sismogénica del país (Municipalidad Provincial del Cusco, 2019, pág. 29).

2.3.6.1.2. Zonificación

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento & SENCICO, 2017).

Figura 5

Mapa de zonificación cuyo factor se interpreta como aceleración máxima horizontal en suelos rígidos con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

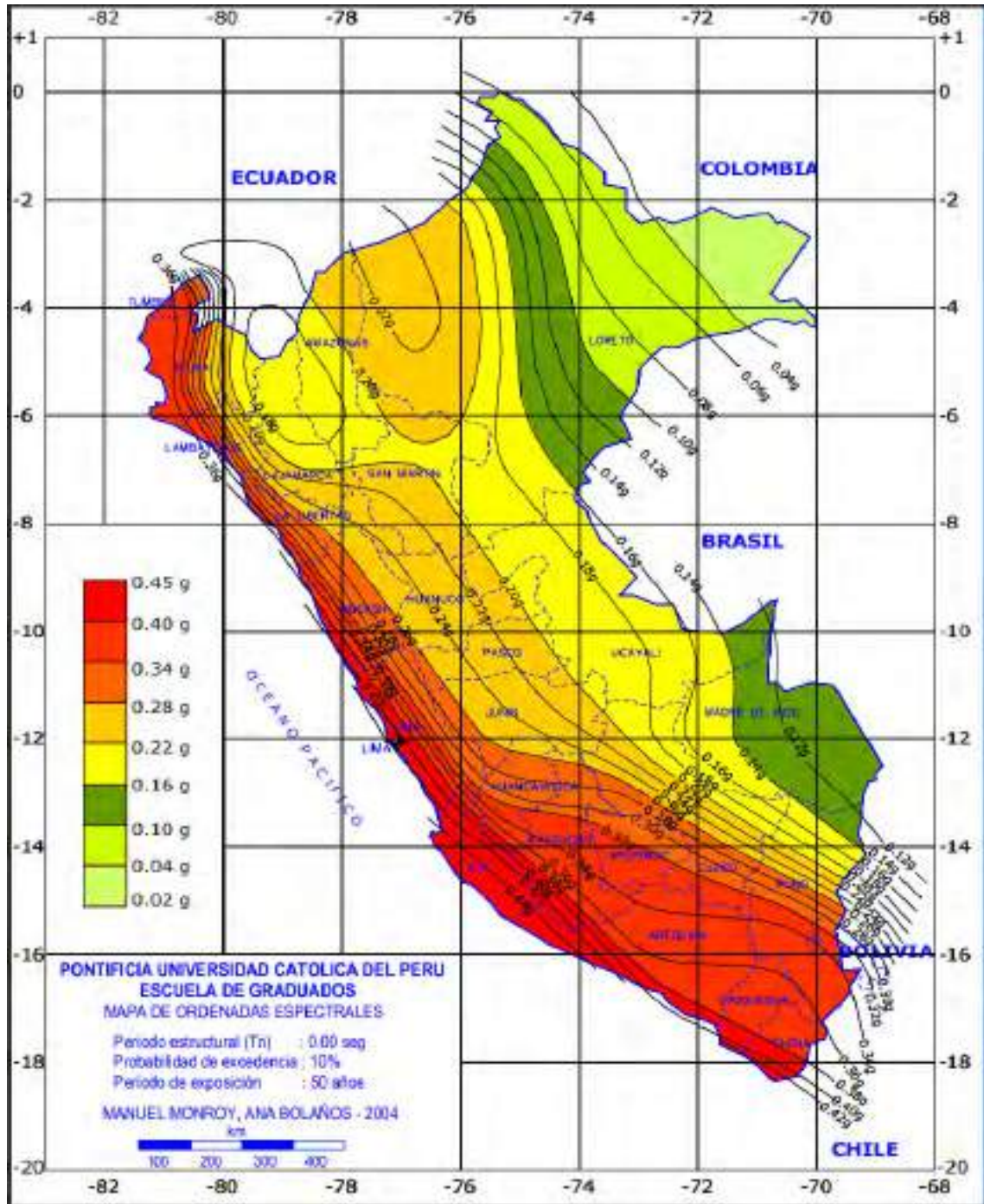


Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento & SENCICO, 2017).

2.3.6.1.3. Mapa de distribución de isoaceleraciones

Figura 6

Mapa de ordenadas Espectrales del Perú, distribución de Isoaceleraciones para 10% de excedencia en 50 años.



Fuente: (Bolaños Luna & Monroy Concha, 2004, pág. 101)

De las figuras anteriores se concluye, que el área de estudio se encuentra en la zona 2, donde el factor de zona es 0.25g, que se interpreta como la aceleración máxima horizontal en

el suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, específicamente se encuentra entre los parámetros de aceleración sísmica de 0.26g y 0.28g, lo que nos indica que se encuentra en una zona de sismicidad media.

2.3.6.1.4. Sismicidad en la región cusco

Esta actividad sísmica está en relación con una zona de fallas normales activas cuaternaria que se emplazan al límite entre la cordillera oriental y las altiplanicies entre Cusco y Ayacucho. Si bien es cierto que cusco es una zona sísmica, su frecuencia en sismos es muy baja a comparación con la región costera del Perú y otras regiones de alto riesgo sísmico del mundo. Las magnitudes registradas en los 2 últimos sismos importantes como los de 1950 y 1986 alcanzaron los 6 y 5.2 Richter (Municipalidad Provincial del Cusco, 2019, pág. 30)

2.3.6.1.5. Antecedentes sísmicos en la región del cusco

Según datos recopilados, el terremoto del Cuzco ocurrido el 31 de marzo de 1650; con epicentro cerca de la ciudad del Cuzco, fue un evento muy destructor y de larga duración, que ocasionó la muerte de unas 5,000 personas. los registros existentes mencionan que este terremoto derribo todas los templos y la mayor parte de las edificaciones generalizando los estragos en Abancay, Andahuaylas y otros pueblos de la comarca (Municipalidad Provincial del Cusco, 2019).

Tabla 4

Cronología de los principales sismos registrados en el departamento del Cusco

Cronología de sismos de la Región Cusco	Año	lugar	Impacto
SISMO Grado X en la escala de Mercalli	31/03/1650	Ciudad de Cusco Pisac y Paucartambo Yanoca, Paruro, Quispicanchi, Canchis y Acomayo.	Destrucción quedo en ruinas Réplicas produjo deslizamiento .
Terremoto	07/09/1707	Ccapi (Paruro).	Las réplicas duraron un mes.
Sismo	11/02/1746	Urcos, Quispicanchi y Acomayo.	Se desplomo la iglesia .
Sismo	05/03/1938 06/03/1938	Acopia (Acomayo) Tinta (Canchis) Ciudad de Cusco.	Derrumbes en viviendas.
Sismo	23/06/1939	Pomacanchi (Acomayo). Se sintió en (Yanaoca, Tinta, Checacupe, Combapata, Surimana, Sicuani).	37 muertos y 80 heridos aproximadamente.

Sismo Grado VII escala de Mercalli	18/09/1941	Cusco, se sintió en Abancay, Paracas y Caraveli.	Daño a viviendas, iglesias, capillas y edificios públicos.
Sismo	10/01/1943	Yanoca y Pampamarca (provincia Canas).	75 muertos y 200 heridos
Sismo Grado VII escala de Mercalli	21/05/1950	Ciudad de Cusco a 9 km al sur del Valle del Cusco.	120 muertos, 275 heridos, 50% de las construcciones de la ciudad dañada.
Sismo Grado VI escala de Mercalli	1961 - 1965	Acos (Acomayo), Urcos (Quispicanchis).	Desprendimiento de rocas y daño a las tierras agrícolas.
Sismo Grado VI escala de Mercalli	03/06/1980	Epicentro en Mollepata (Anta), se sintió en Izcuchaca, Iimatambo, Urubamba, Písaq y Oropesa.	No se conoce.
Sismo Grado 5.2 escala de Richter	05/03/1986	Epicentro cerca de la laguna de Qoríqocha.	7 muertos, 80 heridos, daños en viviendas y daños en infraestructura monumental de la ciudad (templos y casonas antiguas).
Sismo	01/10/1995	Pillpinto (Paruro) y Acos (Acomayo).	83 viviendas destruidas 303 viviendas rajadas 14 viviendas inhabitables 67 viviendas dañadas.
Sismo 4.6 grados escala de Mercalli seguida de otro de 4.5 grados y varias réplicas.	08/08/2003	Epicentro localizado a 3 km noreste de Ccapamarca, Ccapi, Omacha y Accha (Paruro).	494 viviendas parcialmente dañadas e inhabitables Infraestructura educativa, de Salud e iglesias dañadas.
Sismo 3.4 grados escala de Richter	14/08/2014	Epicentro localizado a 4 Km al Sur- este de la ciudad del Cusco con profundidad de 8 Km.	No se han reportado daños materiales ni personales.
Sismo de 3.8 grados escala de Richter	24/04/2014	Santiago.	1 familia afectada (5 miembros) 1 vivienda afectada en Cchoco.

Fuente: (Municipalidad Provincial del Cusco, 2019)

2.3.7. Hidrología

La hidrología es la ciencia que trata sobre las aguas de la tierra, su existencia, distribución y circulación, sus propiedades físicas y químicas y su interacción con el medio ambiente y con los seres vivos, en particular con los seres humanos. El dominio de la hidrología abarca todas las ciencias relacionadas con el agua sobre la superficie terrestre (Villodas, 2008, pág. 1_1).

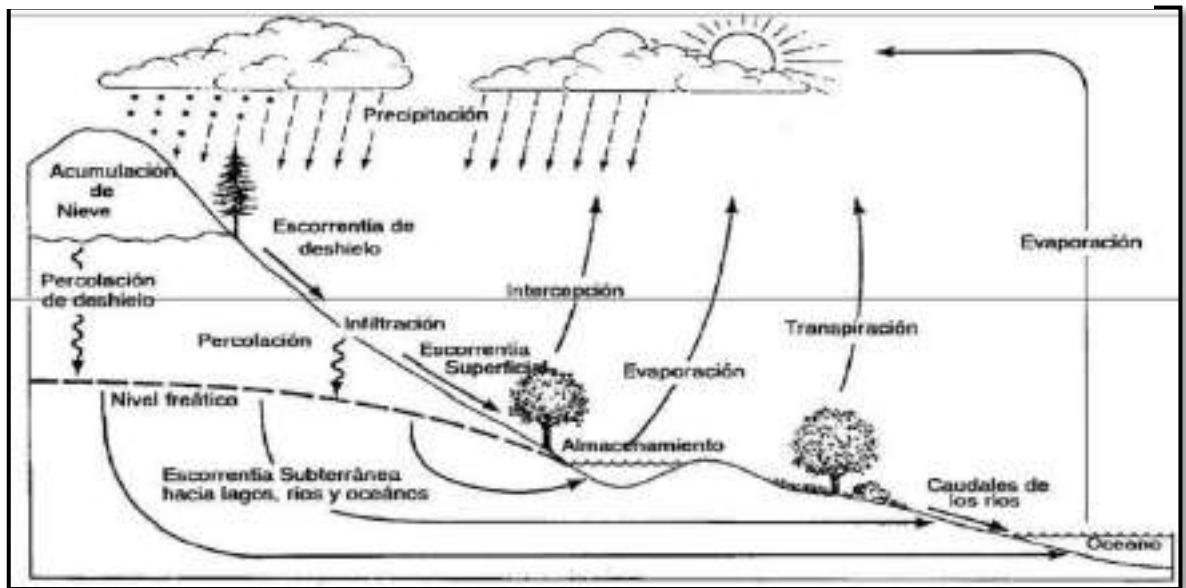
2.3.7.1. Ciclo hidrológico

El agua circula en la hidrosfera a través de un laberinto de caminos que conforman el ciclo hidrológico, el que constituye el foco central de la hidrología. Este ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. El concepto hidrológico lleva implícita el

movimiento o transferencia de las masas de agua de un sitio a otro y de un estado a otro (Villodas, 2008, pág. 1_7).

Figura 7

Representación esquemática del ciclo hidrológico.



Fuente: (Villodas, 2008)

2.3.7.2. Cuencas hidrológicas

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido (Villón, 2002, pág. 21).

Elementos de las cuencas

- Divisoria de aguas: son línea imaginaria las cuales delimitan una cuenca hidrográfica.
- Río principal: sector donde se da el curso de mayor caudal de agua o también con mayor área de drenaje.
- Los afluentes: son los ríos secundarios que desemboca en el río principal.
- Relieve de la cuenca: conformado de los valle principales y secundarios como montañas y sus flancos, valles y mesetas, por las quebradas o torrentes.

2.3.7.2.2. Partes de una cuenca

- *Cuenca alta*: Llamado como cuenca cabecera o de recepción de la cuenca; por su posición, capta y almacena en los nevados y glaciares de sus cumbres, y en las lagunas y represamientos de las altiplanicies, la mayor parte de los aportes de la precipitación; además, tiene una cobertura vegetal típica de pastos o bosques, y una menor presión demográfica (Cahuana Andia & Yungar Morales, 2009, pág. 14)
- *Cuenca media*: De mayor pendiente relativa, con un caudal caracterizado por torrentes turbulentos, también se le denomina zona de transporte de sedimentos o de escurrimiento (Cahuana Andia & Yungar Morales, 2009, pág. 14).
- *Cuenca Baja*: Cuenca de menor pendiente, con un caudal de flujo continuo, cauce definido y amplia planicie de inundación, suele llamarse cono de deyección o zona de depósito (Cahuana Andia & Yungar Morales, 2009, pág. 14).

2.3.7.2.3. Clasificación de cuencas

2.3.7.2.3.1. En relación al tamaño

- *Cuenca grande*: Es aquella cuenca donde predominan las características fisiográficas (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca para fines prácticos se considera grande cuando el área es mayor a 250 km² (Villón, 2002, pág. 23).
- *Cuenca pequeña*: Es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración y en la cual las características físicas (tipo de suelo y vegetación) son más importantes que la del cauce. Se considera cuenca pequeña cuando su área es menor a 250 km² (Villón, 2002, pág. 23).

2.3.7.2.3.2. En función a la salida

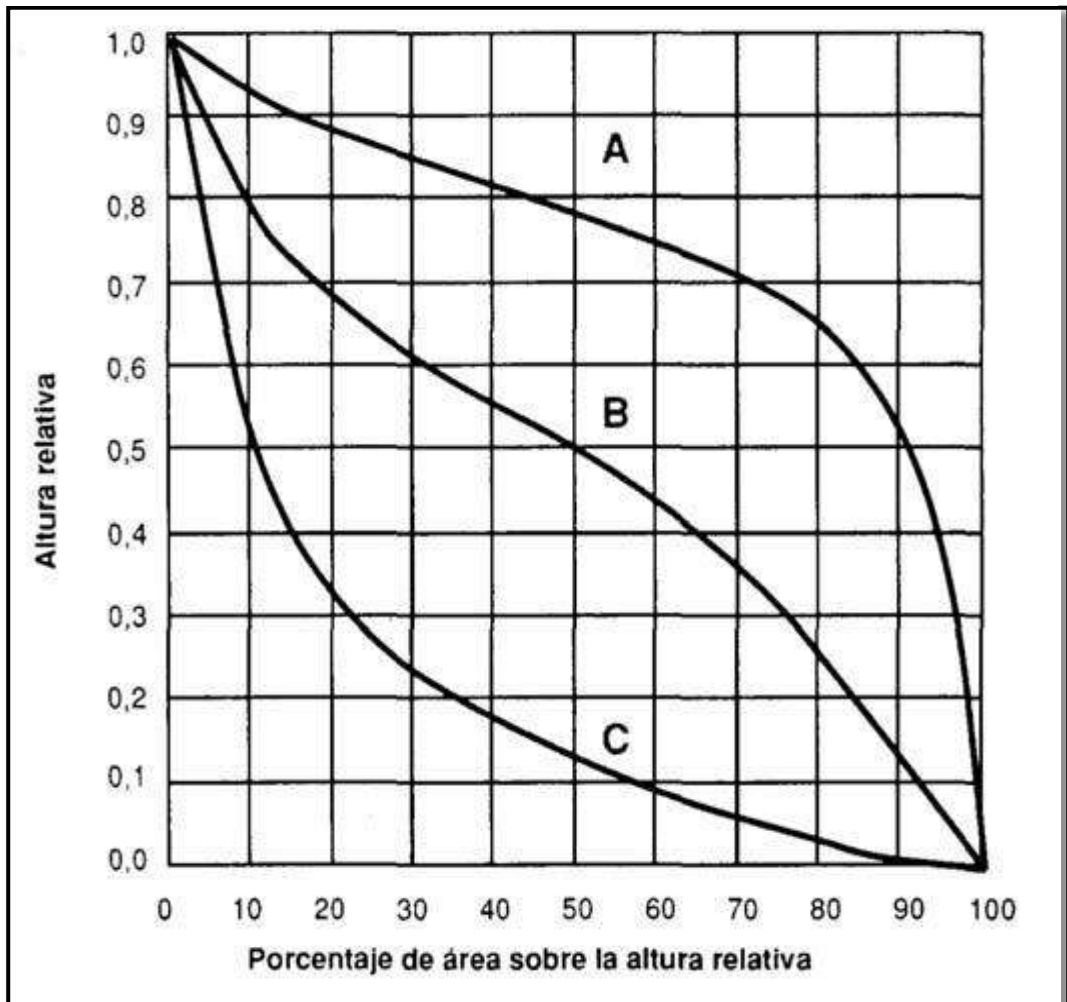
- *Cuencas Endorreicas*: Su punto de salida generalmente es un lago.
- *Cuencas Exorreicas*: Su punto de salida es otra corriente de agua o el mar.

2.3.7.2.4. Curvas características de una cuenca

Fuente: (Villodas, 2008).

Figura 8

Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca.



Curva A: Cuenca con un gran potencial erosivo en la fase de juventud.

Curva B: Cuenca en equilibrio en la fase de madurez

Curva C: Cuenca sedimentaria en la fase de vejez.

2.3.7.2.5. Hidráulica de la cuenca

La hidráulica incluirá el modelamiento matemático del flujo de río.

a) Parámetros fundamentales

Para este análisis se debe entender dos parámetros fundamentales que son número de Reynolds y número de Froude.

$$Re = \frac{v R_h \rho}{\mu}$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g y}}$$

Donde

V= Velocidad promedio en m/s

R_h =Radio hidráulico (área de la selección dividida por la distancia a lo largo del perímetro húmedo)

y= Profundidad del flujo

ρ = Densidad del flujo

μ = Viscosidad cinemática ($1.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

g= Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

Si Re es menor de 500 este flujo es laminar, pero si Re es mayor a 2500 este flujo será turbulento. Si el número de froude es menor a 1 el régimen será tranquilo o subcrítico, pero si Fr es mayor a 1 el régimen será rápido o supercrítico.

b) Clasificación de flujo

En las corrientes de montaña el flujo generalmente es rápido y en las zonas semiplanas el flujo es comúnmente tranquilo (Suarez, 2001, pág. 89)

Tabla 5
Clasificación del flujo en canales.

Tipo de flujo	Criterio para clasificación
Uniforme / variado	Velocidad constante a lo largo del canal /velocidad variable a lo largo del canal.
Constante (steady) / irregular (unsteady)	Velocidad constante con el tiempo / velocidad variable con el tiempo
laminar / turbulento	$Re < 500$ / $Re > 2500$
Tranquilo / rápido	$Fr < 1$ / $Fr > 1$; $Fr = 1$ (flujo crítico)

Fuente: (Suarez, 2001)

c) Ecuaciones fundamentales del flujo

- *Ecuación de Manning*: el criterio tradicional de la hidráulica esta resumido por la ecuación de Manning y limerinos.

$$Q = \frac{1.49 A R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

(Ecuación de Manning)

$$n = \frac{0.0926 R^{2/6}}{1.16 + 2 \log \frac{R}{d_{84}}}$$

(Limerinos)

Donde

A= Área de la sección en m²

R= Radio hidráulico = área/perímetro húmedo

S= Pendiente

n= Coeficiente de rugosidad

d₈₄= Diámetro de las partículas del fondo del cause

Tabla 6

Metodología para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning.

Factor	Descripción del factor	Valor recomendado de n	Valor determinado de n
Material del fondo del cauce	Suelo fino	0.020	n1 =
	Roca	0.025	
	Arena o grava fina	0.024	
	Grava gruesa	0.028	
Irregularidad del fondo del cauce	No hay irregularidades	0.000	n2 =
	Irregularidades menores	0.005	
	Irregularidades moderadas	0.010	
	Irregularidades severas	0.020	
Cambio de secciones transversales	Gradual	0.000	n3 =
	Ocasional	0.005	
	Muchos cambios	0.010 a 0.015	
Obstrucciones o grandes bloques en el cauce	Ninguno	0.000	n4 =
	Menores	0.010 a 0.015	
	Apreciables	0.020 a 0.030	
	severos	0.040 a 0.060	
Vegetación en el cauce	Baja	0.005 a 0.010	n5 =
	Media	0.010 a 0.020	
	Alta	0.025 a 0.050	
	Muy alta	0.050 a 0.100	
n cauce recto = n1 + n2 + n3 + n4 + n5			
Meandros y trezas	Menores (sinuosidad 1.0 a 1.2)	0.00	n6 =
	Apreciables (sinuosidad 1.2 a 1.5)	0.15 x n cauce recto	
	Severas (sinuosidad mayor de 1.5)	0.30 x n cauce recto	
n total del cauce = n1 + n2 + n3 + n4 + n5 + n6			

Fuente: (Suarez, 2001)

2.3.8. Geotecnia

Se puede definir la geotecnia como el conjunto de técnicas, tanto de campo como laboratorio, que permiten conocer el terreno para utilizarlo adecuadamente como elemento de construcción, bien directamente como material (en camino, diques, canales, etc.) o bien como

soporte de una estructura determinada. La geotecnia es una adaptación de un conjunto de teorías de la mecánica racional, elasticidad, plasticidad, hidráulica etc. (Pascual, s/f, pág. 4).

2.3.8.1. Factores geotécnicos en la erosión de las riberas

2.3.8.1.1. Características del suelo

Los suelos de las riberas son los que van a requerir protección frente a la acción erosiva del río, en especial aquellos que no están constituidos por rocas duras a no ser que estas se encuentren alterada deterioradas- por algún motivo, existen dos tipos básicos de suelos inorgánicos que se presentan con mayor frecuencia en las riberas, estos son: suelos cohesivos, formados por agregados de partículas finas y con formas planas originados a partir de la descomposición de rocas químicamente inestables, suelos granulares formado por partículas de forma regular y originado a partir del colapso físico de rocas relativamente estables (Alanya Barzola, 2017, pág. 44)

Tabla 7

Clasificación de suelos según el tamaño de partículas.

Suelo	Tamaño (mm)	Características del drenaje
Arcilla	< 0,002	Impermeable (arcillas intactas) Muy pobre (arcillas alteradas)
Limo	0.002 – 0.06	Pobre
Arena	0.06 – 2.0	Considerable
Grava	2.0 – 60	Bueno
Adoquines	60 – 600	Bueno
Canto rodado	> 600	Bueno

Fuente: (Gonzales, 2004)

2.3.8.1.2. Parámetros geotécnicos

La tensión de rotura de un suelo se define como la máxima resistencia que puede oponer ese suelo a una fuerza externa sin romperse. Si se sobrepasa ese valor, se produce un fallo en el suelo que suele traducirse en la aparición de superficies de deslizamiento. Uno de los factores que más influencia tiene en la determinación de la fuerza resistente de un suelo al deslizamiento es la presión intersticial ó subpresión. Un incremento de ésta disminuye la resistencia del suelo a un valor que se suele denominar tensión efectiva de rotura, la cual se

puede expresar matemáticamente como la suma de dos términos, la cohesión efectiva y la fricción interna efectiva (Gonzales, 2004, pág. 12).

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

Donde:

$c' = c - u$, c' : es la cohesión efectiva,

c es la cohesión, u : es la presión intersticial,

σ'_n : Tensión normal efectiva,

ϕ' : Angulo de rozamiento o fricción interna efectiva

En los suelos no cohesivos como son la arena y grava la cohesión será igual a 0, en los suelos cohesivos la tensión dependerá de la cohesión y la fricción interna y si el suelo es arcilloso saturado la tensión de rotura dependerá solamente de la cohesión ($T = C$). estos parámetros de cohesión y el ángulo de rozamiento interno se obtienen mediante ensayos de laboratorio, pero para poder realizar una estimación previa de estabilidad de los márgenes de un cauce se pueden formar valores medios que se pueden obtener en la siguiente tabla (Gonzales, 2004, pág. 13).

Tabla 8

Valores de cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

Material	Cohesión c (kN/m^2)	Angulo de rozamiento interno ϕ (°) *		
Arcillas:				
Muy rígida ó dura	> 150			
Rígida	100 – 150			
Firme a rígida	75 – 100			
Firme	50 – 75			
Suave a firme	40 – 50			
Suave	20 - 40			
Muy suave	< 20			
Arena limosa		27 - 34		
Suelos granulares		Redondeado	Redondeado y angular	Angular
Tamaño de partícula (D_{50})				
< 1 mm		30	– 33	33 – 35
1 – 10 mm		30 – 32	32 – 36	33 – 40
10 – 100 mm		32 – 37	33 – 40	– 40
Riprap			40 - 45	

Fuente: (Gonzales, 2004)

a) Tipos de erosión en las riberas de los ríos

La resistencia a la erosión de los márgenes de un cauce está directamente relacionada con las características del material del que están constituidos. Estos materiales se pueden clasificar en tres clases: cohesivos, no cohesivos estratificados (Gonzales, 2004, pág. 14).

- *Ribera de materiales cohesivos:* Las márgenes de los cauces compuestos por materiales cohesivos se caracterizan por tener una baja permeabilidad y una resistencia a la erosión superficial debido a las fuerzas de cohesión que presentan. Las principales causas de erosión en este tipo de márgenes son la saturación y el drenaje. El fallo de un margen constituido por este tipo de terreno se produce normalmente por deslizamiento de masas de suelo a lo largo de la superficie de rodadura (Alanya Barzola, 2017, pág. 50)
- *Riberas de materiales no cohesivos:* Los materiales son normalmente depósitos heterogéneos de arenas, limos y gravas. La erosión en las riberas constituidas por este tipo de material puede ocurrir de la siguiente forma. El movimiento del material en esta forma causa erosión en la parte baja del talud provocando un deslizamiento del material de la parte alta del mismo para mantener un talud compatible con el ángulo de rozamiento interno del material que lo constituye. Deslizamiento superficial debido a la presión intersticial (Gonzales, 2004, pág. 15)
- *Riberas de material compuesto o estratificado:* Están constituidos por capas de material con diferentes características en cuanto a tamaño, permeabilidad y cohesión. Esto hace que las capas de material no cohesivo, más sensible a la erosión superficial, puede ser parcialmente protegidas por las capas adyacentes constituidas por material cohesivo, haciéndolas más estables, y al mismo tiempo las no cohesivas pueden servir de ayuda al drenaje de las cohesivas en situaciones de saturación (Gonzales, 2004, pág. 16)

2.3.8.1.3. Conceptos de fuerza atractiva

Un criterio utilizado para calcular la fuerza que el agua en movimiento ejerce sobre las partículas de suelo es el de fuerza tractiva de una corriente τ° . La fuerza tractiva es la fuerza de

corte que ejerce el flujo sobre las partículas del cauce en un determinado punto (Alanya Barzola, 2017, pág. 52).

$$\tau_o = \rho v^2 = \rho .g.y.i$$

Donde:

τ_o = Fuerza tractiva

ρ = **Densidad** del agua

v = Velocidad de la corriente en la superficie del cauce

y = Altura de flujo

i = Pendiente promedio

g = Aceleración de la gravedad

2.3.8.1.4. Esfuerzo crítico para iniciación de movimiento

Así como el agua ejerce una fuerza tractiva sobre los materiales de riberas de ríos a su vez este trata de resistir esa fuerza de corte. Los materiales de riberas de ríos tienen una tensión crítica máxima (T_c) resistencia máxima a la fuerza tractiva (Alanya Barzola, 2017, pág. 53).

Criterio de Shields =

$$\tau_c = 0.06 (\gamma_s - \gamma) D$$

T_c =Esfuerzo cortante critico de iniciación de movimiento N/m²

γ_s = Peso específico de las partículas en N/m³

γ = Peso específico del agua en N/m³

D = Diámetro característico de partículas del cauce en m.

2.3.9. Métodos de protección de riberas

Los métodos de protección de las riberas de un río están basadas en dos alternativas Alternativa uno: La interposición de un elemento que evite la erosión entre la orilla y la corriente de agua y Alternativa dos: La disminución de la capacidad erosiva de la corriente de agua (Alanya Barzola, 2017, pág. 60).

2.3.9.1. Estructuras de protección de riberas

- *Revestimiento*: Son elementos que se interponen entre la ribera del cauce y la corriente de agua con el objetivo de evitar la erosión de este (Alanya Barzola, 2017, pág. 60)
 - 1) Rígidos: Son aquellos que no se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del margen por lo que son susceptibles de fallo si se quedan sin soporte. los más utilizados en función del material empleado son: revestimiento de hormigón o asfalto, mantas rellenas de hormigón, sacos de arena o cemento, geobolsas, revestimiento con concreto ciclópeo (Alanya Barzola, 2017, pág. 60)
 - 2) Flexibles: Estos se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del terreno sobre el que apoyan, causadas principalmente por subsidencia o erosión, sin sufrir daños importantes. Los más utilizados en función del material empleado son: enrocados, gaviones, colchones de neumáticos, bloques de hormigón prefabricados, vegetación, entre otros (Alanya Barzola, 2017, pág. 61).
 - 3) Pantallas: Son estructuras verticales o cuasi-verticales que son capaces de resistir el empuje de un terraplén o dique. Son elementos muy caros. Los tipos más usuales de pantallas son: muros de hormigón, tablestacas metálicas, tablestacas de madera, jaulas de madera, gaviones, neumáticos apilados (Alanya Barzola, 2017, pág. 61).

2.3.9.2. Elementos de control de movimiento

- *Espigones*: Los espigones son estructuras lineales, permeables o impermeables, colocadas en dirección ligeramente transversal al cauce, los cuales controlan el movimiento del agua en la proximidad de la ribera alterando la dirección del flujo, y así reduciendo la velocidad y por tanto, la erosión. Se clasifican en permeables (estructuras de retardo, estructuras de desvío-retardo) e impermeables como estructuras de desvío (Alanya Barzola, 2017, pág. 62)
- *Estructura de retardo*: Son estructuras permeables para la protección de riberas las cuales se diseñan en función de la velocidad de la corriente para inducir procesos de sedimentación o acumulación de material en la ribera a proteger.
- *Diques longitudinales*: son barreras construidas paralelamente a la línea del margen o a la línea de flujo que se desea conseguir, pueden ser en algunos casos

impermeables y su objetivo es la protección de la margen mediante la disminución de la velocidad (Alanya Barzola, 2017, pág. 63).

2.3.9.3. Tipos de defensa ribereña

2.3.9.3.1. Defensas planificadas

- *Muro de concreto:* Pueden ser de concreto armado o concreto ciclópeo. Se emplea generalmente en puentes, zonas urbanas, etc. (Alanya Barzola, 2017, pág. 65)
- *Muro de material de lecho de río:* Construido con material extraído del lecho del río, sus dimensiones varían de 10.00 a 14.00 m. en su base mayor, de 3.00 a 4.00m. en su base menor (corona) y de 3.50 a 4.50m. de altura (Alanya Barzola, 2017, pág. 65).
- *Muro de material de río enchapado con roca:* Es un muro con material del lecho del río, reforzado con roca pesada de cantera en su talud mojado (interior). Este tipo de defensa también puede llevar en su conformación material de afirmado, el cual le da mayor consistencia y están protegidos para la socavación (Alanya Barzola, 2017, pág. 65)
- *Enrocado pesado:* Son obras construidas con roca pesada de cantera de buena calidad, las rocas están entre diámetros de 0.70 a 1.20m. y con un peso de hasta de 2.50ton/m³. Generalmente su forma es trapezoidal (Alanya Barzola, 2017, pág. 65).

2.3.9.3.2. Clasificación de los tipos de defensas ribereñas

Toda estructura que se coloca en las márgenes de los ríos para evitar desbordamiento se les llama defensa ribereña y se tienen dos tipos una flexible y la otra rígida.

2.3.9.3.2.1. Obras de tipo flexible

- *Muro de gaviones:* Son paralelepípedos rectangulares contruidos a base de un tejido de alambre de acero, el cual lleva tratamientos especiales de protección como la galvanización y la plastificación. Se colocan a pie de obra desarmados y luego es rellenado de roca de canto rodado o roca chancada con determinado tamaño y peso específico (Alanya Barzola, 2017, pág. 66). Y se tiene los siguientes:
 - 1) *Gavión tipo caja:* Son paralelepípedos regulares de dimensiones variadas, pero con alturas de 1.0m a 0.50m; conformados por una malla metálica tejida a doble torsión para ser rellenos en obra rocas de dureza y peso apropiado (Alanya Barzola, 2017, pág. 66)

2) *Gavión tipo colchón*: Son aquellos cuya altura fluctúa entre 0,17m - 0,30m y de áreas variables. Son construidos en forma aplanada para ser utilizados como revestimiento anti erosivo, anti socavante (Alanya Barzola, 2017, pág. 66).

3) *Gavión tipo saco*: Son generalmente de forma cilíndrica siendo sus dimensiones variables ya que se conforman para obras de emergencia o de aplicación en lugares de difícil acceso. Se arman generalmente fuera de la obra y se deposita en su lugar mediante el uso de maquinaria de izaje (Alanya Barzola, 2017, pág. 67)

2.3.9.3.2.2. Obras de tipo rígido

- *Pantallas de concreto*
- *Diques*: Es un terraplén natural o artificial, por lo general de tierra, paralelo al curso de un río. Entre los tipos de diques se pueden mencionar: diques artificiales, diques naturales.

CAPÍTULO III CARACTERÍSTICAS GEOMORFOIÓGICAS

En la zona de estudio, se consideraron criterios de control como: caracterización de la pendiente, caracterización de las unidades fisiográficas a partir de la integración de las unidades sub-paisaje y la pendiente, que posteriormente integrado con la litología se obtuvo las unidades geomorfológicas para la zona de estudio que se describen a continuación. Para la clasificación las unidades geomorfológicas se tomaron en cuenta la publicación de Villota (2005).

3.1. Pendientes

Resultado de la utilización del software ArcGIS, donde se partió de la obtención de un modelo digital de elevación del terreno (DEM), del cual se determinó las pendientes del área de estudio, las cuales fueron ajustadas acorde a la imagen satelital y la información recopilada en campo, se obtuvo las pendientes para la Cuenca Vilcabamba e Intercuenca Huaychaumarca, acordes al modelo del MINAM, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9

Pendientes de la Cuenca Vilcabamba

Símbolo	Término descriptivo	Rango	Área (ha)	Área (%)
C	Fuertemente Inclinada	8 % - 15 %	755.09	4.00%
D	Moderadamente Empinada	15 % - 25 %	321.97	1.70%
E	Empinada	25 % - 50 %	5885.34	31.16%
F	Fuertemente Empinada	50 % - 75 %	1861.48	9.86%
G	Escarpada	> 75 %	10026.20	53.08%
I	laguna		37.07	0.20%
Total			18887.16	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se concluye que, en la Cuenca Vilcabamba existe un fuerte dominio de pendientes escarpadas los cuales representan pendientes que se encuentran en un rango de 50% a 75%, emplazadas en toda la zona de estudio en un área de 10026.20 has, los cuales representan el 53.08% del área de la cuenca. En segundo orden se tienen pendientes empinadas que se encuentran entre 25% y 50%, emplazados en el 31.16% del área de la cuenca, equivalentes a 5885.34 has. Seguidamente se tienen pendientes fuertemente empinadas y

fuertemente inclinadas, los cuales representan el 9.86 % del área respectivamente. Por último, se tienen pendientes moderadamente empinadas.

Tabla 10

Pendientes de la intercuenca Huaychaamarca.

Símbolo	Término descriptivo	Rango	Área (ha)	Área (%)
C	Fuertemente Inclinada	8 % - 15 %	42.09	5.70%
D	Moderadamente Empinada	15 % - 25 %	34.55	4.68%
E	Empinada	25 % - 50 %	314.88	42.61%
F	Fuertemente Empinada	50 % - 75 %	192.59	26.06%
G	Escarpada	> 75 %	154.88	20.96%
Total			739.00	100.00%

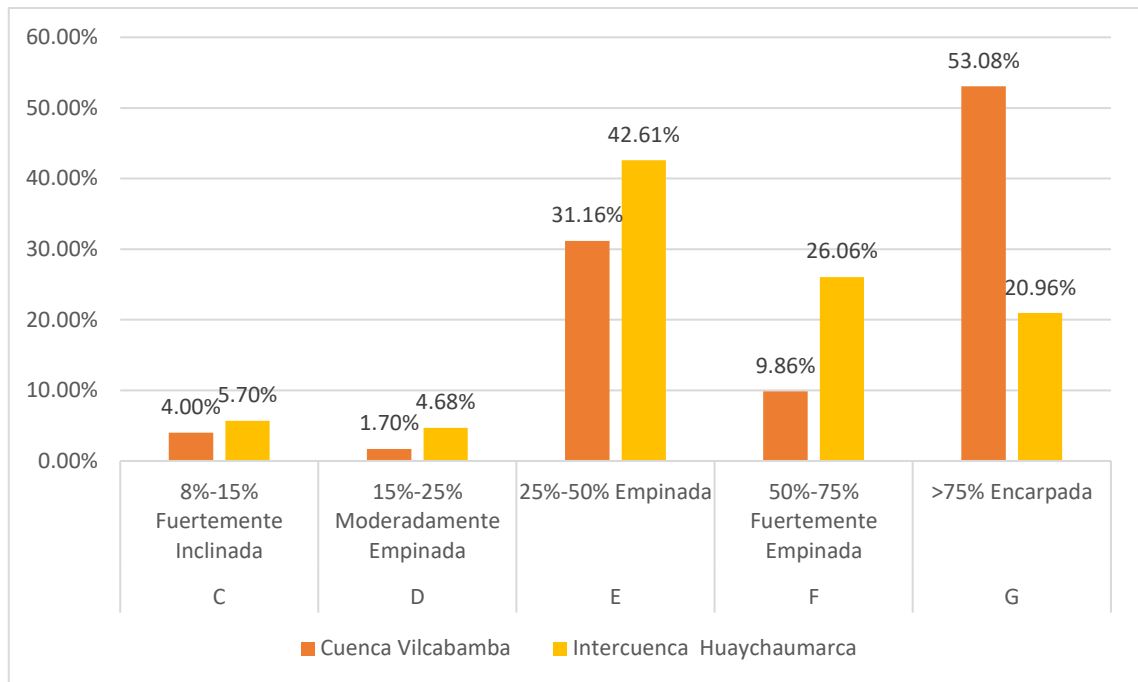
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se concluye que, en la intercuenca Huaychaamarca existe un fuerte dominio de pendientes empinadas los cuales representan pendientes que se encuentran en un rango de 25% a 50%, emplazadas en toda la zona de estudio en un área de 314.88 ha, los cuales representan el 42.61 % del área de la intercuenca. En segundo orden se tienen pendientes fuertemente empinadas que se encuentran entre 50% y 75%, emplazados en el 26.06% del área de la intercuenca, equivalentes a 192.59 has. Seguidamente se tienen pendientes escarpadas y fuertemente inclinadas, los cuales representan el 20.96% y 5.70% del área respectivamente. Por último, se tiene pendientes moderadamente empinadas que representan el 4.68%.979473709

Por otro lado, también se tiene una comparación de la distribución de las pendientes con relación, tanto a la cuenca como a la intercuenca que se muestra en la figura siguiente:

Figura 9

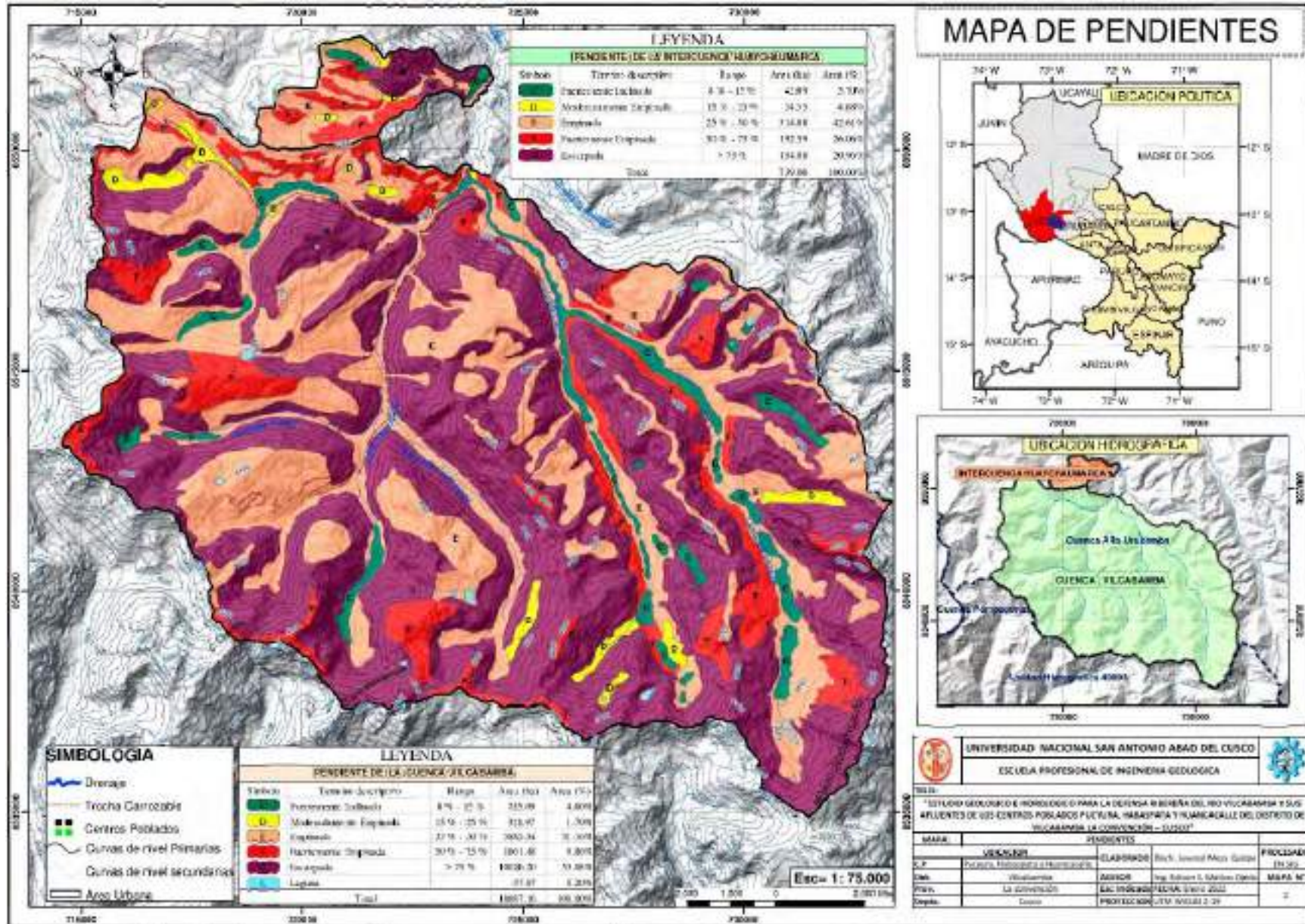
Distribución de pendiente de la cuenca Vilcabamba e intercuenca Huaychaumarca.



Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior se concluye que al realizar una comparación entre las distribuciones de pendientes entre la cuenca e intercuenca, la cuenca Vilcabamba presenta un claro dominio de la pendiente escarpada y pendiente empinada, mientras que por otro lado, la intercuenca Huaychaumarca presenta dominios de las pendientes empinadas y fuertemente empinadas, en consecuencia ambas presentan pendientes fuertes que condicionarán mucho la relación de precipitación – escorrentía – infiltración, es decir ambos presentaran una mayor escorrentía que infiltración, no obstante, considerando solamente el grado de la inclinación que representa la pendiente.

Figura 10: Mapa de pendientes



Caracterizada las pendientes, se determinaron las unidades fisiográficas del área de estudio, con la finalidad de obtener un mapa geomorfológico, la misma que resultará de la intersección entre el mapa geológico y el mapa fisiográfico.

3.1.1. Fisiografía de la cuenca Vilcabamba e intercuenca Huaychaumarca

Se ha caracterizado la fisiografía local de la cuenca Vilcabamba e intercuenca Huaychaumarca donde se obtuvo un mapa temático de unidades fisiográficas, las características físicas de la cuenca referidas al relieve y a la fisiografía indican que el área de estudio se enmarca en un contexto eminentemente montañoso, así mismo, se siguió una caracterización en orden jerárquico, donde uno mayor alberga a otro menor, siendo estos: la provincia fisiográfica, unidad de gran paisaje, unidad de subpaisaje y elementos de paisaje que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 11

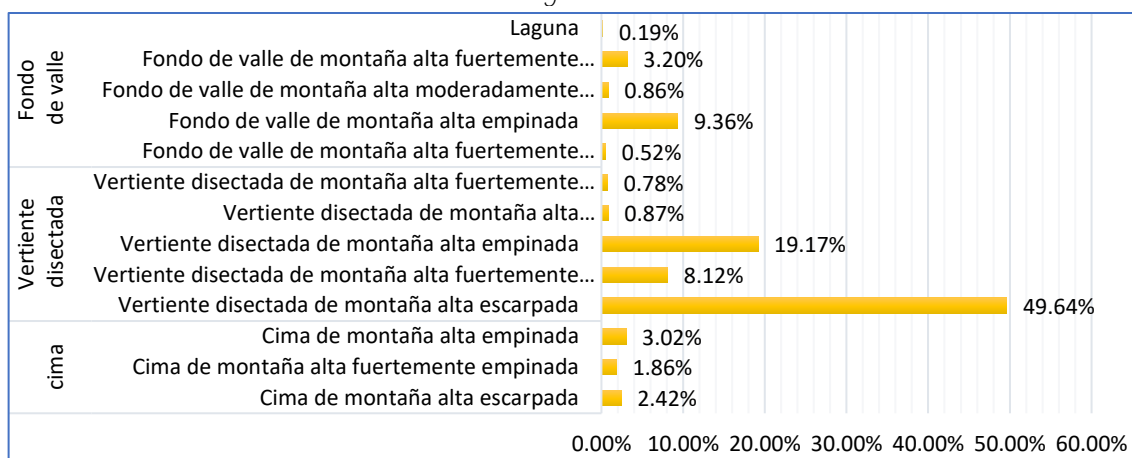
Caracterización de la fisiografía de la cuenca Vilcabamba.

Provincia Fisiografica	Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Elementos de paisaje	Fisiografía de la Subcuenca Vilcabamba			
					Simbolo	Unidades fisiograficas	Area (ha)	Area (%)
Cordillera oriental	Relieve Montañoso	Montaña alta	Cima	Escarpada	CiMa-Es	Cima de montaña alta escarpada	473.41	2.42%
				Fueremente empinada	CiMa-Fe	Cima de montaña alta fuertemente empinada	363.06	1.86%
				Empinada	CiMa-E	Cima de montaña alta empinada	589.98	3.02%
			Vertiente disectada	Escarpada	VdMa-Es	Vertiente disectada de montaña alta escarpada	9707.68	49.64%
				Fueremente empinada	VdMa-Fe	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada	1588.52	8.12%
				Empinada	VdMa-E	Vertiente disectada de montaña alta empinada	3748.76	19.17%
				Moderadamente emp.	VdMa-Me	Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada	170.33	0.87%
			Fuertemente inclinada	VdMa-Fi	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente inclinada	153.49	0.78%	
			Fondo de valle	Fueremente empinada	FvMa-Fe	Fondo de valle de montaña alta fuertemente empinada	102.49	0.52%
				Empinada	FvMa-E	Fondo de valle de montaña alta empinada	1830.06	9.36%
				Moderadamente emp.	FvMa-Me	Fondo de valle de montaña alta moderadamente empinada	167.45	0.86%
				Fuertemente inclinada	FvMa-Fi	Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada	624.95	3.20%
			Laguna					
Total						19557.26	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Distribución de las áreas de las unidades fisiográficas de la cuenca Vilcabamba.



Fuente: Elaboración propia

Con relación a la cuenca Vilcabamba se identificaron 12 unidades fisiográficas. Así mismo, de las tablas anteriores se concluye que, en la cuenca Vilcabamba la unidad fisiográfica vertiente disectada de montaña alta escarpada representa el 49.64% del área de la cuenca que equivale a 9707.68 has representando el área mayor.

De igual manera, se ha caracterizado la fisiografía local de la intercuenca Huaychaumarca y se obtuvo un mapa temático con la finalidad de realizar el mapa geomorfológico.

Tabla 12

Caracterización de la fisiografía de la intercuenca Huaychaumarca.

Símbolo	Unidad	Área (ha)	Área (%)
CiMa-E	Cima de montaña alta empinada	69.27	9.37%
CiMa-Me	Cima de montaña alta moderadamente empinada	18.74	2.54%
VdMa-Es	Vertiente disectada de montaña alta escarpada	154.88	20.96%
VdMa-Fe	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada	192.59	26.06%
VdMa-E	Vertiente disectada de montaña alta empinada	132.43	17.92%
VdMa-Me	Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada	8.79	1.19%
VdMa-Fi	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente inclinada	23.35	3.16%
CoMa-E	Cono aluvial de montaña alta empinada	31.42	4.25%
CoMa-Fi	Cono aluvial de montaña alta fuertemente inclinada	18.74	2.54%
FvMa-E	Fondo de valle de montaña alta empinada	81.76	11.06%
FvMa-Me	Fondo de valle de montaña alta moderadamente empinada	7.02	0.95%
Total		739.00	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la intercuenca Huaychaumarca se identificaron 11 unidades fisiográficas. Así mismo, de la tabla anterior se concluye que, en la intercuenca Huaychaumarca la unidad fisiográfica vertiente disectada de montaña alta empinada representa el 26.06% del área de la intercuenca que equivale a 192.59 has, representando el área mayor.

3.1.1.1. Descripción de las unidades fisiográficas de la cuenca Vilcabamba.

3.1.1.1.1. Cima de montaña alta escarpada, fuertemente empinada y empinada.

Estas unidades tienen una extensión de 473.41 has, 363.06 ha, y 589.98 has, y representan un porcentaje de 2.42 %, 1.86 % y 3.02% respectivamente del área total evaluada, presentan un relieve empinado a escarpado, con pendientes que varían entre 25 y >75%. Se encuentran en las cúspides de las montañas correspondientes a los cerros Collpaccasa, Chucuito, Mandorcasa y al Nevado Choquetarpo, ubicados al oeste, suroeste, sur y sureste del poblado de Huancacalle respectivamente, que representan la culminación y divisoria de aguas en

Figura 12

Cima de montaña alta escarpada del cerro Collpaccasa, oeste del poblado de Huancacalle.



la cuenca Vilcabamba.

Fuente: fotografía tomada por el autor.

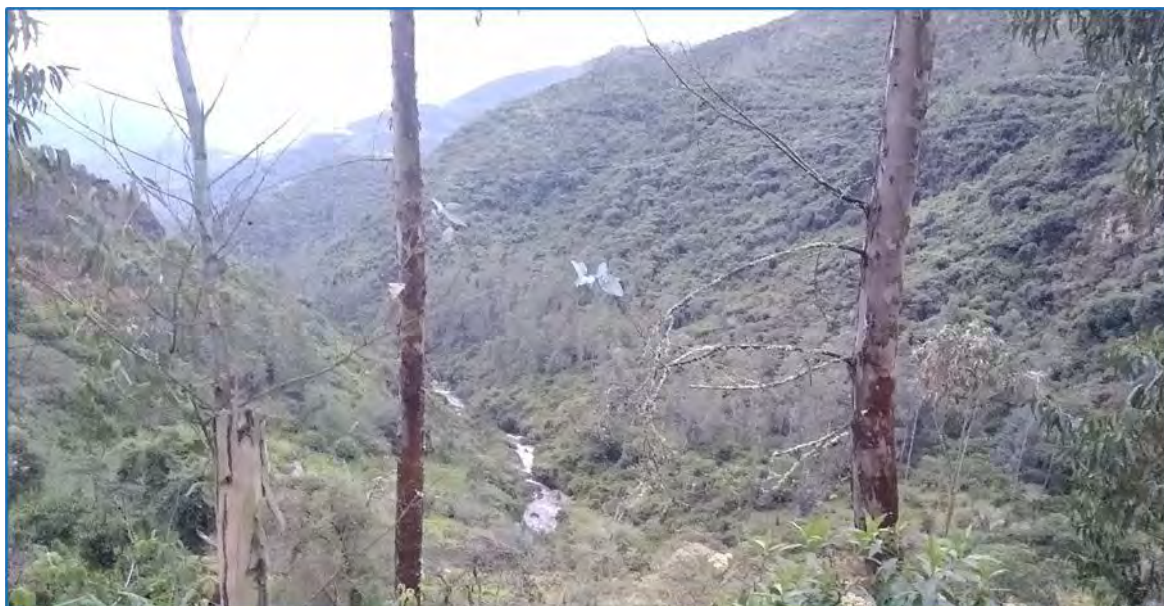
3.1.1.1.2. Vertiente disectada de montaña alta escarpada

Estas unidades tienen una extensión de 9707.68 has y representa un porcentaje de 49.64 %; del área total evaluada, presenta un relieve escarpado, con pendientes que superan el 75%.

Son áreas de topografía muy accidentadas, disectadas por proceso de erosión, conformada por vertientes disectadas, por las cuales fluyen quebradas como afluentes del río principal y afluentes menores, emplazada en toda el área de la cuenca.

Figura 13

Pendiente de montaña alta escarpada, quebrada Tunisca, al suroeste del poblado de Huancacalle.



Fuente: fotografía tomada por el autor

3.1.1.1.3. Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada

Estas unidades tienen una extensión de 1588.52 has y representa un porcentaje de 8.12% del área total evaluada, presenta un relieve fuertemente empinado, con pendientes que varían entre el 50% y 75%. Son áreas de topografía muy accidentadas, disectadas por proceso de erosión, conformada por vertientes disectadas, por las cuales fluyen afluentes menores, emplazada en toda el área de la cuenca.

3.1.1.1.4. Vertiente disectada de montaña alta empinada

Estas unidades se encuentran disectada por el río Vilcabamba, le corresponde una extensión de 3748.76 has y representa un porcentaje de 19.17% del área total evaluada, presenta un relieve empinado, con pendientes que varían entre el 25% y 50%.

Figura 14

Vertiente disectada de montaña alta empinada.



Fuente: fotografía tomada por el autor.

3.1.1.1.5. Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada

Estas unidades tienen una extensión de 170.33 has y representa un porcentaje de 0.87% del área total evaluada, presenta un relieve empinado, con pendientes que entre el 25% y 50%.

3.1.1.1.6. Vertiente disectada de montaña alta fuertemente inclinada

Estas unidades tienen una extensión de 153.49 has y representa un porcentaje de 0.78% del área total evaluada, presenta un relieve inclinado, con pendientes que varían entre el 15% y 25%.

3.1.1.1.7. Fondo de valle de montaña alta fuertemente empinada

Ocupan una extensión de 102.49 has y representa un porcentaje de 0.52% del área total, presenta un relieve fuertemente empinado, con pendientes que varían entre 50% y 75%. Esta unidad se halla en la quebrada Cuchi Iranca, Cayara y Tunisca, al sureste del poblado de Huancacalle.

Figura 15

Valle fuertemente empinado, quebrada Cayara, al suroeste de Huancacalle.



Fuente: fotografía tomada por el autor.

3.1.1.1.8. Fondo de valle de montaña alta empinada

Ocupan una extensión de 1830.06 ha y representa un porcentaje de 9.36 % del área total, presenta un relieve empinado, con pendientes que varían entre 25% y 50%. Esta unidad se halla en la quebrada Caycco y Tacuyoc al sureste del poblado de Huancacalle.

3.1.1.1.9. Fondo de valle de montaña alta moderadamente empinada

Ocupan una extensión de 167.45 has y representa un porcentaje de 0.86% del área total, presenta un relieve moderadamente empinado, con pendientes que varían entre 15% y 25%. Esta unidad se halla al oeste del poblado de Huancacalle.

3.1.1.1.10. Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada

Ocupan una extensión de 624.95 has. y representa un porcentaje de 3.20% del área total, presenta un relieve fuertemente inclinado, con pendientes que varían entre 8% y 15%. Esta unidad se encuentra distribuido en la cuenca de Vilcabamba.

Figura 16

Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada, ubicado en el poblado de Huancacalle



Fuente: fotografía tomada por el autor

Figura 17: Mapa fisiográfico - Cuenca Vilcabamba

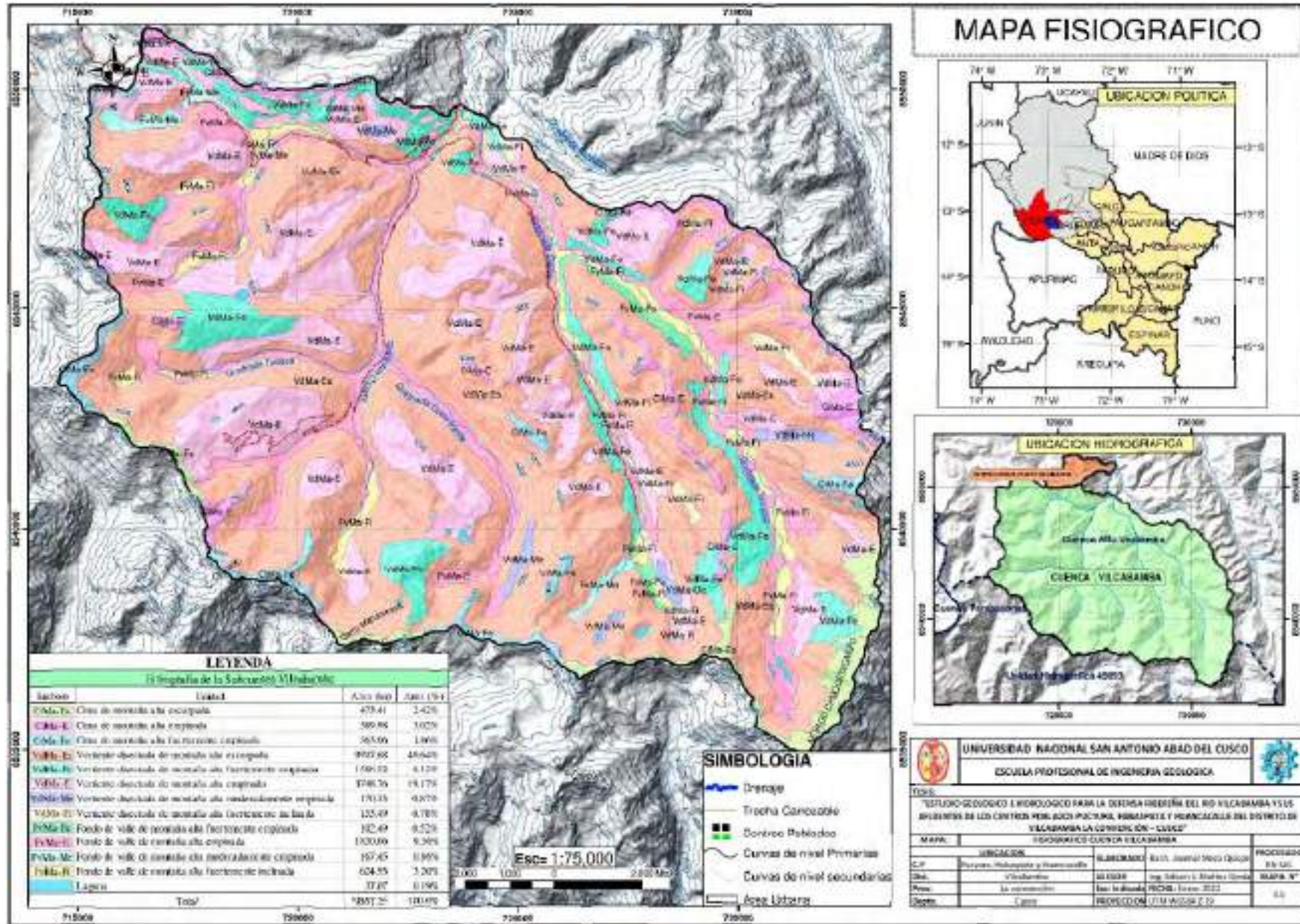
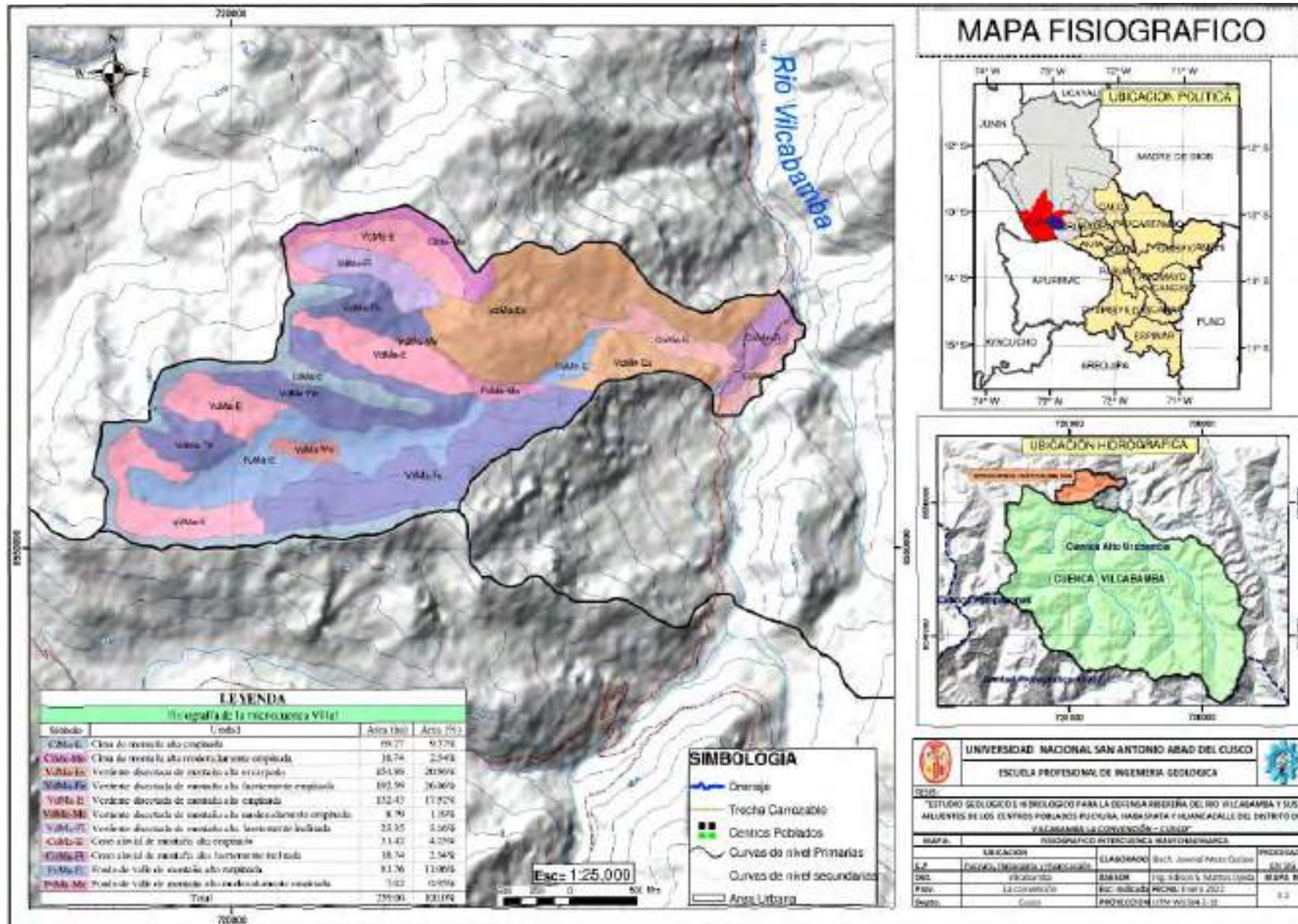


Figura 18: Mapa fisiográfico – Intercuenca Huaychaumarca



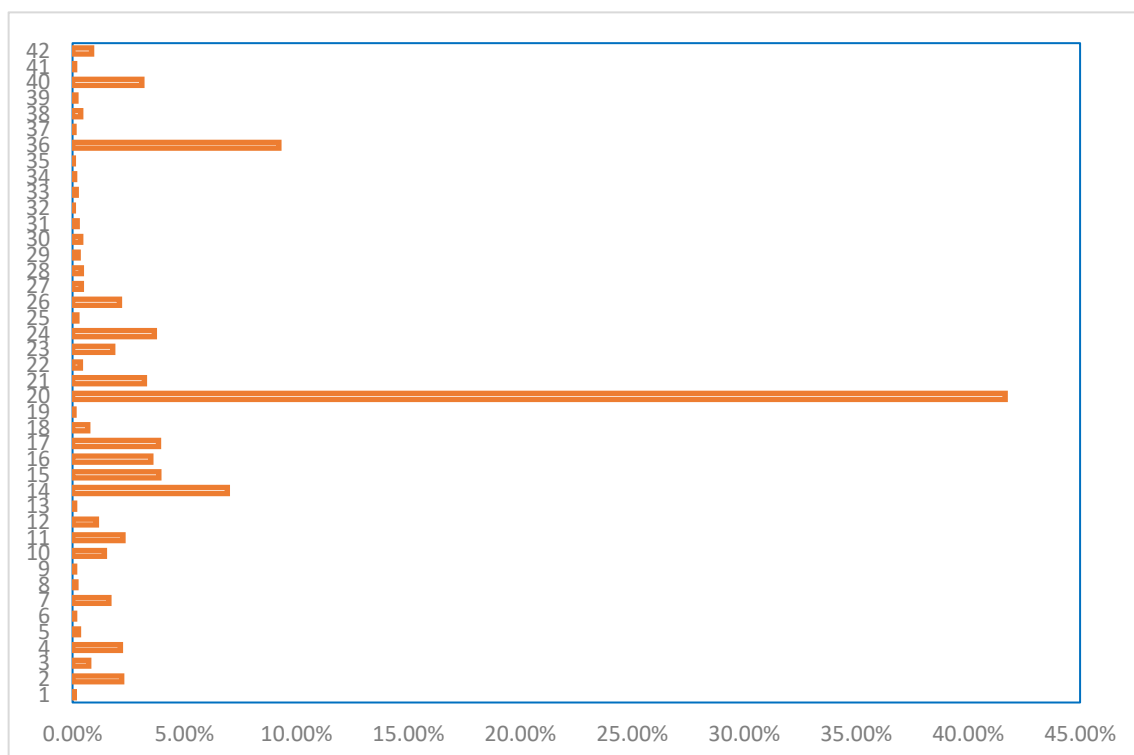
3.2. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas para el área de estudio en general se obtuvieron a partir de la integración del mapa fisiográfico y la caracterización litológica, de esta manera se obtuvieron 42 unidades geomorfológicas, las cuales brindan una información de las características físicas de la cuenca e intercuenca referidas al relieve, fisiografía y litología.

Así mismo, de la tabla y figura siguientes, se concluye que, en la cuenca Vilcabamba y intercuenca Huaychaamarca la unidad fisiográfica, vertiente disectada de montaña alta escarpada en rocas intrusivas representa el 41.66% del área total que equivale a 8175.44 ocupando el área mayor.

Figura 19

Distribución de áreas de las unidades geomorfológicas del área de estudio (cuenca Vilcabamba y intercuenca Huaychaamarca).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Unidades geomorfológicas del área de estudio.

Símb	Unidad	Área (ha)	Área (%)
1	Cima de montaña alta empinada en roca volcánicas	16.26	0.08%
2	Cima de montaña alta empinada en rocas intrusivas	429.76	2.19%
3	Cima de montaña alta empinada en rocas sedimentarias	143.96	0.73%
4	Cima de montaña alta escarpada en rocas intrusivas	420.80	2.14%
5	Cima de montaña alta escarpada en rocas metamórficas	52.61	0.27%
6	Cima de montaña alta fuertemente empinada en roca volcánicas	16.80	0.09%
7	Cima de montaña alta fuertemente empinada en rocas intrusivas	317.43	1.62%
8	Cima de montaña alta fuertemente empinada en rocas sedimentarias	28.83	0.15%
9	Cima de montaña alta moderadamente empinada en rocas sedimentarias	18.74	0.10%
10	Vertiente disectada de montaña alta empinada en roca volcánicas	280.90	1.43%
11	Vertiente disectada de montaña alta empinada en depósitos coluviales	441.74	2.25%
12	Vertiente disectada de montaña alta empinada en depósitos fluvioglaciares	210.41	1.07%
13	Vertiente disectada de montaña alta empinada en depósitos glaciares	17.44	0.09%
14	Vertiente disectada de montaña alta empinada en rocas intrusivas	1356.38	6.91%
15	Vertiente disectada de montaña alta empinada en rocas metamórficas	756.65	3.86%
16	Vertiente disectada de montaña alta empinada en rocas sedimentarias	685.25	3.49%
17	Vertiente disectada de montaña alta escarpada en roca volcánicas	754.55	3.84%
18	Vertiente disectada de montaña alta escarpada en depósitos coluviales	133.30	0.68%
19	Vertiente disectada de montaña alta escarpada en depósitos glaciares	13.78	0.07%
20	Vertiente disectada de montaña alta escarpada en rocas intrusivas	8175.44	41.66%
21	Vertiente disectada de montaña alta escarpada en rocas sedimentarias	630.60	3.21%
22	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada en roca volcánicas	67.98	0.35%
23	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada en depósitos coluviales	351.14	1.79%
24	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada en rocas intrusivas	718.55	3.66%
25	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada en rocas metamórficas	38.20	0.19%
26	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada en rocas sedimentarias	412.65	2.10%
27	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente inclinada en depósitos coluviales	76.66	0.39%
28	Vertiente disectada de montaña alta fuertemente inclinada en depósitos fluvioglaciares	76.83	0.39%
29	Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada en depósitos coluviales	48.17	0.25%
30	Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada en depósitos fluvioglaciares	73.01	0.37%
31	Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada en rocas intrusivas	41.43	0.21%

32	Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada en rocas sedimentarias	7.72	0.04%
33	Cono aluvial de montaña alta empinada en depósitos aluviales	31.42	0.16%
34	Cono aluvial de montaña alta fuertemente inclinada en depósitos aluviales	18.74	0.10%
35	Fondo de valle de montaña alta empinada en depósitos coluviales	7.90	0.04%
36	Fondo de valle de montaña alta empinada en depósitos fluvioglaciares	1807.94	9.21%
37	Fondo de valle de montaña alta empinada en depósitos glaciares	14.22	0.07%
38	Fondo de valle de montaña alta fuertemente empinada en depósitos coluviales	73.04	0.37%
39	Fondo de valle de montaña alta fuertemente empinada en depósitos fluvioglaciares	29.45	0.15%
40	Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada en depósitos fluvioglaciares	605.71	3.09%
41	Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada en depósitos glaciares	19.23	0.10%
42	Fondo de valle de montaña alta moderadamente empinada en depósitos fluvioglaciares	167.45	0.85%
	laguna	37.07	0.19%
Total		19626.16	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Cima de montaña

3.2.1.1. Cima de montaña alta empinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias de 25% a 50% de pendiente. En la intercuenca de Huaychaamarca se encuentra al W del centro poblado de Habaspata, Pucyura y en la cuenca Vilcabamba se presenta al SW del centro poblado de Huancacalle la unidad geomorfológica y tiene una extensión 589.98 has lo que representa el 3% del área total de estudio.

3.2.1.2. Cima de montaña alta escarpada

Esta unidad geomorfológica está conformada por rocas, intrusivas y metamórficas que es >75% de pendiente. En la cuenca Vilcabamba se presenta al límite de la cuenca cabecera. la unidad geomorfológica y tiene una extensión de 473.41 has, lo que representa el 2.41% del área total de estudio.

3.2.1.3. Cima de montaña alta fuertemente empinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias de 8% a 15% de pendiente. En la intercuenca de Huaychaamarca se encuentra al W del centro poblado de Habaspata, Pucyura y en la cuenca Vilcabamba se presenta al límite de

la cuenca cabecera. la unidad geomorfológica tiene una extensión 363.06 has lo que representa el 1.86% del área total de estudio.

3.2.1.4. Cima de montaña alta moderadamente empinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por rocas sedimentarias de 15% a 25% de pendiente, se encuentra cerca al límite de la cuenca de cabecera al W del centro poblado de Habaspata y Pucyura. la unidad geomorfológica tiene una extensión 18.74 has lo que representa el 0.10% del área total de estudio.

3.2.2. Vertiente disectada de montaña

3.2.2.1. Vertiente disectada de montaña alta empinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por rocas volcánicas, intrusivas, metamórficas y sedimentarias, también presenta depósitos glaciares, fluvio-glaciares y coluviales con pendientes que varían de 25% a 50%. La unidad geomorfológica tiene una extensión 3748.77 has lo que representa el 19.70% del área total de estudio.

3.2.2.2. Vertiente disectada de montaña alta escarpada

Vertientes que presentan pendientes >75% y están conformadas por rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias, también presentan depósitos glaciares y coluviales. la unidad ocupa 9707.67 has, lo que representa el 49.46% del área total de estudio.

3.2.2.3. Vertiente disectada de montaña alta fuertemente empinada

Vertientes que presentan pendientes entre 50% a 75% y están conformadas por rocas volcánicas, intrusivas, metamórficas y sedimentarias, también presenta depósito coluvial. la unidad ocupa 1588.52 has lo que representa el 8.09% del área total de estudio.

3.2.2.4. Vertiente disectada de montaña alta fuertemente inclinada

Vertientes que presentan pendientes entre 8% a 15% y está conformado por depósito fluvio-glacial y coluvial. La unidad ocupa 153.49 has lo que representa el 0.78% del área total de estudio.

3.2.2.5. Vertiente disectada de montaña alta moderadamente empinada

Vertientes que presentan pendientes entre 15% a 25% y están conformadas por rocas intrusivas y sedimentarias, también presenta depósitos fluvioglaciares y coluviales. La unidad ocupa 170.33 has lo que representa el 0.87% del área total de estudio.

3.2.3. Cono aluvial de montaña

3.2.3.1. Cono aluvial de montaña alta empinada

Cono que presenta pendientes entre 25% a 50% y está conformado por depósitos aluviales. Ocupa 31.42 has lo que representa el 0.16% del área total de estudio y se encuentra en el centro poblado de Habaspata y Pucyura.

3.2.3.2. Cono aluvial de montaña alta fuertemente inclinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por depósitos aluviales entre 8% a 15% de pendiente, se encuentra en el centro poblado de Habaspata y Pucyura. La unidad geomorfológica tiene una extensión 18.74 has lo que representa el 0.10% del área total de estudio.

3.2.4. Fondo de valle de montaña

3.2.4.1. Fondo de valle de montaña alta empinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por depósitos fluvioglacial, glaciar y coluvial entre 25% a 50%. La unidad geomorfológica tiene una extensión 1830.06 has lo que representa el 9.32% del área total de estudio.

3.2.4.2. Fondo de valle de montaña alta fuertemente empinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por depósitos fluvioglacial y coluvial entre 50% a 75%. La unidad geomorfológica tiene una extensión 102.49 has lo que representa el 0.52% del área total de estudio.

3.2.4.3. Fondo de valle de montaña alta fuertemente inclinada

Esta unidad geomorfológica está conformada por depósitos fluvioglacial y glaciares entre 8% a 15%. La unidad geomorfológica tiene una extensión 624.94 has lo que representa el 3.19% del área total de estudio.

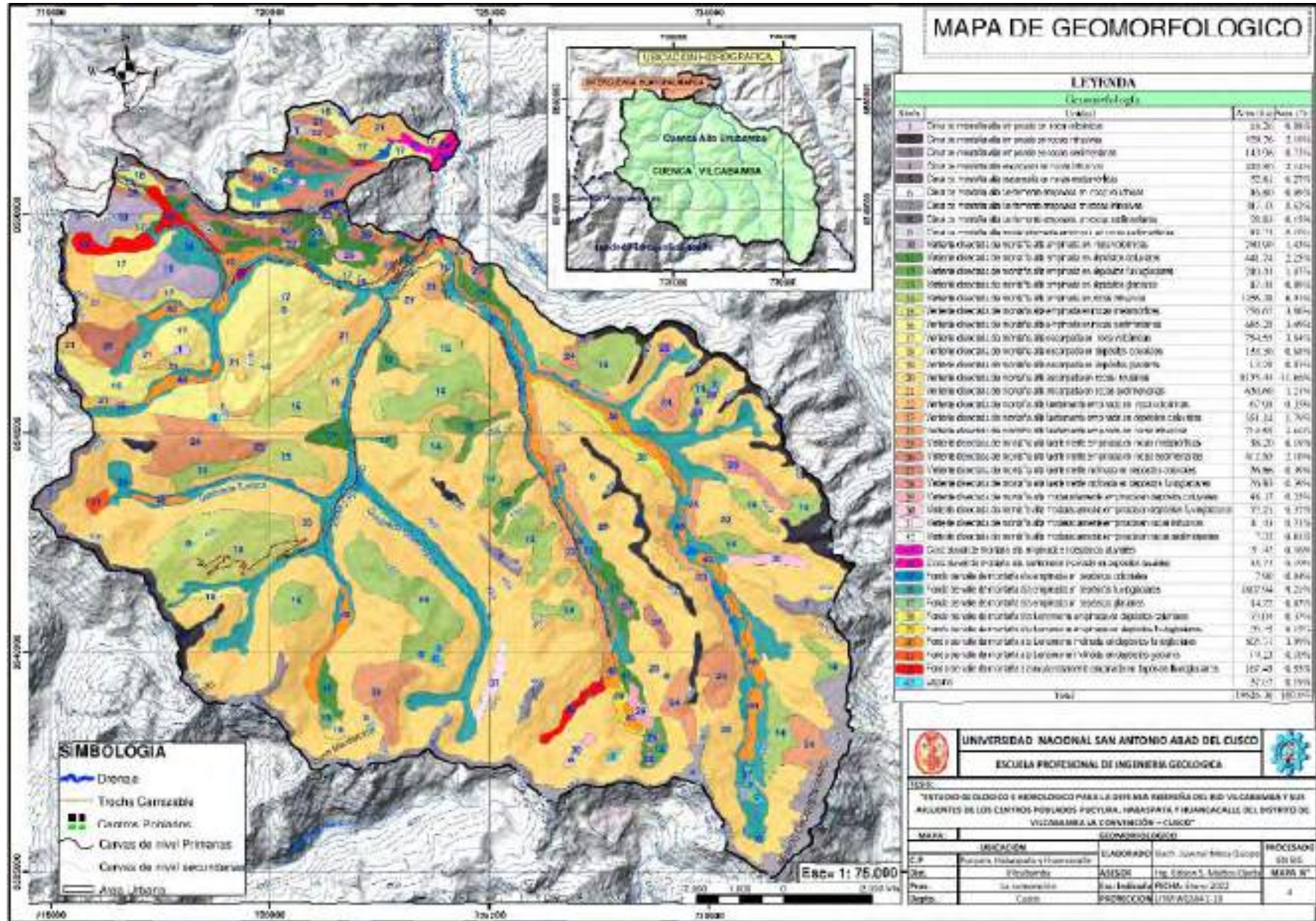
3.2.4.4. Fondo de valle de montaña alta moderadamente empinada

Fondo de valle que presenta pendientes entre 15% a 25% y está conformado por depósitos fluvio-glaciares. Ocupa 167.45 has lo que representa el 0.85% del área total de estudio.

3.2.5. laguna

la cuenca de Vilcabamba presenta diferentes lagunas, que ocupan un área de 37.07has que representa el 0.19% del área de estudio.

Figura 20: Mapa geomorfológico



3.3. Parámetros morfométricos

3.3.1. Parámetros morfométricos de la cuenca Vilcabamba

Se determinaron las características hídricas y geomorfológicas, las cuales comprenden las características físicas de la cuenca Vilcabamba e intercuenca Huaychaamarca como son: el área, forma de la cuenca, sistemas de drenaje, etc.; características que están condicionados por la morfología propia de la zona de estudio, geología, tipo de suelo, etc., características que se muestran a continuación:

3.3.1.1. Elementos de superficie

3.3.1.1.1. Área

La superficie de la cuenca Vilcabamba que está delimitada por las divisorias de aguas presenta un área total de 188.87km².

3.3.1.1.2. Perímetro

La superficie de la cuenca Vilcabamba que está delimitada por las divisorias de aguas presenta un perímetro total de 65.77km.

3.3.1.1.3. Longitud de la cuenca o longitud axial

La cuenca de Vilcabamba presenta una longitud de 16.60 km desde la zona de proyecto hasta la parte más lejana de esta misma.

3.3.1.1.4. Ancho promedio

Se obtiene de dividir el área de cuenca con la longitud de cuenca obteniendo 11.38 km. de ancho promedio.

3.3.1.2. Elementos de forma

3.3.1.2.1. Factor de forma: Es la relación de área de la cuenca con el cuadrado de la longitud de cuenca, la cuenca presenta un valor de 0.69 que representa a una forma ensanchada.

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

Tabla 14

Rango aproximado de factor de forma

Factor de forma	Forma
<0.22	Muy alargada
0.22 – 0.3	Alargada
0.3 – 0.37	ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.6	ligeramente ensanchada
0.6 – 0.8	Ensanchada
0.8 – 1.2	Muy ensanchada
>1.2	Rodeando el desagüe

Fuente: (Pérez, 1979, pág. 4)

3.3.1.2.2. Coeficiente de compacidad: representa el producto del factor 0.2821 por el resultado de dividir perímetro de la cuenca con respecto a la raíz cuadrada de área de cuenca. En la zona de estudio resulta 1.35 que presenta oval redonda a oval oblonda.

$$Kc = 0.2821 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 15

Tabla de índice o coeficiente de compacidad

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
Kc2	1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
Kc3	1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: (Gaspari, 2012)

3.3.1.3. Elementos de relieve

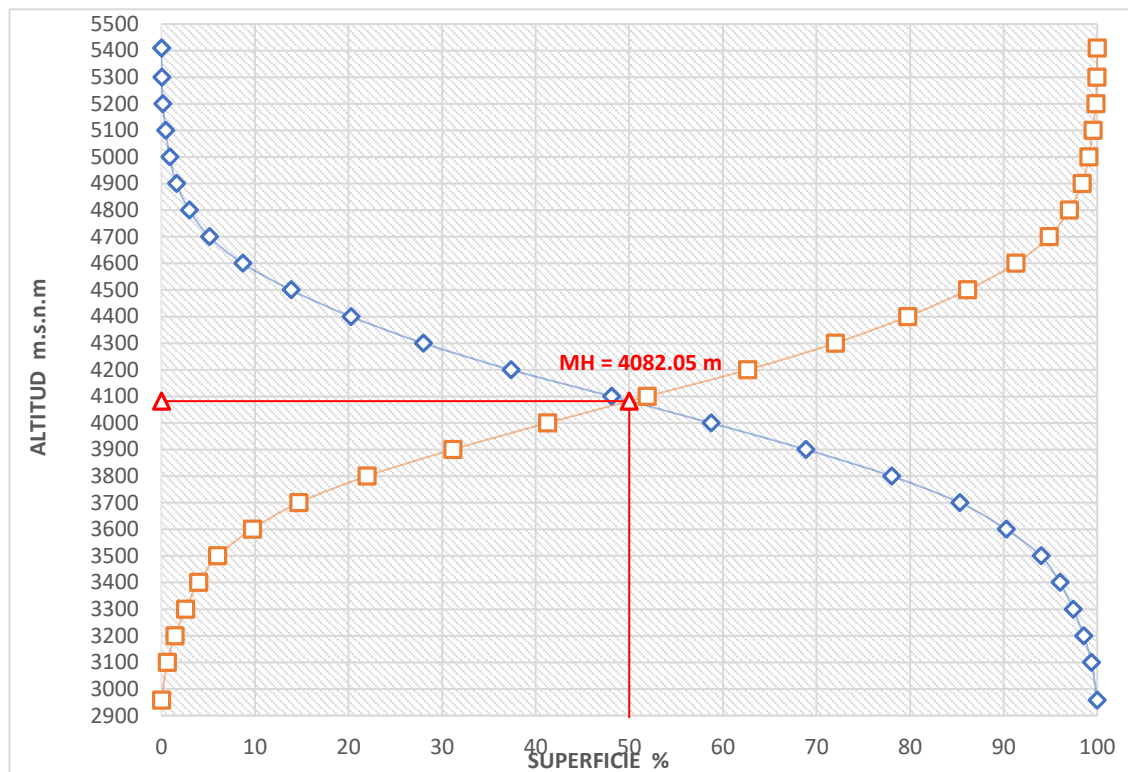
3.3.1.3.1. Pendiente medio de la cuenca: La cuenca de estudio presenta una pendiente media de 17.8%.

3.3.1.3.2. Altitud media: Es la resultante de la sumatoria del promedio de las cotas dividido con el área total. En la cuenca de estudio se determinó 4084.11 msnm.

3.3.1.3.3. Mediana de la altitud: Se determina en la intersección de la curva hipsométrica con el 50% de la superficie, para la cuenca de determinó 4082.05 msnm.

Figura 21

Curva hipsométrica de la Cuenca Vilcabamba.



Fuente: Elaboración propia

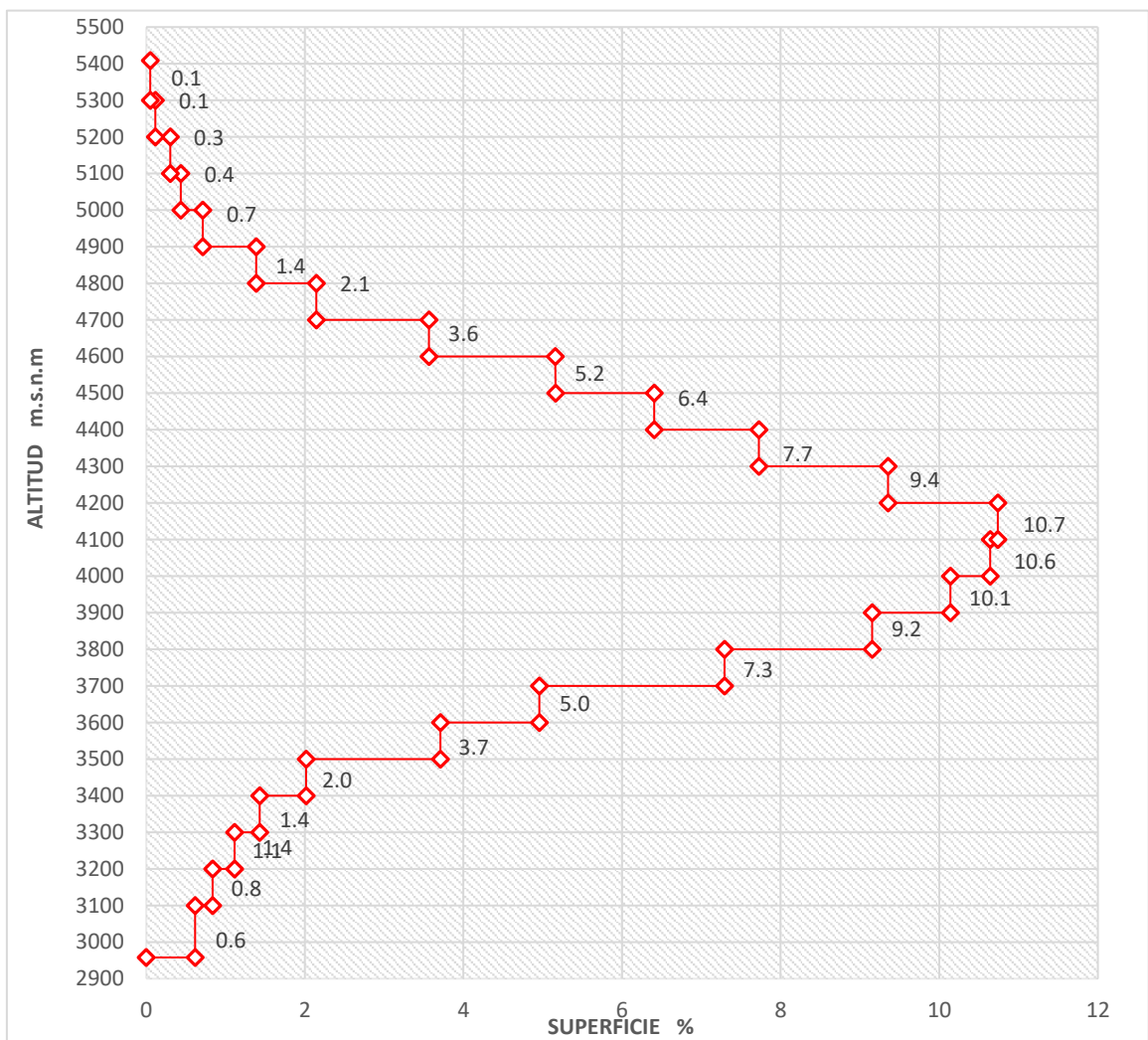
De acuerdo a la curva hipsométrica se puede decir que la cuenca está en una fase de juventud, el cual refleja una cuenca con gran potencial erosivo, el histograma se realizó con una clasificación de 25 áreas parciales.

3.3.1.3.4. Polígono de frecuencias

De la misma manera en la figura de polígono de frecuencias representa la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por las distintas altitudes de la cuenca, se tiene que la altitud más frecuente es de 4100 msnm y 4200 msnm, con un 10.7% del área entre estas cotas.

Figura 22

Polígono de frecuencias de la cuenca Vilcabamba.



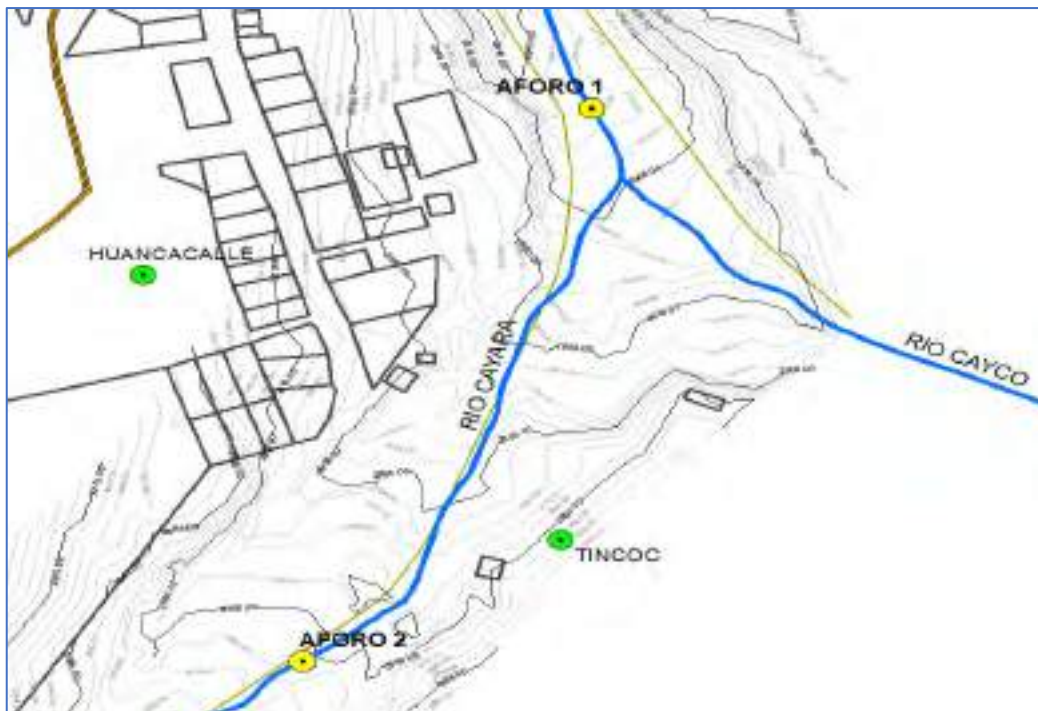
Fuente: elaboración propia

3.3.1.3.5. Tiempo de concentración

Siendo este el tiempo en que demora en llegar una gota de agua en el cauce principal del río (6.19km), desde la parte alta (2471 msnm) hasta el punto de aforo (2958 msnm) de coordenada UTM WGS84 N: 8549154, E: 723660 de la cuenca Vilcabamba.

Figura 23

Ubicación de dos puntos de aforo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Tiempo de concentración cuenca Vilcabamba

METODOIOGIA	TC	Tiempo			
CHEREQUE	Tc	2.2	H	134.06	MIN
GIANDIOTTI	Tc	2.560	H	153.58	MIN
PASSINI	Tc	2.1	H	125.01	MIN
KIRPICH	Tc	1.757	H	105.397	MIN
APARICIO	Tc	2.6	H	155.63	MIN

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Parámetros Morfométricos de la Intercuenca Huaychaumarca

Tabla 17

Morfometría de la intercuenca Huaychaumarca.

ELEMENTOS DE SUPERFICIE			
AREA TOTAL DE LA CUENCA	A	Km ²	7.38
PERIMETRO	P	Km	14.84
LONG. AXIAL	I.A	Km	5.51
ANCHO PROMEDIO	AP	Km	1.34
ELEMENTOS DE FORMA			
FACTOR FORMA	Ff		0.24
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Kc		1.540
DIAMETRO MAYOR	I	Km	6.24
DIAMETRO MENOR	I	Km	1.19
ELEMENTOS DE RELIEVE			
ALTITUD MEDIA.	Hm	m.s.n.m	3582.34
MEDIANA DE LA ALTITUD	Ma	m.s.n.m	3670.30
ALTITUD MAXIMA	Hmax.	m.s.n.m	3956
ALTITUD MINIMA	Hmin.	m.s.n.m	2792
DECIIVIDAD DE LOS TERRENOS			
INDICE DE PENDIENTE	Ip	%	13
PENDIENTE MEDIA DE LA MC.	Pmc	%	20.8

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.1. Elementos de forma

En síntesis, la intercuenca presenta una forma alargada, acorde a Pérez (1979), favoreciendo a que el caudal de salida sea de menor volumen ya que el cauce principal será mucho más largo que los cauces secundarios y con respecto al índice de compacidad presenta 1.54 que corresponde de oval oblonga a rectangular oblonga, acorde a (Gaspari, 2012).

3.3.2.2. Elementos de relieve

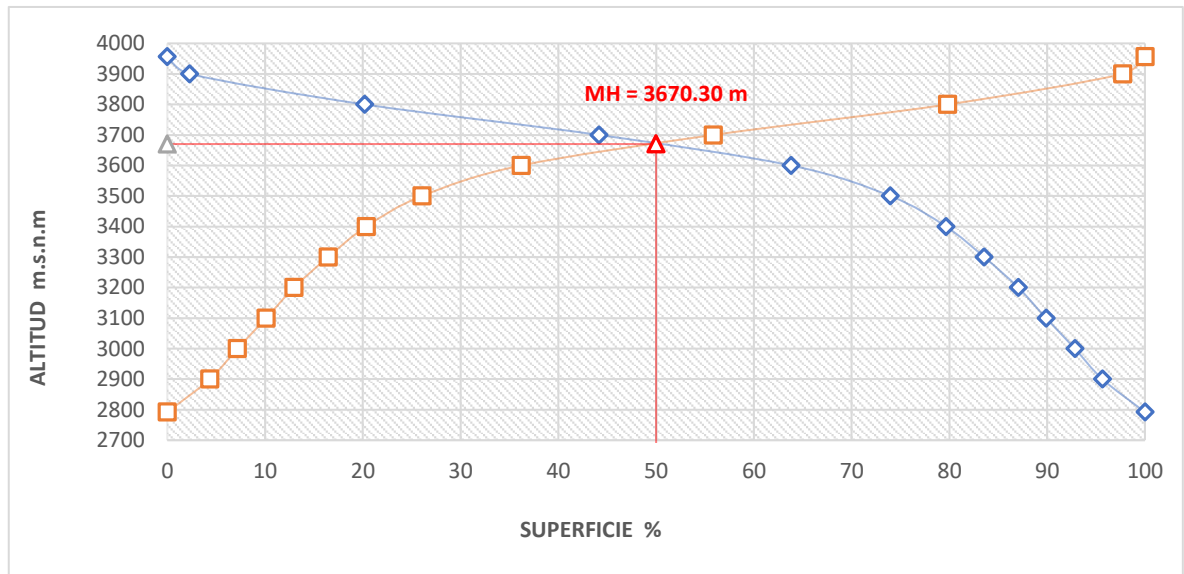
Los elementos de relieve presentan una altitud media de 3582.34 msnm. obtenidos del promedio de las cotas dividido con el área total de la intercuenca, Tenemos que la elevación de la mediana de la altitud es 3670.30 obtenidos de la curva hipsométrica. El nivel de estación de aforo es 2792 msnm representando la altitud mínima de la intercuenca.

3.3.2.2.1. Curva hipsométrica

De acuerdo a la curva hipsométrica (figura siguiente), se puede decir que la cuenca está en una fase de juventud, el cual refleja una intercuenca con gran potencial erosivo.

Figura 24

Curva hipsométrica de la intercuenca Huaychaamarca.



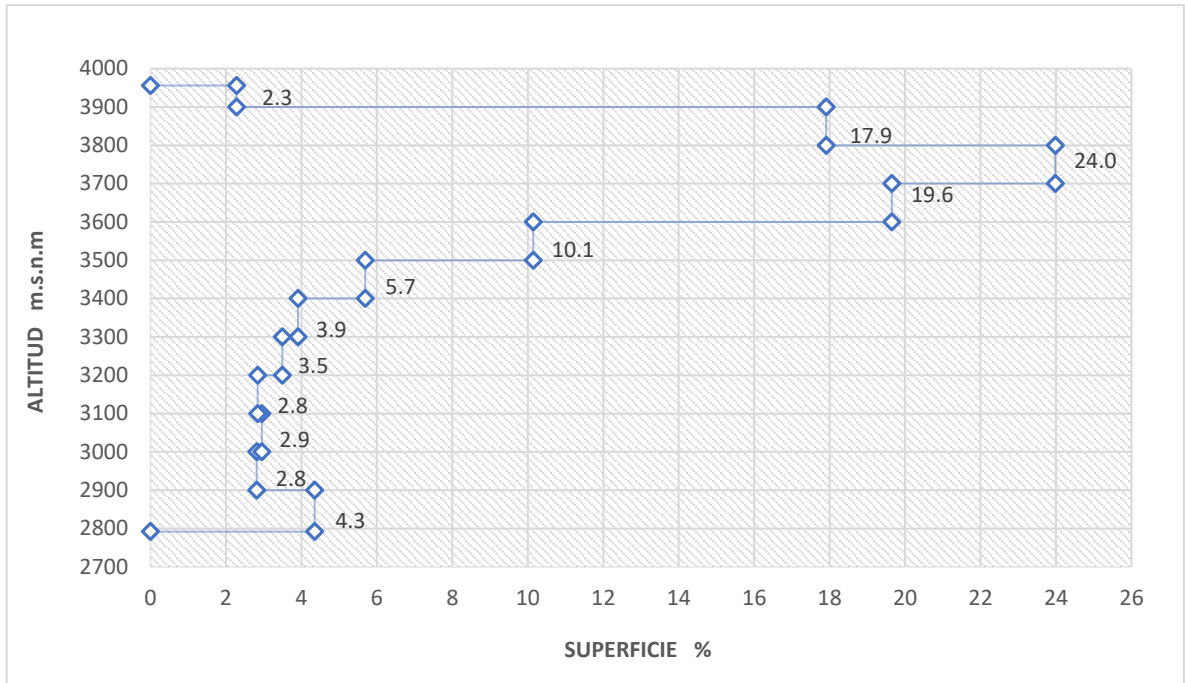
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2.2. Polígono de frecuencias

De la misma manera, en la figura siguiente, el cual corresponde al polígono de frecuencias, que representa la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por las distintas altitudes de la cuenca, se tiene que la altitud más frecuente se encuentra entre 3700 m.s.n.m. y 3800 m.s.n.m., con un 24 % del área entre estas cotas.

Figura 25

Polígono de frecuencias de la intercuenca Huaychaumarca.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2.3. Tiempo de concentración

Siendo este el tiempo en que demora en llegar una gota de agua en el cauce principal del río (3.60 km), desde la parte alta (3601msnm) hasta el punto de aforo (2792msnm) de coordenadas UTM WGS84 N: 8551453, E: 723866 de la intercuenca Huaychaumarca.

Figura 26

Ubicación de aforo del río Huaychaumarca



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Tiempo de concentración intercuenca Huaychaumarca.

METODOLOGIA	TC	Tiempo			
CHEREQUE	Tc	0.5	H	30.93	MIN
GIANDIOTTI	Tc	0.707	H	42.40	MIN
KIRPICH	Tc	0.808	H	48.488	MIN
APARICIO	Tc	0.8	H	48.61	MIN

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Parámetros hidro morfométricos de la Cuenca Vilcabamba.

Se considera las características de una red de drenaje, considerando la trayectoria que guardan entre sí, lo cual nos proporcionó indicios de las condiciones del suelo, así como de la superficie de la cuenca y su comportamiento hidrológico superficial, en los siguientes párrafos se muestran los resultados obtenidos.

3.4.1. Forma de drenaje

la cuenca Vilcabamba presenta el patrón de drenaje tipo dendrítico subparalelo.

3.4.2. Grado de ramificación

En la cuenca Vilcabamba se realizó la clasificación por método Horton y Strahler y se determinó una ramificación de 1,2,3 y cuarto orden.

3.4.3. longitud del curso principal y longitud total de drenajes de diferentes grados

Presenta una longitud principal de 17.96 Km y una longitud total de 135.83 km.

3.4.4. Pendiente media del curso principal y desnivel del curso principal

Presenta una pendiente 13.15% y un desnivel de curso 2451 m.

3.4.5. Densidad de drenaje

Se determina al dividir la longitud total de drenajes en Km al área total de la cuenca y para este estudio resultó 0.72. lo cual esquivale a un rango bajo de capacidad de desalojar volumen de agua.

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

Tabla 19

Rangos de la densidad de drenaje

Densidad de drenaje	(valores aproximados) Clases
0.1 a 1.8	Baja
1.9 a 3.6	Moderada
3.7 a 5.6	Alta

Ilustración: IBAI, 2009

3.4.6. Relación de bifurcación de ríos

Es el resultado del promedio de la operación de dividir cantidad de numero de drenajes de primer orden con la cantidad de drenajes de segundo orden, cantidad de numero de

drenajes de segundo orden con la cantidad de drenajes de tercer orden y así sucesivamente hasta dividir con la cantidad de numero de drenajes de último orden.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Donde Nu: Numero de drenaje de una orden.

Nu+1: Numero de curso de agua de orden inmediata superior

Para la cuenca Vilcabamba se tiene Rb de 2.66.

Tabla 20

Relación de bifurcación de ríos de la cuenca Vilcabamba.

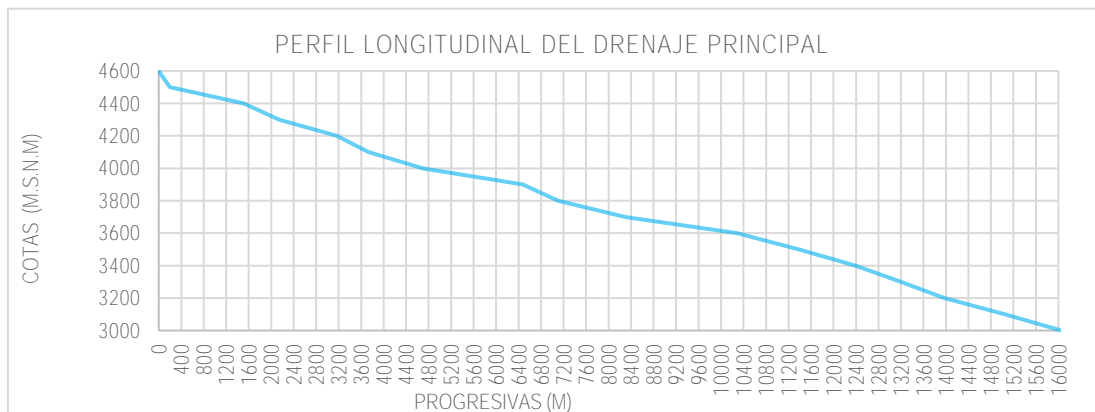
Grado	N° de ríos	longitud Km	Relación de bifurcación
ORDEN 1°	16	50.10	-
ORDEN 2°	4	26.92	4
ORDEN 3°	2	9.49	2
ORDEN 4°	1	0.02	2
TOTAL		135.83	2.66

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Perfil longitudinal del cauce principal.

Figura 27

Perfil longitudinal del drenaje principal de la cuenca Vilcabamba.



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Parámetros hidro morfométricos de la intercuenca Huaychaamarca.

En la tabla 20 se muestran los valores obtenidos de las características hidro-morfométricas de la intercuenca Huaychaamarca.

Tabla 21

Resumen de las características hidro-morfométricas, Intercuenca Huaychaamarca.

Intercuenca Huaychaamarca	SIMBOI.	UNIDAD	VAIOR
Forma de la red de drenaje	dendrítico sub paralelo		
Grado de ramificación	1°, 2°, 3°, 4°..	Orden	3°
longitud del curso principal	IRP	Km	5.61
Pendiente media del curso principal	Ir	%	21.05
longitud total de drenajes de diferentes grados	IR	Km	8.84
Densidad de drenaje	Dd	Km/Km ²	1.20
Relación de bifurcación de ríos	Rb		1.5
Desnivel del curso principal		m	991

Fuente: Elaboración propia.

De los valores obtenidos en la tabla anterior se concluye que la cuenca Vilcabamba presenta una red de drenaje dendrítica subparalela con un grado de ramificación u orden de corrientes 3, consecuentemente la longitud del curso principal es de 5.61 km el cual presenta un desnivel de 991 metros obteniéndose una pendiente media de 21.05%, así mismo, se tiene que la longitud total del drenaje en sus diferentes órdenes es de 8,84 km. De la misma manera, se tiene que la densidad de drenaje para la intercuenca es de 1.20 km/km², lo cual nos indica la relación de la longitud de los cursos de agua con relación a la superficie total de la cuenca. Con relación a la bifurcación de ríos (tabla siguiente), el cual muestra la relación entre el número de cauces de un orden dado y el número de cauces del orden inmediatamente superior se obtuvo un valor de 2, el cual se puede correlacionar a terrenos escarpados propios del área de estudio.

Tabla 22

Relación de bifurcación de ríos de la intercuenca huaychaumarca.

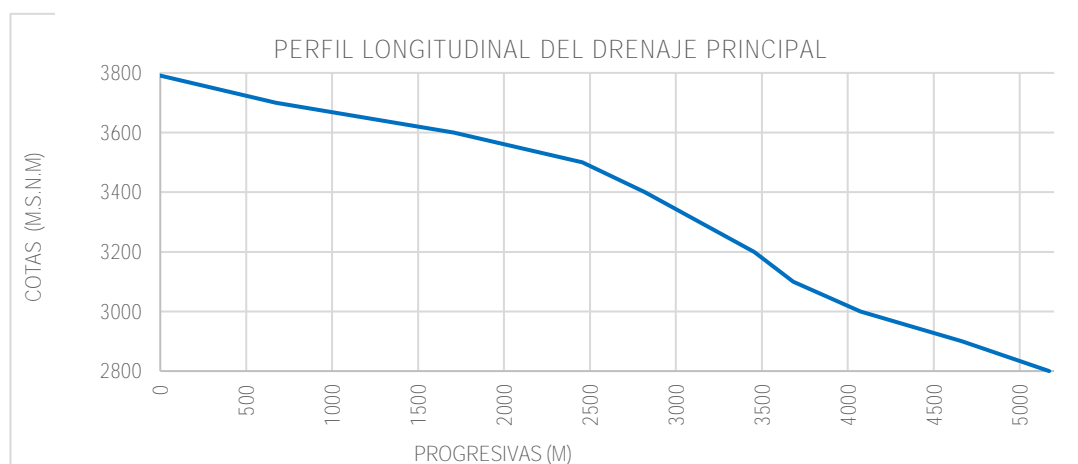
Grado	N° de ríos	longitud	Relación de bifurcación
		Km	
ORDEN 1°	4	3.16	-
ORDEN 2°	2	2.64	2.00
ORDEN 3°	1	1.86	2.00
TOTAL		8.84	2.00

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. Perfil longitudinal del cauce principal.

Figura 28

Perfil longitudinal del drenaje principal de la intercuenca Huaychaumarca.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS GEOIÓGICAS Y ESTRUCTURAIES IOCAIES

4.1. Caracterización litológica

4.1.1. Grupo Ollantaytambo (CaOi-o/ind)

Esta unidad aflora ampliamente al noreste del centro poblado de Huancacalle, en la cuenca Vilcabamba. litológicamente se caracteriza por estar constituida por cuarcitas metavolcánicas verdes y niveles de mármol, esquisto, sericitica carbonosos, fillitas grises, pizarras, limolitas grises y mica esquistos, los cuales presentan un rumbo dominante en dirección SE – NW, con una dirección de sus estratos hacia el Sur. Así mismo el grupo Ollantaytambo representa 2114.50 has. del área de estudio, lo cual equivale el 10.77% del área total.

4.1.2. Formación San José (Om-sj)

En la zona de estudio esta unidad aflora al SW del poblado de Huancacalle en la cuenca de Vilcabamba. litológicamente se caracteriza por estar constituida por pizarras grises con contenido de pirita y limolitas con areniscas. Así mismo, el grupo San José representa 29.49 has. del área de estudio, lo cual equivale el 0.15% del área total.

4.1.3. Grupo Copacabana (Pi-c)

Esta unidad aflora ampliamente al oeste de los centros poblado de Habaspata y Pucyura que pertenece a la intercuenca de Huaychaamarca, como también aflora al suroeste del centro poblado de Huancacalle el cual pertenece a la cuenca de Vilcabamba. litológicamente está conformada por areniscas cuarzosas blancas y grises, intercaladas con niveles de pelitas negras carbonosas los cuales presentan un rumbo de N62° y buzamiento de SW28°. Así mismo, el grupo Copacabana representa 1354.80 has. del área de estudio, lo cual equivale a 6.90% del área total.

Figura 29

Arenisca blanquecina de grano grueso, medio a fino ubicada en la cuenca de Vilcabamba.



Fuente: elaboración propia

4.1.4. Grupo Mitu (PsT-m)

Esta unidad aflora ampliamente al oeste de los centros poblados de Habaspata y Pucyura que pertenece a la intercuenca de Huaychaamarca, como también aflora al SWW del centro poblado de Huancacalle el cual pertenece a la cuenca de Vilcabamba. litológicamente está conformado por brechas y lavas andesíticas, conglomerados, intercalada con areniscas, limolitas rojas y verdes con niveles de yeso. Así mismo, el grupo Mitu representa 1136.49 has. del área de estudio, lo cual equivale el 5.79% del área total.

Figura 30

Afloramiento del Grupo Mitu en el deslizamiento cornetero perteneciente a la cuenca de Vilcabamba.



Fuente: fotografía tomada por el autor

4.1.5. Formación Maras (Kis-ma)

la formación maras aflora en pequeñas extensiones de área al oeste del centro poblado de Huancacalle. Litológicamente está conformada por intercalación de arcillas, lutitas y algunos estratos de caliza y yesos. Así mismo, la formación Maras representa 38.59 has. del área de estudio, lo cual equivale al 0.20%.

4.1.6. Formación Vilquechico (Kis-vi)

Esta unidad aflora en pequeñas extensiones de área al oeste del centro poblado de Huancacalle. Está conformada por areniscas cuarzosas blancas intercaladas limoarcillitas de coloración gris verdosa. Así mismo, la formación Vilquechico representa 65.47 has. del área de estudio, lo cual equivale al 0.33% del área total.

4.1.7. Formación Ausangate (KsP-au)

la formación Ausangate en pequeñas extensiones de área al noreste de los centros poblados Habaspata y Pucyura, también aflora al norte del centro poblado de Huancacalle el cual pertenece a la cuenca de Vilcabamba. litológicamente se caracteriza por presentar limoarcillitas

y lodolitas rojas intercaladas en estratos medianos a gruesos, los cuales presentan un rumbo dominante SE-NW, con una dirección de estratos hacia el norte. Asimismo, la formación Auzangate representa 75.40 has. del área de estudio que equivale al 0.38% del área total.

4.1.8. Formación Muñani (KsP-mu)

Esta unidad aflora en pequeñas extensiones de área al oeste de los poblados de Habaspata y Pucyura, también aflora al oeste del centro poblado de Huancacalle que pertenece a la cuenca de Vilcabamba. Litológicamente se caracteriza por estar constituida por Areniscas cuarzo - feldespáticas intercaladas con limoarcillitas rojizas y verdes en estratos delgados, los cuales presentan un rumbo dominante en dirección SW, con una dirección de sus estratos hacia el Norte. Así mismo la formación Muñani representa 393.49 has. del área de estudio lo que equivale al 2% del área total.

4.1.9. Depósito glaciar (Qh-gl)

Este depósito aflora al sur del centro poblado de Huancacalle en la cuenca de Vilcabamba. litológicamente está conformado por gravas y cantos angulosos a subangulosos en matriz arenolimosas. Así mismo, el depósito glaciar representa 64.68 has. del área de estudio lo que equivale al 2% del área total.

4.1.10. Depósito fluvio-glaciar (Qh-fl)

Esta unidad geológica aflora al noreste del centro poblado de Habaspata y Pucyura, También aflora ampliamente al SW, S y al SE del centro poblado de Huancacalle a lo largo de las quebradas en la cuenca Vilcabamba. litológicamente está conformado por gravas, arenas en matriz limoarenosas, arenas y materiales residuales no consolidados. Así mismo, el depósito fluvio-glaciar representa 2970.79 has. del área de estudio lo que equivale al 15.14% del área total.

Figura 31

Viviendas de Huancacalle sobre depósitos fluvioglacial.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

4.1.11. Depósito aluvial (Oh-al)

Esta unidad aflora al oeste del centro poblado de Habaspata y Pucyura, como también se presenta en el centro poblado de Huancacalle de la cuenca de Vilcabamba. Litológicamente está conformado por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limoarenosas y materiales residuales. Así mismo, el depósito aluvial muestra afloramientos en 50.16 has del área de estudio lo que representa el 0.26% del área total.

Figura 32

Deposito Aluvial ubicada al sur del centro poblado de Huancacalle.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

4.1.12. Depósito coluvial (Qh-co)

los depósitos coluviales afloran al oeste del centro poblado de Habaspata, También afloran al SW, S y al SE del centro poblado de Huancacalle a lo largo de las quebradas en la cuenca Vilcabamba. Litológicamente está conformado por bloques, gravas y detritos envueltos por una matriz areno limosa. Así mismo, el depósito coluvial aflora en 1131.97 has del área de estudio lo que representa el 5.77% del área total evaluada.

Figura 33

Viviendas construidas sobre depósitos coluviales, Centro poblado de Huancacalle.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

4.2. Características Estructurales

4.2.1. Fallas

4.2.1.1. Fallas de rumbo

Dentro del área de estudio, se distinguen fallas de dirección este – oeste, las cuales son fallas de rumbo, que presentan un rumbo aproximado de O – E, y se encuentran emplazadas paralelamente, pasando el primero por el poblado de Layancalle.

4.2.1.2. Fallas de tipo normal

Dentro del área de estudio se distinguen fallas de dirección este – oeste, las cuales son un sistema de fallas normales, los cuales presentan un rumbo aproximado de SW – NE y se encuentran emplazadas al sureste del poblado de Wilcancha. Así mismo, se identificaron otros sistemas de fallas en dirección NW – SE, que se encuentran emplazados al suroeste del poblado de Ccollpachicco.

4.2.1.3. Fallas de tipo Inversas

Se identificaron dos fallas de tipo inversa, una que cruza transversalmente la intercuenca Huaychaamarca en dirección E - W, el siguiente que se identificó cruza transversalmente la cuenca Vilcabamba, por el curso de la quebrada Cayara, con una dirección SW – NE.

Para una mejor comprensión, a continuación, se muestra el mapa estructural del área de estudio donde se observa la distribución espacial de los distintos tipos de fallas enmarcados en el área de estudio, consecuentemente se muestran 4 secciones geológicas, de cómo se encuentran distribuidos las fallas geológicas y las distintas formaciones presentes en el área de estudio.

4.2.2. Análisis estructural de las pizarras de la formación San José

Este afloramiento está ubicado al sur de Pucyura-Habaspata la cual presenta fracturas en diferentes lugares de los cuales se hicieron las mediciones de Azimut y Buzamientos, para de esta manera conocer sus direcciones y número de familias.

Figura 35

Afloramiento de pizarra al Oeste de la población de huancacalle



Fuente: fotografía tomada por el autor

Tabla 23

Datos del afloramiento en la formación San Jose, Estación 01

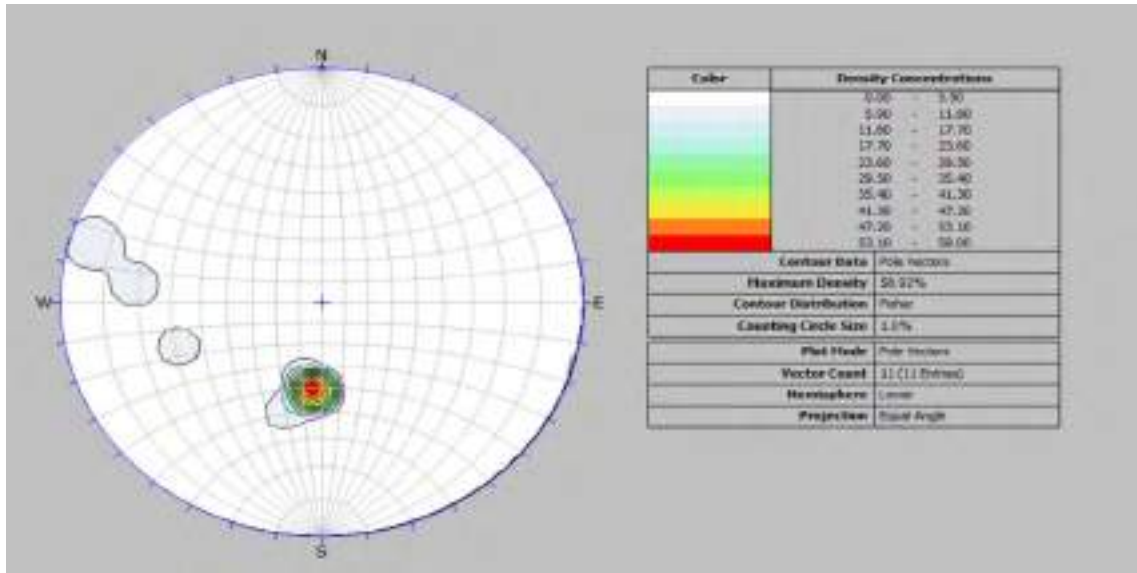
	ESTE	NORTE	BUZAMIENTO	AZIMUT
ESTACION N° 01	723495	8549373	42	1
	723495	8549373	35	14
	723495	8549373	40	2
	723495	8549373	41	11
	723495	8549373	43	5
	723495	8549373	52	17
	723495	8549373	43	4
	723495	8549373	40	2
	723495	8549373	60	71
	723495	8549373	84	106
	723495	8549373	71	96

Fuente: elaboración propia

Esta estacion presenta una direccion de una familia representativa de N-S y una familia de segundo orden que presenta una direccion de NWW-SEE.

Figura 36

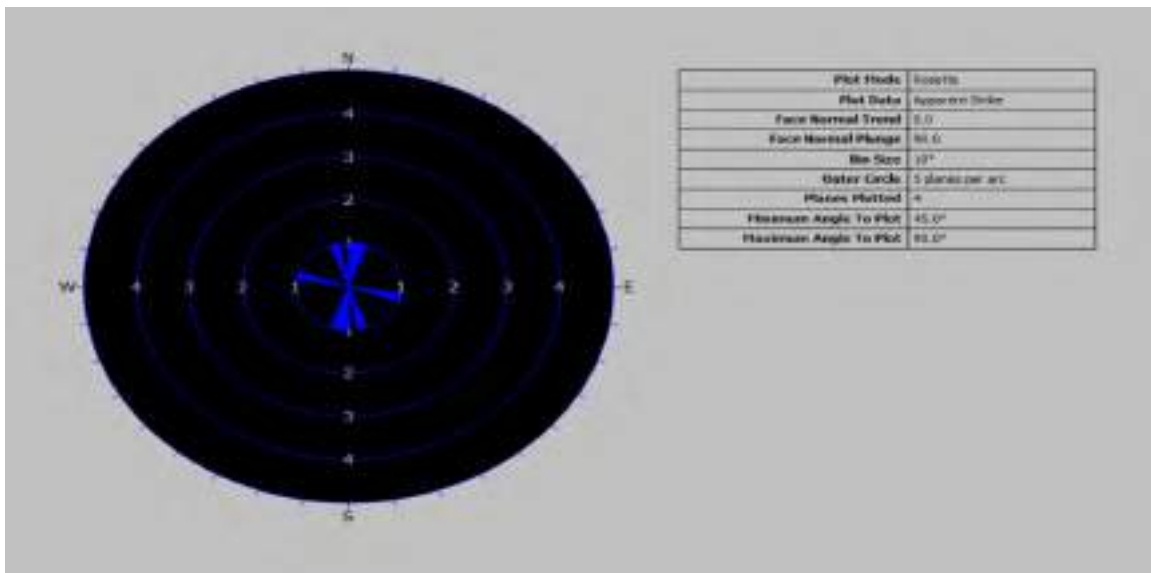
Diagrama de contornos de fracturas medidas



Fuente: elaboración propia

Figura 37

Roseta de fracturas del afloramiento de pizarra



Fuente: elaboración propia

4.2.3. Análisis estructural de las areniscas de Grupo Copacabana

Aflora al SSE del centro poblado de Huancacalle, presenta diferentes fracturas y Az 6°N y Bz 30 W de estratos.

Figura 38

Afloramiento de arenisca cuarzosa al SSW de centro poblado de Huancacalle



Fuente: elaboración propia

Tabla 24

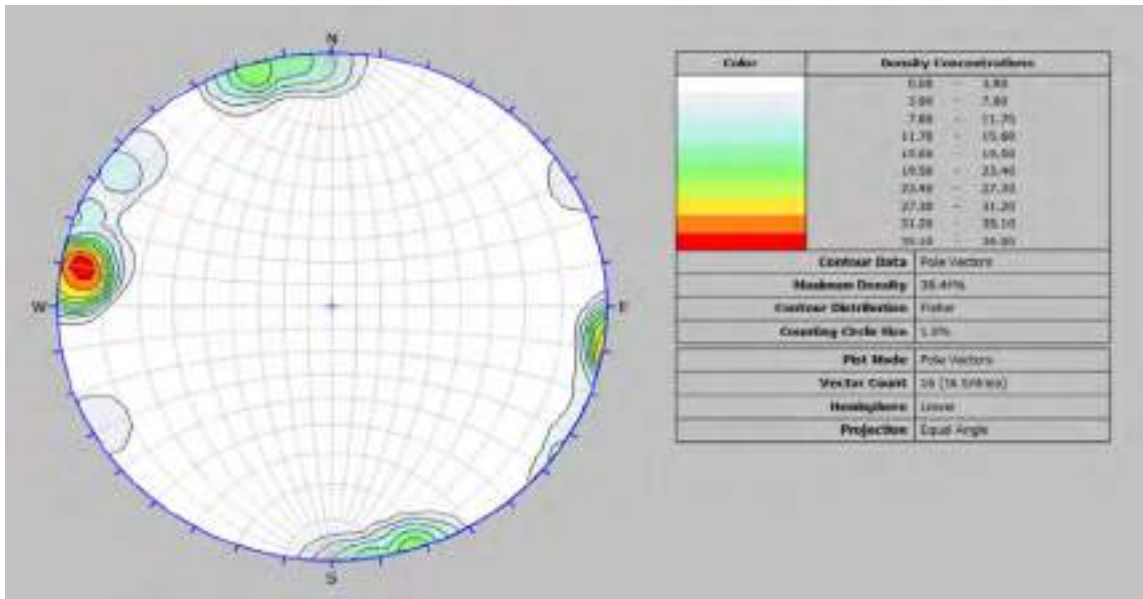
Datos del afloramiento de la formación San José, Estación 02

	ESTE	NORTE	BUZAMIENTO	AZIMUT
ESTACION N° 02	722310	8548058	86	97
	722310	8548058	85	129
	722310	8548058	87	120
	722310	8548058	80	102
	722310	8548058	87	107
	722310	8548058	85	98
	722310	8548058	86	98
	722310	8548058	87	97
	722310	8548058	87	94
	722310	8548058	90	165
	722310	8548058	87	176
	722310	8548058	88	61
	722310	8548058	90	159
	722310	8548058	88	180
	722310	8548058	89	168
722310	8548058	86	159	

Fuente: elaboración propia

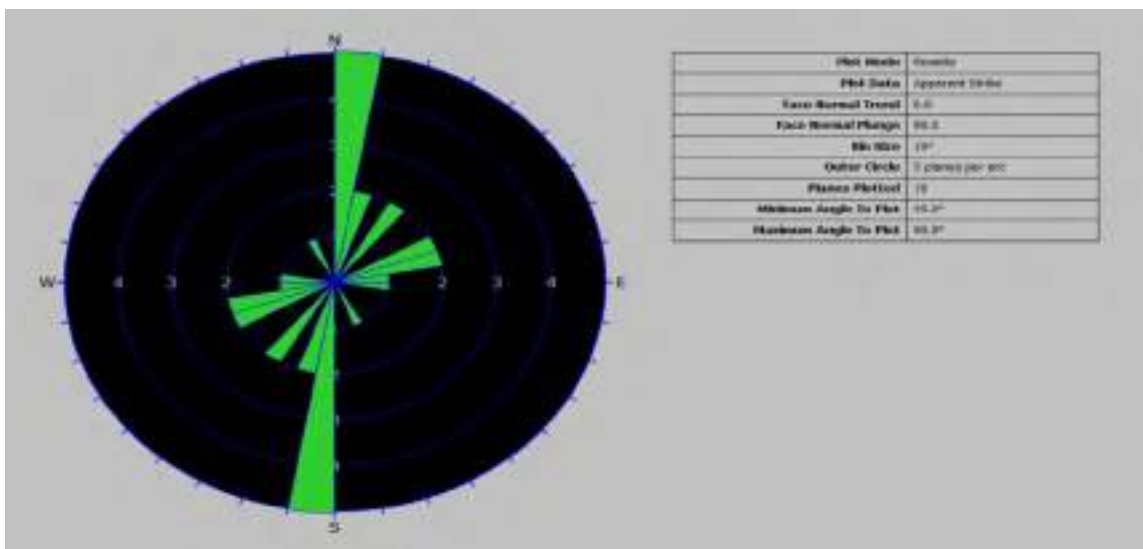
Esta estacion presenta una direccion de una familia representativa de N-S y 3 familias de segundo orden de las cuales 2 presentan una direccion de NE-SW y uno con direccion que NW-SE.

Figura 39
Diagrama de contornos



Fuente: elaboración propia

Figura 40
Roseta de fracturas de las areniscas de Copacabana



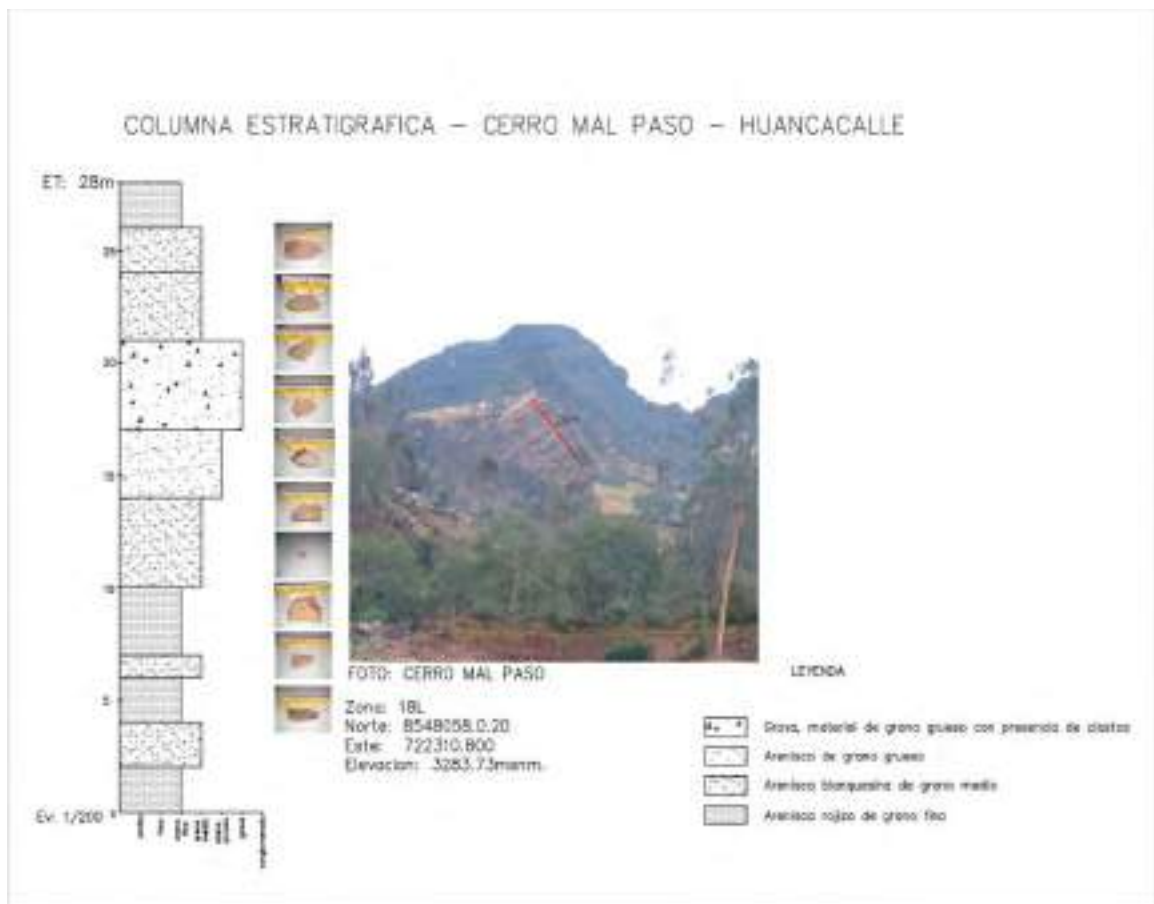
Fuente: elaboración propia

4.2.4. Columna estratigráfica

Consecuentemente se realizó una columna estratigráfica en el cerro Malpaso, en el sector de Huancacalle, el cual se muestra en la siguiente figura, donde se muestran las coordenadas, así como la descripción misma de la columna estratigráfica.

Figura 41

Columna estratigráfica del grupo Ollantaytambo



Fuente: Elaboración propia.

“ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION – CUSCO”

Figura: 42 Mapa Estructural

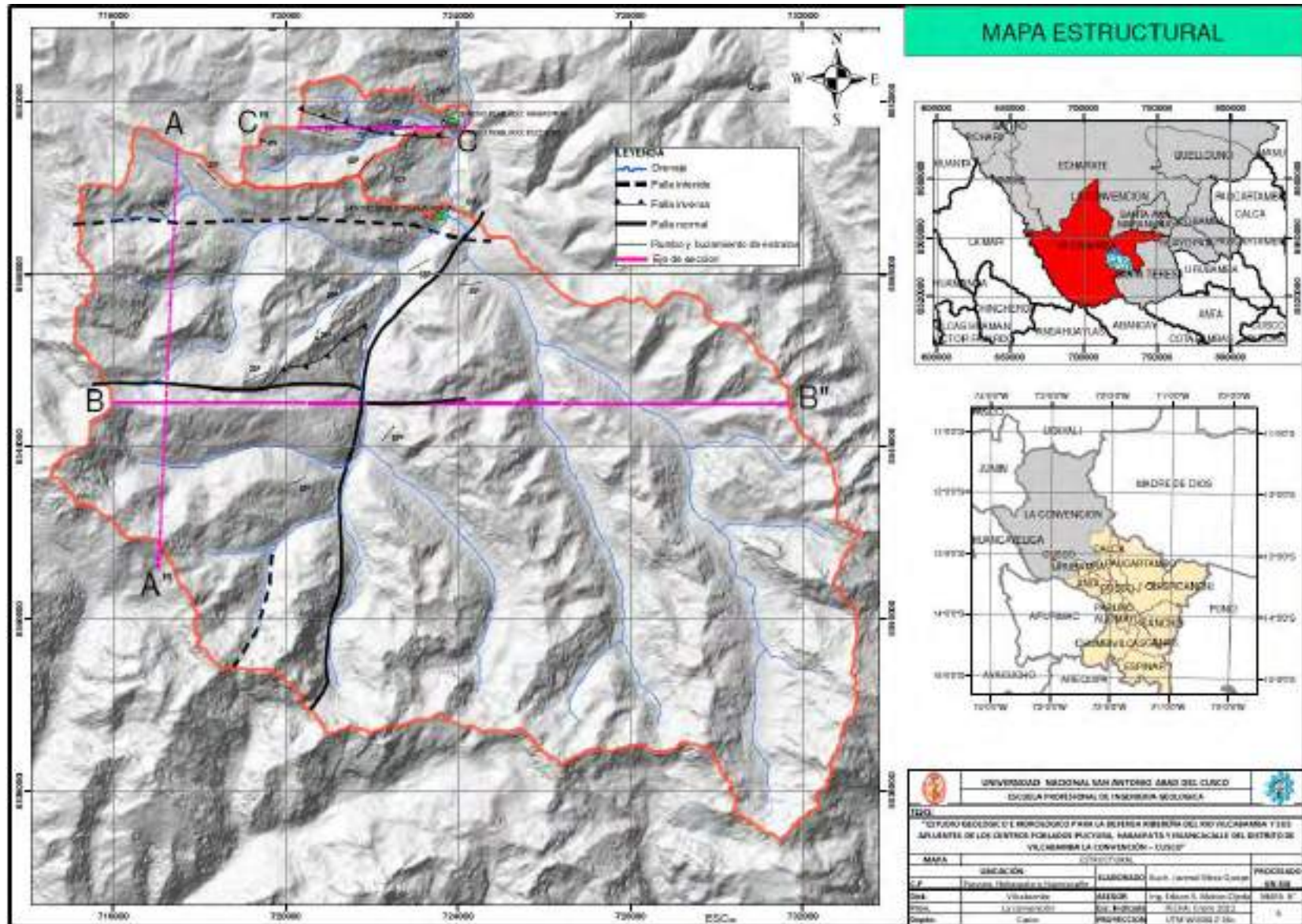
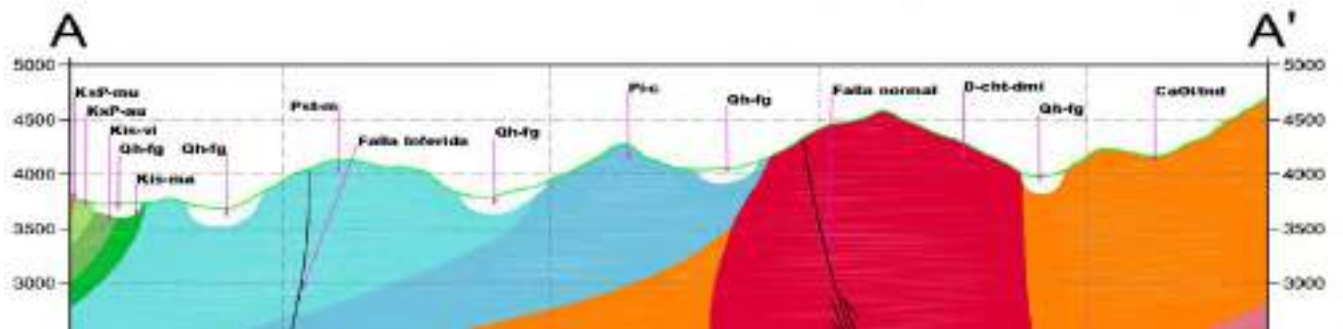
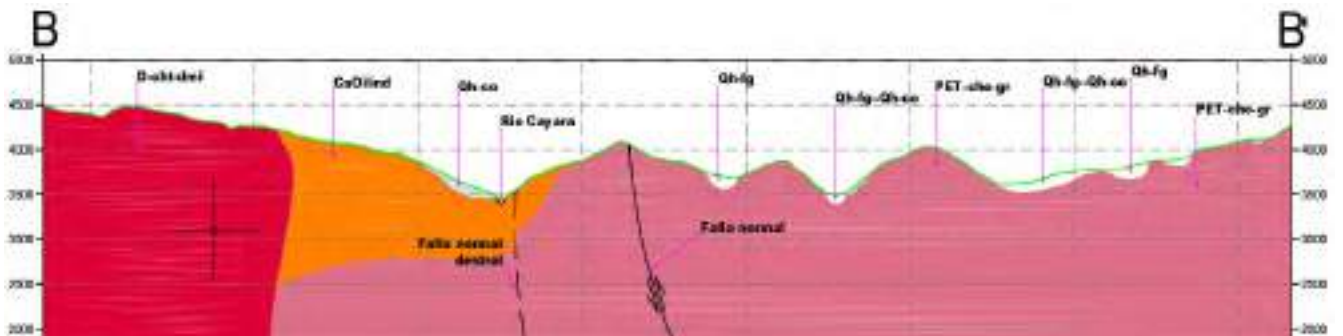


Figura: 43
Corte geológico de la sección A-A' la cual se muestra en el plano estructural



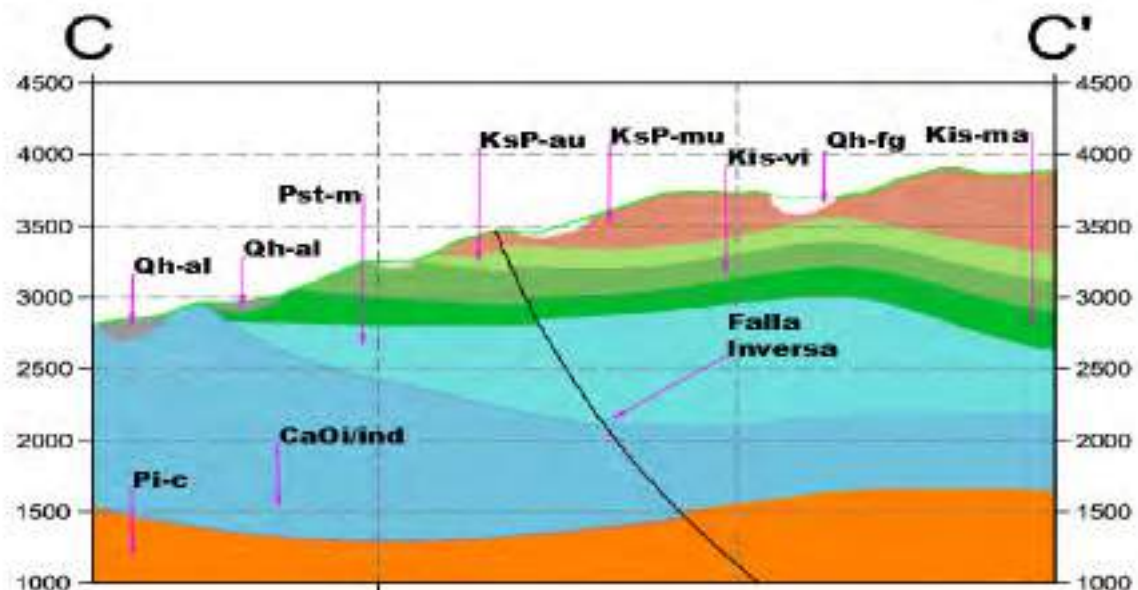
Fuente: Elaboración propia

Figura 44
Corte geológico de la sección B-B' la cual se muestra en el plano estructural



Fuente: Elaboración propia

Figura 45
Corte geológico de la sección C-C' la cual se muestra en el plano estructural



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V CARACTERÍSTICAS GEODINÁMICAS

5.1. Geodinámica externa de la Cuenca Vilcabamba

5.1.1. Deslizamientos

Se identificó un deslizamiento de tipo traslacional en la zona de estudio, el cual está ubicado en las siguientes coordenadas: 722159.29E, 8548328.86N, Zona 18I, el cual se encuentra hacia el norte del poblado de Korkurchaca, en la margen izquierda del río Cayara, afluente del río Vilcabamba. Con relación al poblado de Huancacalle, este se encuentra hacia el S-W, así mismo, este deslizamiento en reiteradas oportunidades ha obstruido la carretera afirmada Huancacalle – Vilcabamba, presenta 4.25 has. de superficie deslizada de limos y areniscas.

Figura 46

Deslizamiento al frente del poblado de Kornetera, margen izquierdo del río Cara.



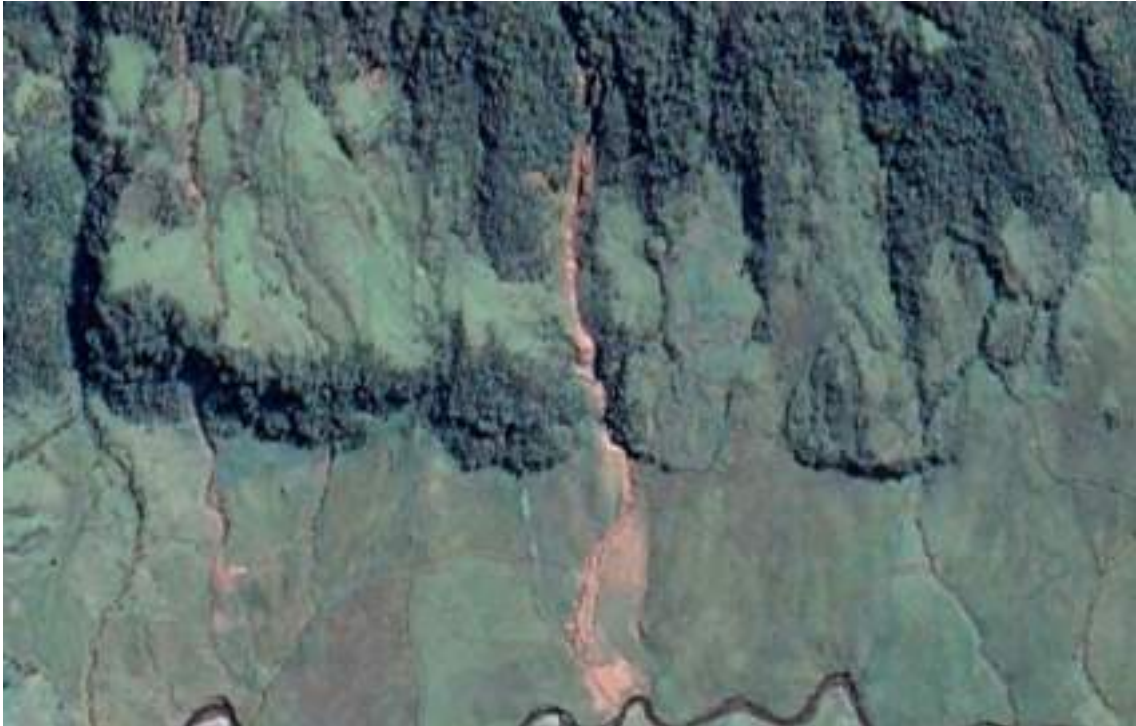
Fuente: Fotografía tomada por el autor

5.1.2. Flujo de detritos

Estos fenómenos están ubicados en diferentes partes de la cuenca de Vilcabamba, la cual está compuesta de una mezcla de sedimentos y rocas desprendidas, las cuales son arrastradas por el agua en dirección al cauce de un río, en la cuenca de Vilcabamba representa 21.38 has. del área total.

Figura 47

Flujos de detritos



Fuente: Google earth

5.1.3. Erosión

5.1.3.1. Erosión de cárcavas

Este fenómeno de desgaste de la superficie terrestre es formado por la escorrentía superficial que ocasiona erosión de la superficie, dejando como resultados surcos o zanjas que se presentan en diferentes partes de la zona de estudio, representando 676.73 has del área total.

5.1.3.2. Erosión de riberas

La crecida de los ríos (avenidas máximas) que constituyen un proceso natural ligado a las lluvias periódicas estacionales y las precipitaciones excepcionales por las intensidades propias del clima del área de estudio genera el transporte del material y consecuentemente ocasiona erosión de las riberas en el margen izquierdo y derecho debido al arrastre profundo y lateral que ocasiona la energía del agua.

Se evaluó los sectores que se encuentran en evidente estado de erosión de la ribera, debido a las corrientes del río Vilcabamba, los cuales se muestran en las siguientes figuras.

Figura 48

Erosión de ribera en la margen derecha del río Vilcabamba, sector de Huancacalle.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Figura 49

Erosión de ribera en la margen izquierda del río Vilcabamba, sector de Huancacalle.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Figura 50

Erosión de ribera, en la confluencia del río Cayara y río Cayco. Margen derecha, al norte del sector Tintoc.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

5.1.4. Socavación

Este fenómeno de desgaste está ubicado al NW del centro poblado de Pucyura - Habaspata, representa 9.73 has. del área total de estudio.

En estos terrenos granulares se presenta socavación constante en diferentes partes del río Vilcabamba en ambos márgenes, especialmente en las curvas, para su cálculo se utiliza la fórmula de líschtván-levediev. la socavación presenta una dirección del S-N.

Figura 49

Socavación de la margen izquierda del río Vilcabamba.



Fuente: Unidad formuladora de la Municipalidad Distrital de Vilcabamba

5.1.5. Desborde

Este fenómeno sucede cuando el canal natural del río no es suficiente para almacenar el caudal de avenidas extraordinarias ocasionadas por las precipitaciones máximas. Estos desbordes ocasionan inundaciones de los terrenos aledaños.

Figura 50

Río Vilcabamba, sur del poblado de Huancacalle.



Fuente: Unidad formuladora de la municipalidad distrital de Vilcabamba.

5.2. Geodinámica externa de la Intercuenca Huaychaamarca

5.2.1. Flujo de detritos

Se presenta al NWW a 3.45 km del centro poblado de Pucyura-Huancacalle, representa 0.53 has del área de estudio.

5.2.2. Erosión

5.2.2.1. Erosión de cárcavas

Se presenta al NWW del centro poblado de Pucyura-Huancacalle, representa 9.73 has del área de estudio.

5.2.2.2. Erosión de riberas

El afluente Huaychaamarca, correspondiente a la intercuenca que recibe el mismo nombre, que divide a los poblados de Habaspata (margen izquierda) y Pucyura (margen derecha), presenta

problemas de erosión severa de riberas por la alta pendiente que presenta, el mismo cauce se observa en las siguientes fotografías.

Figura 51

Erosión de ribera aguas arriba del cauce Huaychaamarca, al oeste del poblado de Pucyura.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

Figura 52

Barreras de roca improvisadas en la margen derecha del afluente Huaychaamarca, al oeste del poblado de Pucyura.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

las altas avenidas en épocas de precipitaciones han generado graves erosiones de laderas en la margen derecha del cauce, llegando incluso a desaparecer estas, viéndose en una

obligación de los pobladores construir barreras a base de rocas para impedir los desbordes del cauce y así evitar inundaciones que afecten sus cultivos, así como sus viviendas.

Figura 53

Barreras de roca improvisadas en la margen derecha del afluente Huaychaamarca, al oeste del poblado de Pucyura.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

5.2.3. Socavación

En el río Huaychaamarca se presenta socavación en ambas márgenes del río, esta socavación muestra incluso las raíces de los árboles de las riberas indicándonos una severa socavación por la fuerte velocidad del río en épocas de crecidas, generando así el arrastre de sólidos y bloques de rocas.

Figura 54

Socavación de causes naturales, en la margen derecha del afluente Huaychaamarca, al oeste del poblado de Pucyura.



Fuente: fotografías tomadas por el autor

Figura 55

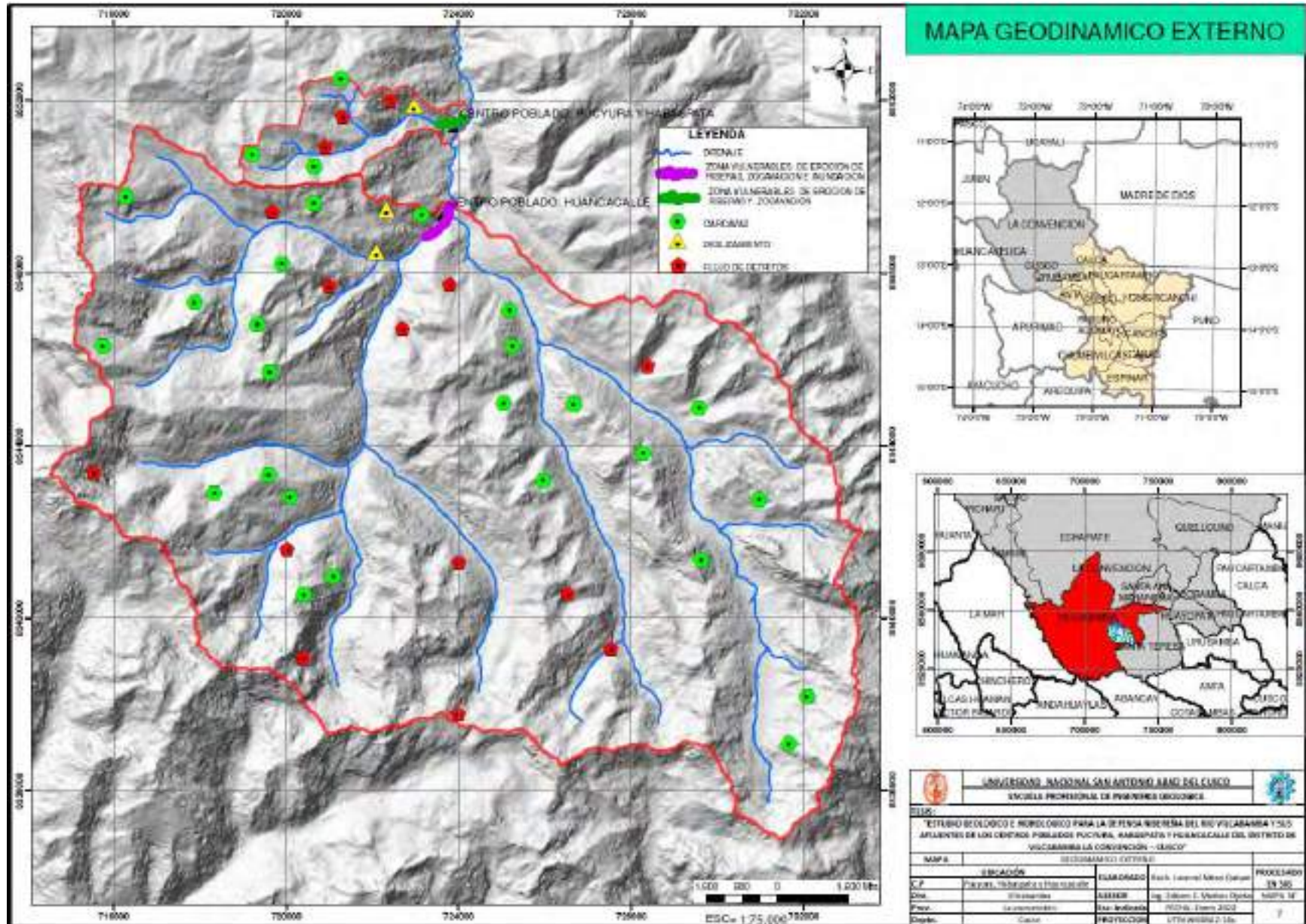
Río Huaychaumarca, oeste del poblado de Pucyura y Habaspata.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

“ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RÍO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION – CUSCO”

Figura 56: Mapa de Geodinámica externa



CAPÍTULO VI CARACTERIZACION HIDROIÓGICA

Este capítulo trata temas que parten del análisis de la información hidrológica y meteorológica disponible en la zona de estudio. Se utilizó información hidrológica y meteorológica proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

6.1. Análisis, interpretación y evaluación de los datos meteorológicos

A causa de que no se cuenta con información meteorológica propia del área de estudio, fue necesario contar con una red de estaciones que estén cerca al área de estudio que presenten un comportamiento climático similar al área de estudio, de la misma manera que compara las características geográficas similares, así como una buena correlación de la precipitación con respecto a la altitud. Cabe señalar que los registros obtenidos no presentan datos continuos, lo cual dificultó una utilización directa de éstos.

6.1.1. Información meteorológica

la selección de las estaciones se realizó en base a la longitud de la serie de datos, la representatividad de la información de la estación y la coherencia del medio. Así mismo, no se limitó a utilizar información de estaciones en funcionamiento. la información meteorológica fue obtenida de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI).

En la tabla siguiente se tienen las 05 estaciones utilizadas para el área de estudio, donde se muestra su correspondiente ubicación, altitud y longitud de serie de datos.

Tabla 25

Estaciones meteorológicas seleccionadas para el área de estudio.

Nombre	Tipo	Ubicación			latitud (°.)	longitud (°.)	Altitud (Msnm)
		Región	Provincia	Distrito			
QUIIABAMBA	CP-606	CUSCO	IA CONVENCION	SANTA ANA	12°51'21"	72°41'30"	1,001
QUEBRADA	CO-654	CUSCO	CAICA	YANATIIE	12°41'1"	72°17'1"	1,200
HUYRO	CO-678	CUSCO	IA CONVENCION	HUAYOPATA	13°4'1"	72°27'1"	1,700
MACHUPICCHU	CO-679	CUSCO	URUBAMBA	AGUAS CAIIENTES	13°10'	72°32'44"	2,563
VIICABAMBA	CO-812	CUSCO	IA CONVENCION	VIICABAMBA	13°07'01"	73°01'01"	4,000

Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis de precipitaciones

Las estimaciones de las precipitaciones en el área de estudio se evaluaron de acuerdo a los registros de precipitaciones totales mensuales históricos, las cuales fueron sometidas a pruebas de consistencia y ajuste de información, seguidamente se completó la información faltante, para luego realizar la regionalización y extrapolación de los datos de precipitación para el área de estudio.

6.2.1. Completado y extensión de datos

Debido a la carencia y/o falta de registros en algunos meses y años en las estaciones, se realizó un análisis gráfico, análisis estadístico y un proceso de completado y extensión de los registros pluviométricos, concluyendo con pruebas de bondad de ajuste por el método de Smirnov - Kolmogorov.

Este procedimiento consistió en la selección del modelo matemático de correlación, el cual fue de regresión lineal simple, para lo cual se realizó la estimación de los parámetros de la ecuación de regresión, mediante la cual se pasó a completar los datos faltantes de cada estación a utilizar.

6.3. Regionalización de parámetros climáticos

6.3.1. Regionalización de la precipitación

Haciendo uso del método determinístico entre dos variables, que en este caso son precipitación temperatura, nos permitirá predecir la precipitación en función de la altitud con un cierto grado de aproximación. Este análisis de precipitación en relación con la altitud nos generara las precipitaciones en zonas y/o puntos de interés a una determinada altitud.

Tabla 26

Estaciones seleccionadas para realizar la regionalización de precipitación.

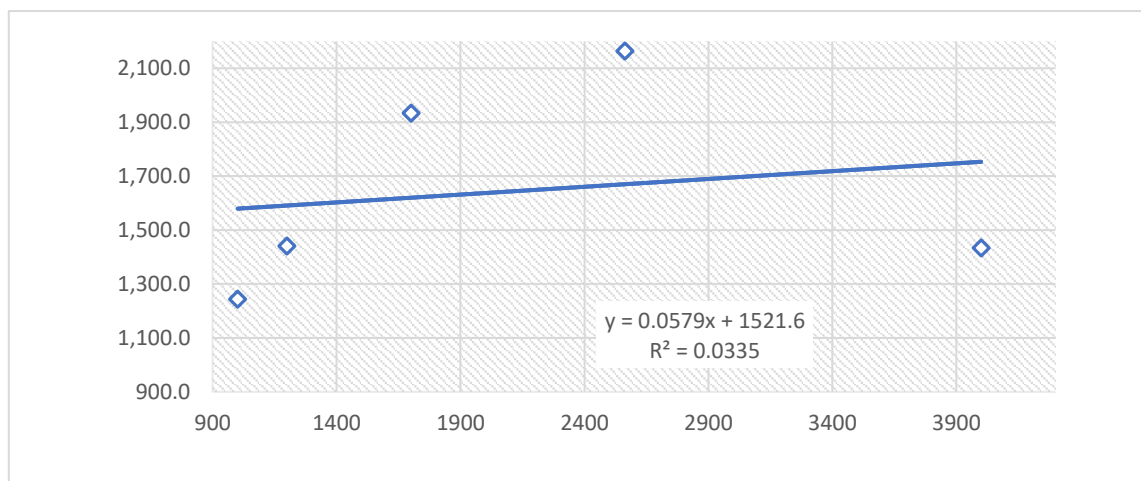
Nombre de la estación	Altitud media	Precipitación media anual
	msnm	Mm
Quillabamba	1001	1,243.0
Quebrada	1200	1,440.7
Huyro	1700	1,933.6
Machupicchu	2563	2,163.6
Vilcabamba	4000	1,433.1
Suma	10,464	8,214.0
Promedio	2,092.80	1,642.8

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran las estaciones utilizadas en el análisis regional, de los cuales se generó las ecuaciones de regresión precipitación – altitud, obteniéndose así las constantes y el coeficiente de correlación (r) obtenido del procesamiento de las 5 estaciones, las cuales se muestran en las siguientes figuras.

Figura 57

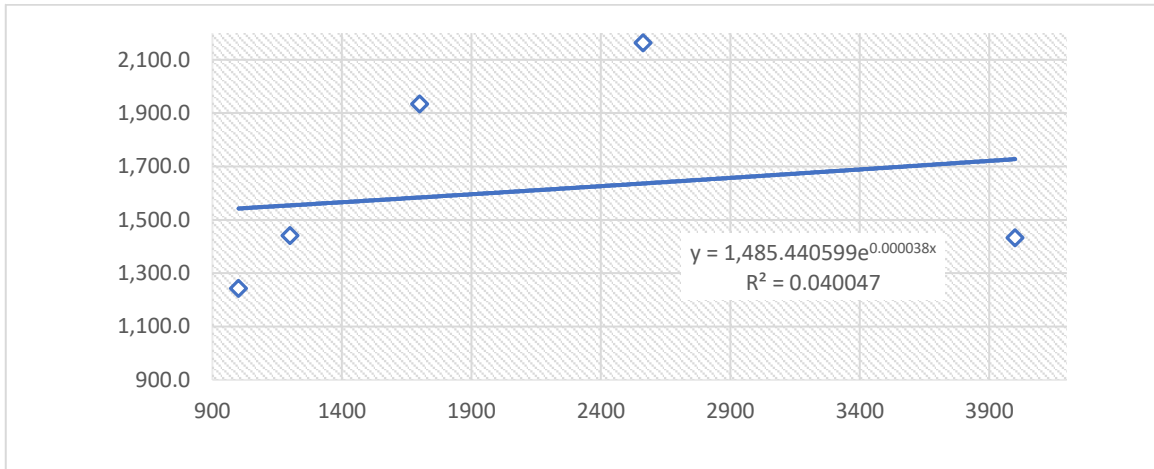
Ecuación de regresión lineal simple.



Fuente: elaboración propia.

Figura 58

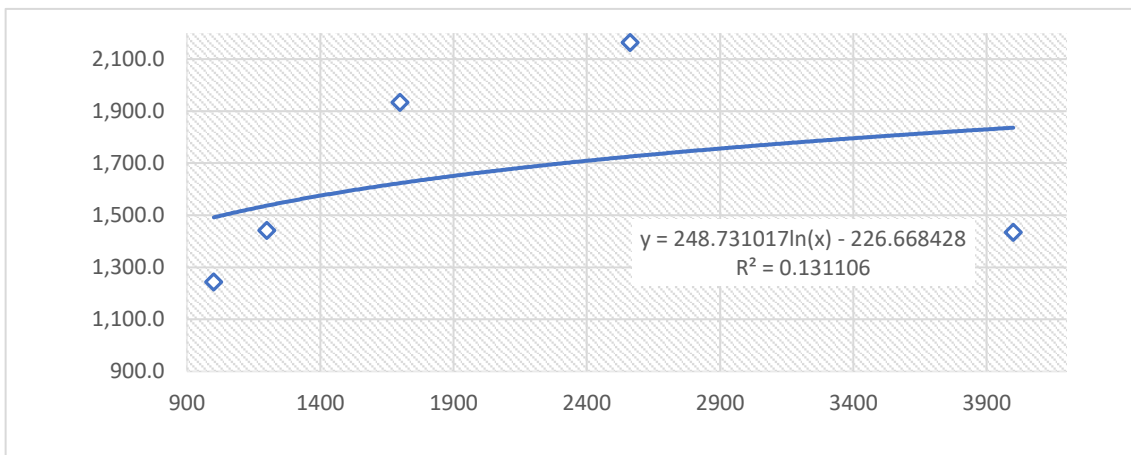
Ecuación de regresión exponencial.



Fuente: elaboración propia.

Figura 59

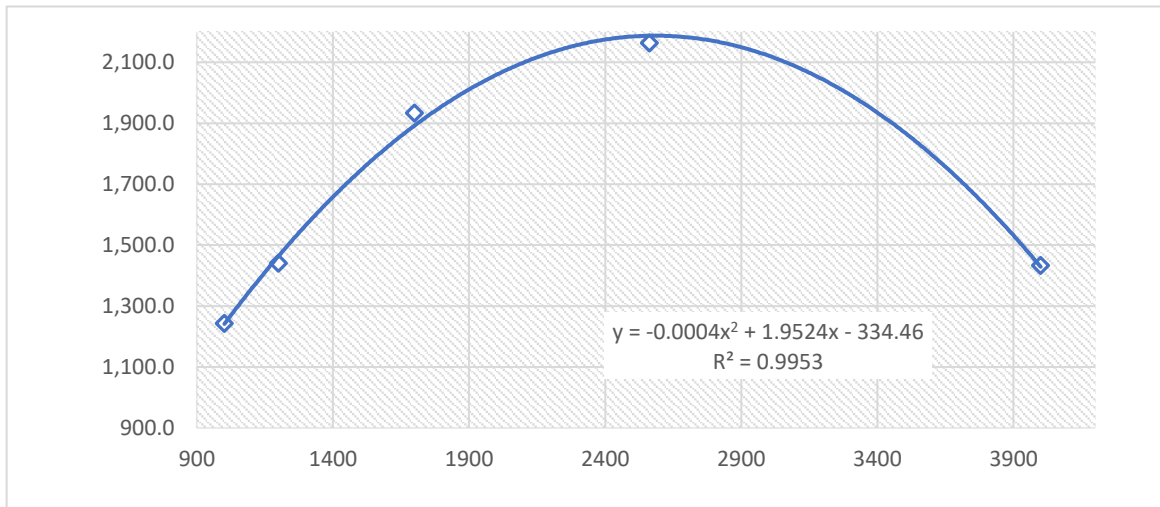
Ecuación de regresión logarítmica



Fuente: elaboración propia

Figura 60

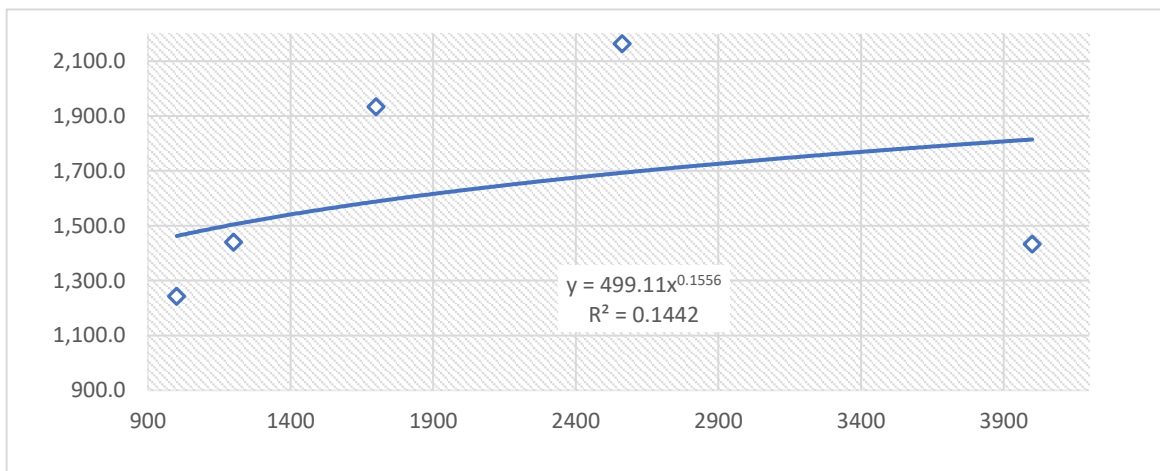
Ecuación de regresión polinómica



Fuente: elaboración propia

Figura 61

Ecuación de regresión potencial



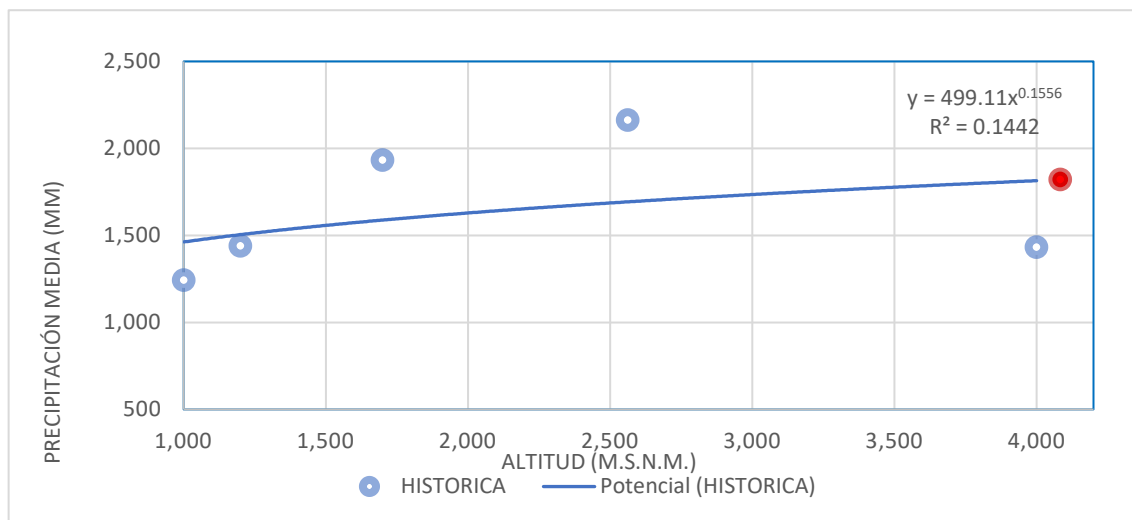
Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Regionalización de la precipitación para la cuenca Vilcabamba

Del análisis de las distintas ecuaciones de regresión lineal, la ecuación que presenta un mejor ajuste para la cuenca Vilcabamba es la regresión potencial que aparece en la figura siguiente.

Figura 62

Ecuación de regresión potencial.



Fuente: elaboración propia

De la figura anterior se tiene la ecuación de regresión potencial, ecuación de regionalización. $y = 499.11(x)^{0.1556}$

Una vez tomado en cuenta el factor de proporcionalidad de precipitación, factor de transporte de precipitación, así como la influencia que presentan la altitud y distancia de las estaciones al punto de interés, se obtuvo factores de influencia total como se muestra en la siguiente tabla, valor con el que se determinó las precipitaciones regionalizadas para el punto de interés. Considerándose como altitud media de la cuenca 4084 m.s.n.m., obteniéndose la precipitación regionalizada para la cuenca Vilcabamba y el cual se muestra en la tabla siguiente, de la misma manera en la figura que prosigue se observa el comportamiento de la precipitación media mensual de la cuenca Vilcabamba.

Tabla 27

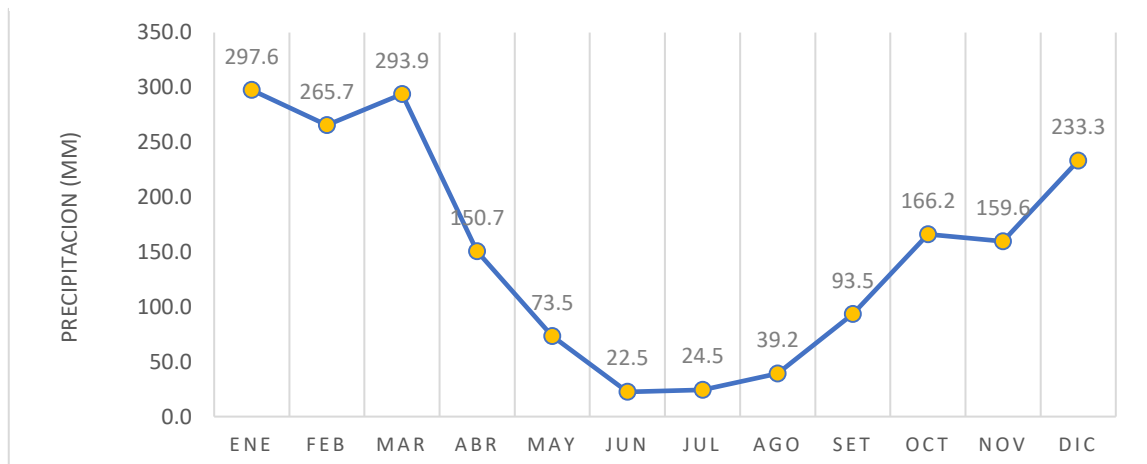
Cálculo de factor de influencia total

ESTACION	ALTITUD	PRECIPITACION HISTORICA (mm/año)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES - ESTACIONES h_i (m)	FACTOR DE PROPORCIONALIDAD DE PRECIPITACION Ecuacion 5	FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACION POR ALTITUD $F_p = \frac{P_{correg. Cuenca.}}{P_{correg. Estac.}}$	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A PUNTO INTEREZ				FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL $F_t = F_p \cdot F_{dh}$
						Proporcion Inversa Distancia		Proporcion Inversa diferencia de alturas		
						$f_{d1} = \sum (d_i)/d_i$	$F_d = (f_{d1}/\sum f_{d1})$	$f_{a1} = \sum (h_i)/h_i$	$F_h = (f_{a1}/\sum f_{a1})$	
QUILLABAMBA	1,001.00	1,243.02	3,083.00	a = 499.10902 b = 0.1556225 r2 = 0.1442104	1.464	55.12	0.2574	3.2293	0.0238	0.206
QUEBRADA	1,200.00	1,440.73	2,884.00		1.264	114.49	0.5346	3.4521	0.0254	0.354
HUYRO	1,700.00	1,933.58	2,384.00		0.941	7.85	0.0367	4.1762	0.0307	0.032
MACHUPICCHU	2,563.00	2,163.60	1,521.00		0.841	35.47	0.1656	6.5457	0.0482	0.090
VILCABAMBA	4,000.00	1,433.08	84.00		1.270	1.22	0.0057	118.5238	0.8720	0.557
		9,956.00				214.16	1.00	135.93	1.0000	1.239

Fuente: elaboración propia

Figura 63

Comportamiento de la precipitación media mensual de la cuenca Vilcabamba.



Fuente: elaboración propia.

De la figura anterior, se concluye que la máxima precipitación mensual se da en el mes de enero con un valor de 297.6 mm/mes, mientras que por el contrario en el mes de junio se tiene la precipitación mínima siendo ésta de 22.5 mm/mes. Consecuentemente, se tiene que la precipitación anual regionalizada para el área de estudio es de 1820.38 mm/año.

Tabla 28

Precipitación media mensual regionalizada para la cuenca de Vilcabamba

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL - SUBCUENCA VILCABAMBA (mm)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,974	239.7	286.0	261.6	181.6	56.9	52.4	63.5	60.6	87.0	137.5	142.3	122.5	1691.6
2	1,975	239.2	293.4	281.0	146.1	102.3	22.5	16.3	26.3	160.4	202.3	157.7	275.6	1923.2
3	1,976	261.0	253.7	196.8	126.2	59.1	7.0	12.8	53.2	114.9	159.3	139.3	213.8	1596.9
4	1,977	182.7	255.9	298.0	95.2	65.1	13.6	35.3	50.8	94.2	138.2	145.7	217.2	1592.0
5	1,978	382.5	179.5	234.7	109.5	126.7	8.6	15.6	36.1	59.2	120.0	128.3	241.7	1642.2
6	1,979	181.7	206.9	194.4	128.8	61.4	17.3	21.5	26.4	71.9	91.1	152.7	170.9	1325.2
7	1,980	207.0	253.5	257.0	195.5	51.1	19.9	25.9	26.1	91.7	182.2	117.0	157.7	1584.6
8	1,981	264.2	257.2	241.5	140.5	59.2	26.1	19.1	34.8	99.4	174.5	160.5	221.1	1698.0
9	1,982	313.3	257.9	321.2	152.8	64.3	28.7	22.7	48.0	82.6	142.0	190.6	217.5	1841.7
10	1,983	280.0	262.7	242.2	150.2	70.6	25.0	22.6	43.9	94.6	153.8	155.3	245.4	1746.3
11	1,984	321.4	267.9	240.2	171.2	62.4	18.8	23.0	45.6	83.0	179.3	133.2	195.3	1741.2
12	1,985	275.4	266.5	253.1	142.2	79.0	35.1	21.0	38.2	100.4	161.6	166.5	241.2	1780.2
13	1,986	239.1	264.4	305.5	160.2	70.7	15.3	21.7	44.3	118.1	126.3	160.7	288.5	1814.9
14	1,987	557.2	265.3	267.2	169.2	68.9	27.1	19.4	34.7	94.5	156.5	352.2	391.8	2404.0
15	1,988	528.8	377.7	608.3	265.8	175.3	11.7	12.4	33.5	108.2	176.2	150.4	384.4	2832.7
16	1,989	289.3	252.9	411.7	146.8	79.7	10.3	31.3	32.6	85.0	127.8	130.5	221.2	1819.1
17	1,990	525.6	274.6	292.8	135.3	170.2	99.5	24.4	37.6	116.3	257.7	185.6	223.5	2343.0
18	1,991	396.2	257.4	431.4	177.0	72.2	23.5	20.7	40.7	93.7	183.9	173.0	221.4	2091.1
19	1,992	187.8	233.7	292.2	153.1	67.4	49.5	21.3	39.6	93.8	165.5	186.8	203.9	1694.6
20	1,993	331.5	267.5	254.8	136.9	67.9	17.2	22.3	37.4	94.8	157.2	166.3	265.5	1819.3
21	1,994	306.9	263.7	361.5	155.9	74.2	15.4	20.5	40.1	92.4	178.9	147.6	237.2	1894.3
22	1,995	272.5	263.3	279.8	139.3	67.1	20.1	22.2	36.7	91.8	160.8	166.0	226.9	1746.8
23	1,996	232.1	272.5	234.2	145.3	67.5	14.3	18.0	37.7	87.4	146.7	169.8	189.0	1614.4
24	1,997	304.3	291.0	251.6	153.1	73.0	23.8	15.1	32.2	107.9	177.6	300.2	296.3	2026.2
25	1,998	261.2	291.9	428.9	183.0	43.2	12.8	12.7	35.0	134.5	180.6	145.4	286.4	2015.6
26	1,999	365.6	392.8	388.9	207.8	101.8	13.8	21.2	44.6	97.6	140.8	118.6	205.0	2098.4
27	2,000	405.8	286.4	281.8	140.0	62.8	58.0	16.0	48.8	117.6	199.5	158.6	182.4	1957.9
28	2,001	369.6	281.8	365.9	137.6	75.0	22.1	26.7	37.7	85.8	176.3	157.3	187.2	1922.9
29	2,002	192.0	263.2	302.7	143.0	62.9	29.5	40.5	41.7	90.4	169.9	169.2	269.4	1774.5
30	2,003	247.4	265.4	300.2	145.5	52.1	16.9	21.5	46.0	100.5	136.0	141.3	254.4	1727.2
31	2,004	266.7	245.3	262.7	141.7	75.3	18.7	40.6	37.6	90.4	178.5	147.8	179.4	1684.6
32	2,005	193.9	244.0	283.2	138.7	64.9	13.0	31.6	39.1	92.1	151.8	126.0	242.6	1621.2
33	2,006	263.9	238.7	282.5	154.7	39.0	27.8	19.4	39.1	76.1	160.5	146.9	221.0	1669.7
34	2,007	362.5	234.9	296.2	164.2	66.3	16.3	23.6	40.5	93.8	206.8	138.9	186.8	1830.7
35	2,008	332.2	241.3	271.6	134.2	47.1	11.9	20.1	37.5	94.3	195.9	134.4	194.8	1715.3
36	2,009	274.4	304.5	257.6	133.3	68.0	7.5	38.0	33.1	68.5	155.9	186.3	245.3	1772.3
37	2,010	217.1	272.5	360.5	118.7	37.2	30.2	22.6	36.7	75.9	190.4	109.6	205.9	1677.3
38	2,011	309.1	295.1	359.0	136.6	70.5	27.2	36.8	27.1	96.4	194.0	146.4	232.9	1931.1
39	2,012	294.8	268.0	229.3	139.7	67.0	18.5	45.5	35.9	87.8	201.7	142.9	334.6	1865.7
40	2,013	207.8	281.6	310.6	140.0	56.2	27.1	18.3	54.7	69.5	218.8	127.7	295.8	1808.2
41	2,014	455.4	232.3	250.8	145.7	132.5	9.3	43.2	49.5	83.9	130.1	166.3	211.3	1910.4
42	2,015	307.9	261.5	242.8	141.1	65.0	16.2	16.5	39.8	74.8	118.8	124.3	208.1	1616.9
43	2,016	261.1	280.6	165.4	144.5	49.6	23.3	21.1	39.0	86.7	185.6	163.8	235.6	1656.3
44	2,017	208.0	216.7	348.2	166.8	110.9	15.1	27.0	29.9	83.2	166.6	152.1	212.8	1737.4
45	2,018	301.2	204.9	240.5	139.1	51.0	4.1	9.3	30.8	86.9	157.0	172.6	197.9	1595.5
46	2,019	273.6	295.7	278.1	158.4	71.1	13.8	24.9	42.5	92.4	173.7	187.2	274.0	1885.3
Media		297.6	265.7	293.9	150.7	73.5	22.5	24.5	39.2	93.5	166.2	159.6	233.3	1,820.38
Prec. Max.		557.2	392.8	608.3	265.8	175.3	99.5	63.5	60.6	160.4	257.7	352.2	391.8	608.3
Prec. Min.		181.7	179.5	165.4	95.2	37.2	4.1	9.3	26.1	59.2	91.1	109.6	122.5	4.1

Fuente: Elaboración propia, Se trabajo datos de SENAMHI (Resultado de la sumatoria de producto de factor de influencia total de la estación N por precipitación media mensual de la misma estación)

De la misma manera, se calculó las precipitaciones para cada curva de nivel en intervalos de 100 metros, datos que se observan en la tabla siguiente.

Tabla 29

Precipitación regionalizada para diferentes altitudes.

Altitud m.s.n.m.	Precipitación mm/año
2800.0	1716.5
2900.0	1725.9
3000.0	1735.1
3100.0	1743.9
3200.0	1752.6
3300.0	1761.0
3400.0	1769.2
3500.0	1777.2
3600.0	1785.0
3700.0	1792.6
3800.0	1800.1
3900.0	1807.4
4000.0	1814.5
4100.0	1821.5
4200.0	1828.3
4300.0	1835.0
4400.0	1841.6
4500.0	1848.1
4600.0	1854.4
4700.0	1860.6
4800.0	1866.7
4900.0	1872.7
5000.0	1878.6
5100.0	1884.4
5200.0	1890.1
5300.0	1895.7
5400.0	1901.3

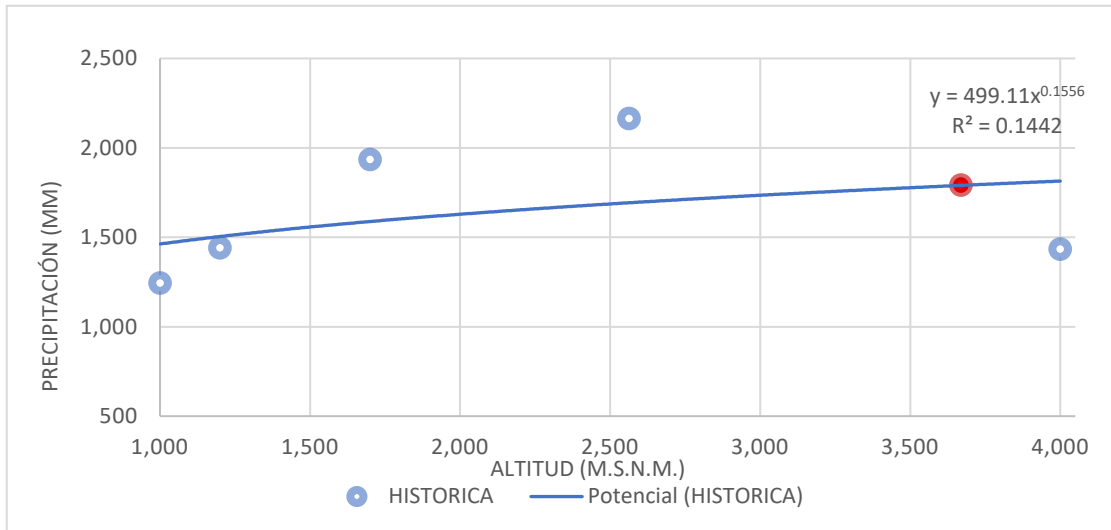
Fuente: elaboración propia.

6.3.3. Regionalización de la precipitación para la intercuenca Huaychaumarca

Del análisis de las distintas ecuaciones de regresión lineal, la ecuación que presenta un mejor ajuste para la cuenca Vilcabamba es la regresión potencial, ver figura siguiente.

Figura 64

Ecuación de regresión potencial



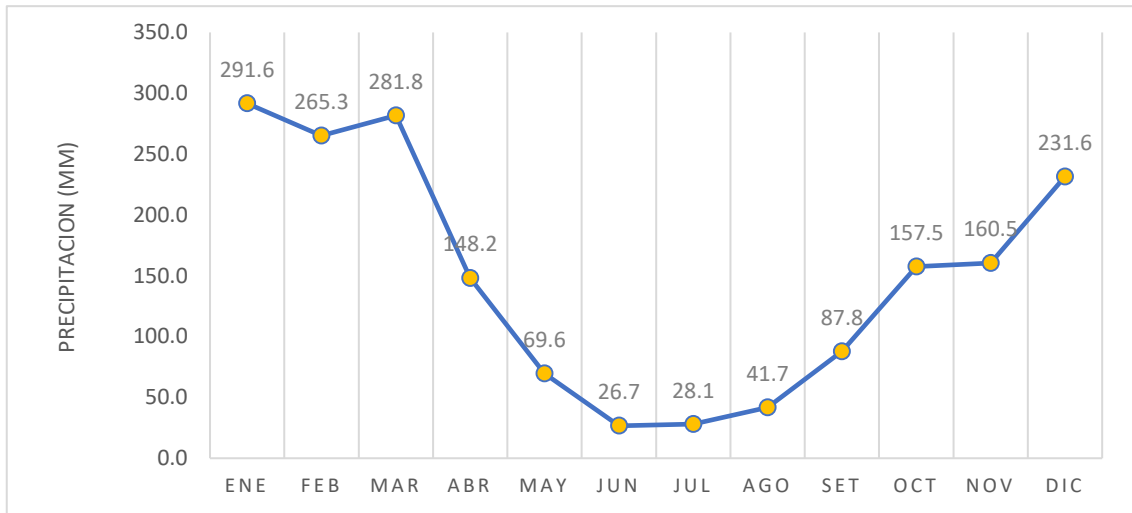
Fuente: elaboración propia.

De la figura 66 se tiene la ecuación de regresión potencial, ecuación de regionalización: $y = 499.11(x)^{0.1556}$

Una vez tomado en cuenta el factor de proporcionalidad de precipitación, factor de transporte de precipitación, así como la influencia que presentan la altitud y distancia de las estaciones al punto de interés, se obtuvo factores de influencia total, valor con el que se determinó las precipitaciones regionalizadas para el punto de interés. Considerándose como altitud media de la cuenca 3670 m.s.n.m., obteniéndose la precipitación regionalizada para la intercuenca Huaychaumarca y el cual se muestra en la tabla siguiente. Las cotas de esta intercuenca varían desde los 2800 hasta los 3900 y las precipitaciones para diferentes alturas se observan en la tabla subsiguiente.

Figura 65

Comportamiento de la precipitación media mensual, intercuenca Huaychaumarca.



Fuente: elaboración propia.

De la figura anterior, se concluye que la máxima precipitación mensual se da en el mes de enero con un valor de 291.6 mm/mes, mientras que por el contrario en el mes de junio se tiene la precipitación mínima siendo esta de 26.7 mm/mes. Consecuentemente se tiene que la precipitación anual regionalizada para el área de estudio es de 1790.35 mm/año.

Tabla 30

Precipitación media mensual regionalizada para la intercuenca Huaychaumarca.

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL - SUBCUENCA VILCABAMBA (mm)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,974	233.0	288.6	258.6	186.1	58.0	57.6	71.2	72.5	81.7	132.0	137.5	124.1	1700.9
2	1,975	250.5	297.0	281.5	143.6	101.7	28.4	18.9	24.6	162.2	200.6	159.8	279.0	1947.9
3	1,976	251.1	246.9	194.7	118.5	57.4	8.4	15.4	60.8	109.6	159.3	137.1	217.5	1576.8
4	1,977	189.1	255.6	295.2	89.0	59.3	15.6	39.4	48.4	90.0	135.7	146.7	217.7	1581.7
5	1,978	367.8	176.9	227.6	102.7	114.6	10.9	18.8	32.2	50.6	107.3	128.5	229.2	1567.2
6	1,979	192.6	204.0	187.3	126.2	63.7	21.6	25.1	21.4	64.3	85.0	154.6	171.5	1317.3
7	1,980	220.8	251.0	242.6	199.8	51.8	23.7	30.8	26.5	86.1	172.7	110.9	172.8	1589.7
8	1,981	265.1	262.3	233.3	136.1	56.9	30.9	22.1	37.3	93.2	161.0	161.6	217.9	1677.7
9	1,982	308.0	256.5	300.9	150.7	60.3	33.3	27.0	52.0	75.5	132.0	198.4	215.6	1810.4
10	1,983	279.4	263.8	237.1	150.6	67.9	29.4	26.5	45.1	89.4	146.7	154.5	246.0	1736.3
11	1,984	309.5	270.8	227.7	170.2	57.7	22.7	27.6	52.2	75.6	166.2	129.3	190.4	1700.0
12	1,985	270.3	267.0	240.8	139.0	74.4	41.5	24.5	38.6	95.3	150.4	166.6	237.5	1746.1
13	1,986	236.8	264.1	291.9	158.5	67.6	18.9	26.3	47.6	116.6	115.0	162.1	276.4	1781.8
14	1,987	501.7	268.9	259.4	165.3	66.5	31.4	23.3	30.1	89.0	144.9	386.6	367.3	2334.5
15	1,988	486.9	375.1	549.4	268.1	156.3	13.6	14.8	28.2	101.3	162.7	147.0	366.0	2669.3
16	1,989	281.4	250.1	382.2	143.1	72.4	11.7	36.0	40.8	78.6	117.1	126.7	216.5	1756.7
17	1,990	473.7	270.4	277.4	129.1	148.9	117.0	28.2	45.1	110.3	240.5	190.7	211.1	2242.3
18	1,991	365.6	252.6	393.6	177.8	66.3	27.0	23.6	41.1	88.2	177.1	175.8	223.4	2012.3
19	1,992	198.8	231.3	281.1	150.8	65.8	57.8	25.3	49.0	90.1	158.2	193.3	200.6	1702.2
20	1,993	323.6	270.5	242.6	132.7	65.9	20.4	26.1	39.9	92.0	146.9	171.3	262.6	1794.6
21	1,994	296.6	262.7	341.6	152.5	69.0	18.3	23.9	39.6	87.2	170.1	148.4	239.8	1849.9
22	1,995	269.4	262.5	265.9	137.4	64.5	24.3	27.0	36.4	84.4	154.0	166.5	224.2	1716.5
23	1,996	236.3	274.4	232.4	143.3	63.4	17.1	22.1	40.1	80.3	140.2	171.3	197.8	1618.5
24	1,997	299.5	289.1	246.7	149.7	70.5	27.6	18.8	37.9	103.2	168.1	312.0	311.5	2034.5
25	1,998	265.8	299.9	414.5	183.5	44.6	14.8	15.5	31.6	128.2	170.1	142.9	284.1	1995.5
26	1,999	351.8	394.5	364.1	206.0	99.5	15.6	25.1	41.1	96.5	131.5	114.9	203.9	2044.3
27	2,000	381.0	285.1	265.6	138.3	64.3	68.5	18.7	55.1	115.4	198.9	154.2	189.8	1934.7
28	2,001	345.5	280.1	353.0	136.4	71.1	27.6	31.7	40.0	80.4	163.7	160.3	192.0	1881.8
29	2,002	196.0	266.4	289.9	147.7	59.8	36.5	50.3	51.6	86.4	164.7	172.7	260.9	1782.9
30	2,003	250.0	267.9	285.5	140.4	52.6	20.8	26.2	56.3	97.1	127.3	137.2	251.1	1712.4
31	2,004	266.2	239.8	260.0	137.3	70.6	21.6	50.5	41.5	82.2	168.1	146.0	185.0	1668.8
32	2,005	205.6	244.3	264.9	131.7	62.7	15.2	36.3	39.3	89.2	147.1	123.6	236.2	1596.1
33	2,006	269.6	227.8	266.3	152.2	40.0	35.0	21.1	40.3	68.6	150.7	146.0	211.6	1629.2
34	2,007	339.8	233.2	290.5	160.1	65.3	17.8	26.6	38.9	88.2	191.7	135.8	194.1	1781.9
35	2,008	323.6	235.7	259.0	126.0	49.6	14.1	20.9	38.3	85.5	186.5	132.3	201.9	1673.5
36	2,009	277.3	306.4	253.5	131.6	65.9	8.9	42.2	28.7	60.1	141.9	188.6	241.2	1746.3
37	2,010	235.8	270.0	338.6	115.8	33.5	33.6	23.2	36.6	66.6	178.5	105.0	206.8	1644.0
38	2,011	314.9	295.0	340.4	133.8	66.1	32.5	41.3	34.3	90.9	179.0	147.2	221.5	1896.9
39	2,012	286.1	273.8	231.1	135.3	63.8	21.3	49.1	34.1	82.7	203.2	145.1	338.4	1864.0
40	2,013	219.6	285.0	297.1	128.8	59.6	33.0	19.4	65.0	59.6	205.7	125.6	296.1	1794.4
41	2,014	432.1	224.6	237.4	140.6	114.3	10.6	47.1	49.6	76.8	126.0	163.8	198.1	1821.0
42	2,015	294.0	261.2	239.5	141.5	57.7	23.3	15.8	40.1	64.4	109.3	119.9	213.5	1580.2
43	2,016	273.5	286.8	168.9	139.8	51.0	27.1	20.4	43.1	78.3	179.2	165.1	230.2	1663.5
44	2,017	201.4	211.3	331.8	165.9	99.2	18.6	27.0	31.6	77.1	162.1	149.5	214.2	1689.7
45	2,018	312.3	197.2	240.4	138.7	48.2	4.2	12.0	40.1	82.0	151.0	177.3	204.8	1608.1
46	2,019	265.8	304.9	280.5	163.6	63.0	16.5	27.7	51.7	89.4	165.9	191.5	261.5	1882.0
Media		291.6	265.3	281.8	148.2	69.6	26.7	28.1	41.7	87.8	157.5	160.5	231.6	1,790.35
Prec. Max.		501.7	394.5	549.4	268.1	156.3	117.0	71.2	72.5	162.2	240.5	386.6	367.3	549.4
Prec. Min.		189.1	176.9	168.9	89.0	33.5	4.2	12.0	21.4	50.6	85.0	105.0	124.1	4.2

Fuente: Elaboración propia, Se trabajo datos de SENAMHI (Resultado de la sumatoria de producto de Factor de influencia total de la estación N por precipitación media mensual de la misma estación)

6.4. Análisis de temperatura

Debido a que el comportamiento térmico en el ámbito de estudio es variable y está influenciado principalmente por la altitud, la fisiografía y la dirección de los vientos. Se realizó la regionalización de la temperatura por el método de regresión lineal simple para los puntos de interés.

6.4.1. Regionalización de las temperaturas media para la cuenca Vilcabamba

Se obtuvo como resultado la tabla siguiente, donde se muestra las temperaturas regionalizadas para la cuenca Vilcabamba, de la misma manera se tiene las figuras subsiguientes donde se muestra la ecuación de regionalización.

Tabla 31

Regionalización de la temperatura media por regresión lineal simple.

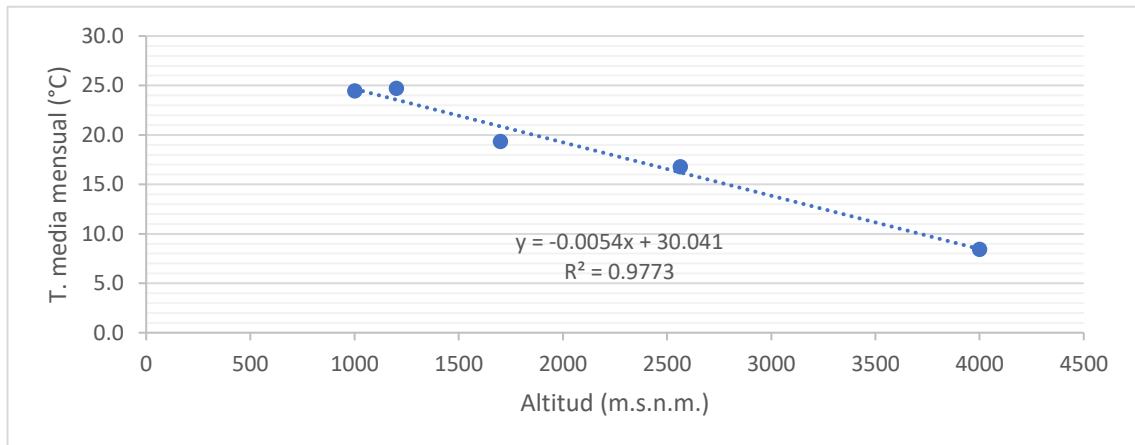
ESTACION	AITITU D msnm.	TEMPERATUA MEDIA MENSUAL												MEDI A °C
		ENE °C	FEB °C	MAR °C	ABR °C	MAY °C	JUN °C	JUI °C	AGO °C	SET °C	OCT °C	NOV °C	DIC °C	
Quillabamba	1001	24.1	24.0	24.4	24.4	24.2	23.9	23.5	24.5	24.9	25.4	25.4	24.7	24.5
Quebrada	1200	24.6	23.9	24.4	23.7	23.0	22.3	22.3	23.6	24.3	24.6	24.8	24.7	24.7
Huyro	1700	20.0	20.1	20.0	19.5	18.6	17.6	17.4	18.2	19.4	20.4	20.5	20.3	19.3
Machupicchu	2563	17.0	17.0	17.1	16.9	16.3	15.6	15.1	16.2	17.4	17.8	17.9	17.4	16.8
Vilcabamba	4000	8.4	9.0	8.8	8.6	8.4	7.5	7.9	8.3	8.4	8.7	8.7	8.7	8.4
Promedio	2092.8	18.8	18.8	18.9	18.6	18.1	17.4	17.2	18.2	18.9	19.4	19.5	19.2	18.7
Desv. Estándar	1224.9	6.6	6.2	6.5	6.4	6.3	6.5	6.2	6.5	6.7	6.7	6.8	6.6	6.7
Coeficiente.	a	30.0	29.3	29.9	29.5	28.7	28.2	27.7	29.1	30.1	30.8	30.9	30.4	30.04
		7	5	2	0	3	9	6	6	7	3	8	2	
Coeficiente	b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Coeficiente	r	-0.99	-1.00	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.98	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99
Vilcabamba	4,082	8.2	8.8	8.5	8.3	7.9	7.0	7.2	7.7	8.1	8.5	8.5	8.4	8.0

MH

Fuente: SENAMHI y Elaboración propia.

Figura 66

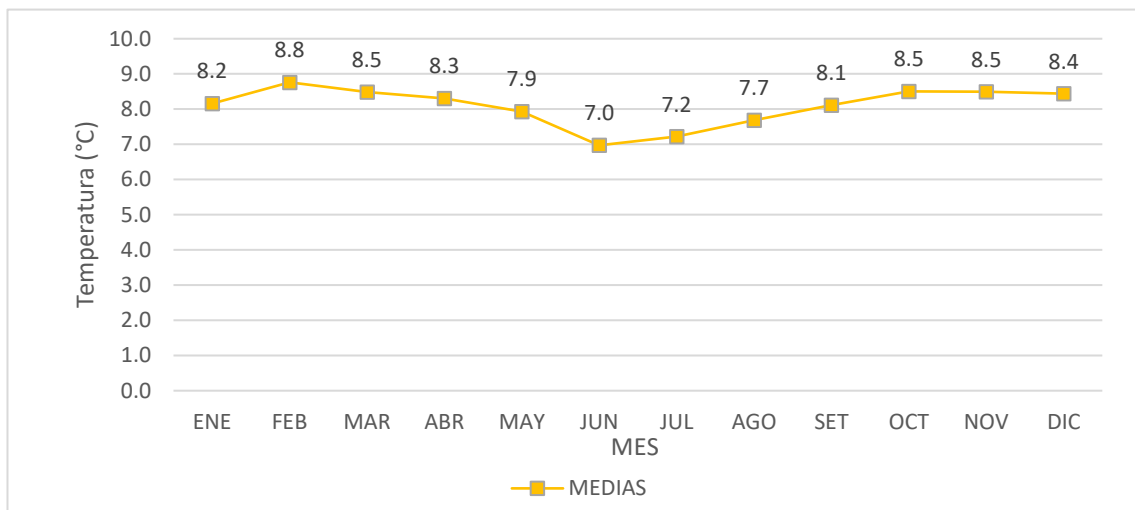
Regresión lineal simple de la temperatura media mensual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 67

Comportamiento de la temperatura media mensual de la cuenca Vilcabamba.



Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior, se concluye que la máxima temperatura media mensual se da en el mes de febrero con un valor de 8.8 °C, mientras que por el contrario en el mes de junio se tiene la temperatura media mínima siendo esta de 7.0°C. Consecuentemente se tiene que la temperatura media anual regionalizada para el área de estudio es de 8.0°C.

Así mismo se calculó las temperaturas medias mensuales para cada curva de nivel en intervalos de 100 metros, datos que se observan en la tabla siguiente:

Tabla 32

Regionalización de temperatura media para diferentes curvas de nivel, cuenca Vilcabamba.

Altitud	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800	4900	5000	5100	5200	5300	5400
T(°C)	13.9	13.3	12.8	12.2	11.7	11.2	10.6	10.1	9.5	9.0	8.5	7.9	7.4	6.8	6.3	5.8	5.2	4.7	4.1	3.6	3.1	2.5	2.0	1.4	0.9

Fuente: Elaboración propia

6.4.2. Regionalización de las temperaturas para la intercuenca Huaychaumarca

De la misma manera que en la cuenca Vilcabamba, se obtuvo como resultado la tabla siguiente y la figura subsiguiente la ecuación de regresión lineal simple de regionalización. Así mismo se calculó las temperaturas medias mensuales para cada curva de nivel en intervalos de 100 metros, datos que se observan en la tabla que sigue después.

Tabla 33

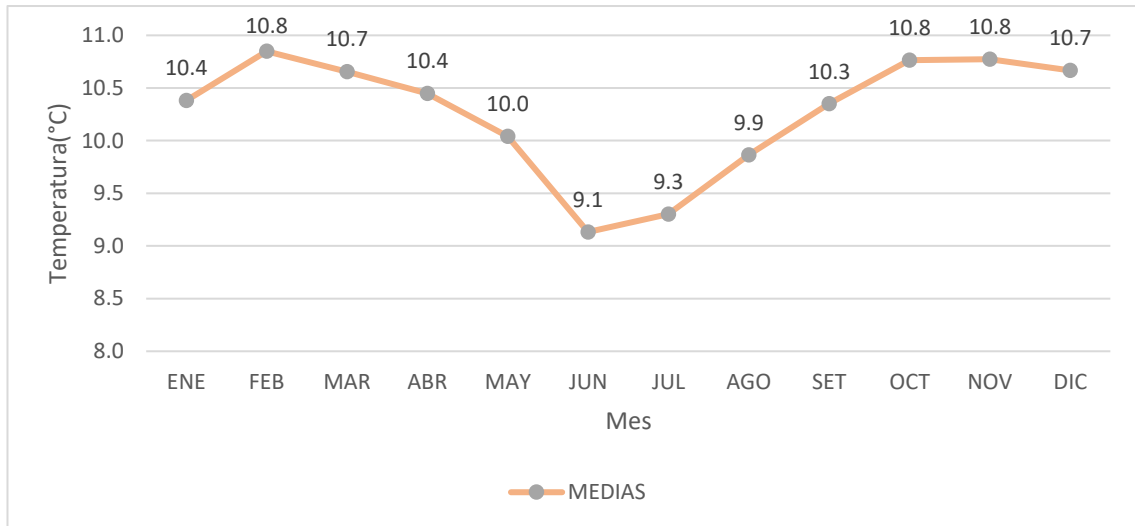
Regionalización de la temperatura media por regresión lineal simple

ESTACION	Altitud msnm	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL												MEDI A °C
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUI	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
Quillabamba	1001	24.1	24.0	24.4	24.4	24.2	23.9	23.5	24.5	24.9	25.4	25.4	24.7	24.5
Quebrada	1200	24.6	23.9	24.4	23.7	23.0	22.3	22.3	23.6	24.3	24.6	24.8	24.7	24.7
Huyro	1700	20.0	20.1	20.0	19.5	18.6	17.6	17.4	18.2	19.4	20.4	20.5	20.3	19.3
Machupicchu	2563	17.0	17.0	17.1	16.9	16.3	15.6	15.1	16.2	17.4	17.8	17.9	17.4	16.8
Vilcabamba	4000	8.4	9.0	8.8	8.6	8.4	7.5	7.9	8.3	8.4	8.7	8.7	8.7	8.4
Promedio	2092.	18.8	18.8	18.9	18.6	18.1	17.4	17.2	18.2	18.9	19.4	19.5	19.2	18.7
Desv. Estándar	1224.	6.6	6.2	6.5	6.4	6.3	6.5	6.2	6.5	6.7	6.7	6.8	6.6	6.7
Coefic. a	30.0	29.3	29.9	29.5	28.7	28.2	27.7	29.1	30.1	30.8	30.9	30.4	30.04	
Coefic. b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	
Coefic. r	-0.99	-1.00	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.98	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	
Cuenca de Estudio	3,670	10.4	10.8	10.7	10.4	10.0	9.1	9.3	9.9	10.3	10.8	10.8	10.7	10.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 68

Comportamiento mensual de las temperaturas, intercuenca Huaychaumarca.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Regionalización de temperatura media para diferentes altitudes.

Altitud	m.s.n.m.	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3700	3800	3900
Temperatura	°C	14.90	14.30	13.85	13.31	12.77	12.24	11.70	11.16	10.62	10.08	9.54	9.00

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se concluye que la temperatura media anual regionalizada para el área de estudio es de 10.2°C.

6.5. Determinación de evapotranspiración real (ETR) y coeficiente de escurrimiento Ce (%)

ETR, es la precipitación que se evapora y no es parte de la escorrentía para este cálculo se utilizó el método de TURC, Ce (%) es el porcentaje de la cantidad de agua que no forma parte de la escorrentía.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real en mm/año,

P= precipitación media anual en mm,

$$I = 300 + 25P + 0.05T^3,$$

T: temperatura media anual °C

Tabla 35

Evapotranspiración real y coeficiente de escurrimiento

msnm	P (mm)	T°C	T3	I	RAIZ	ETR	Ce (%)
2800	1716.50	14.90	3307.95	837.90	2.26	760.33	55.70
2900	1725.90	14.30	2924.21	803.71	2.35	735.17	57.40
3000	1735.06	13.85	2659.06	779.30	2.42	716.93	58.68
3100	1743.93	13.31	2360.32	750.88	2.51	695.12	60.14
3200	1752.57	12.77	2084.84	723.61	2.60	673.77	61.56
3300	1760.98	12.24	1831.67	697.47	2.70	652.90	62.92
3400	1769.18	11.70	1599.87	672.39	2.80	632.53	64.25
3500	1777.18	11.16	1388.51	648.33	2.90	612.68	65.53
3600	1784.99	10.62	1196.63	625.25	3.01	593.34	66.76
3700	1792.62	10.08	1023.30	603.09	3.12	574.54	67.95
3800	1800.07	9.54	867.57	581.82	3.24	556.25	69.10
3900	1807.37	9.00	728.50	561.37	3.36	538.48	70.21
4000	1814.50	8.46	605.14	541.72	3.48	521.21	71.28
4100	1821.49	7.92	496.57	522.80	3.61	504.43	72.31
4200	1828.33	7.38	401.82	504.57	3.75	488.12	73.30
4300	1835.04	6.84	319.97	486.99	3.89	472.25	74.26
4400	1841.61	6.30	250.06	470.01	4.03	456.81	75.20
4500	1848.07	6.26	245.11	468.71	4.06	455.71	75.34
4600	1854.40	5.77	191.78	453.76	4.20	442.01	76.16
4700	1860.62	5.29	148.02	439.65	4.34	429.00	76.94
4800	1866.72	4.83	112.53	426.32	4.48	416.66	77.68
4900	1872.72	4.38	84.12	413.75	4.62	404.95	78.38
5000	1878.62	3.95	61.71	401.88	4.77	393.85	79.04
5100	1884.42	3.54	44.32	390.69	4.92	383.34	79.66
5200	1890.12	3.14	31.07	380.14	5.06	373.41	80.24
5300	1895.73	2.77	21.19	370.23	5.21	364.04	80.80
5400	1901.25	2.41	13.99	360.94	5.35	355.23	81.32
	1817.04	8.25		552.49		526.04	70.82

Fuente: elaboración propia

6.6. Estimación de caudales

6.6.1. Método directo

Se recurrió al método de sección velocidad (método flotador) la cual consiste en medir el ancho del río, medir las profundidades de agua a cada cierto metro en la dirección que se midió el ancho para nuestro caso se midió a cada metro posteriormente se pone el flotador y se mide la velocidad del río este proceso se realiza varias veces.

Tabla 36
Caudal de aforo del rio Huaychaumarca

CAUDAL DEI RIO HUAYCHAUMARCA				
E (metros)	10.00	NORTE ESTE	8551453 723866	
T (pro en seg)	9.33			
V (m/s)	1.07			
Dt. Sec (cm)	50.00			
Q (m3/seg)	0.14			
Q (lt/seg)	144.64			
SECC	H cm	V-1	AREA cm2	AREA m2
A	0	-	-	-
B	4	2.000	100.000	0.010
C	5	4.500	225.000	0.023
D	6	5.500	275.000	0.028
E	7	6.500	325.000	0.033
F	5	6.000	300.000	0.030
G	0	2.500	125.000	0.013
				0.135

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37
Caudal de aforo del rio Vilcabamba y rio Cayco

CAUDALES DEI RIO VIICABAMBA				
AFORO #1				
E (metros)	25	NORTE ESTE	8549391.48 723796.38	
T (pro en seg)	30.00			
V (m/s)	0.83			
Dt. Sec (cm)	100.00			
Q (m3/seg)	4.73			
Q (lt/seg)	4725			
AFORO #2				
E (metros)	25	NORTE ESTE	8549351.51 723808.65	
T (pro en seg)	28.67			
V (m/s)	0.87			
Dt. Sec (cm)	100.00			
Q (m3/seg)	1.27			
Q (lt/seg)	1273.26			
AFORO #3				
E (metros)	25	NORTE ESTE	8549154.43 723660.2	
T (pro en seg)	24.67			
V (m/s)	1.01			
Dt. Sec (cm)	100.00			
Q (m3/seg)	3.45			
Q (lt/seg)	3445.95			

Fuente: Elaboración propia

Figura 69

Medición de caudal del rio Vilcabamba



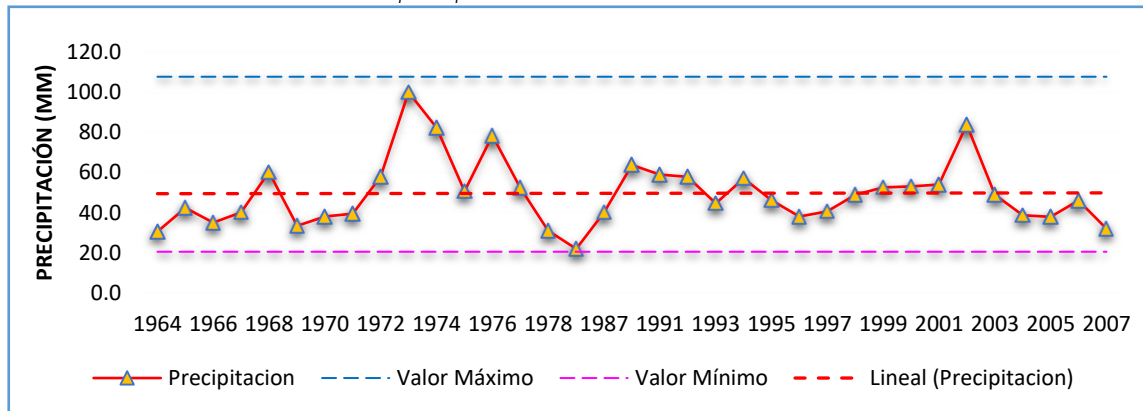
Fuente: Fotografía tomada por el autor

6.6.2. Método directo:

El análisis de las precipitaciones máximas y periodos de retorno, se efectuaron en base a las precipitaciones máximas en 24 horas registradas en la estación Quillabamba, Cabe señalar que se tiene un registro de 39 años, razón por la cual se hizo uso de la información pluviométrica de dicha estación.

A falta de registros pluviométricos en el área de estudio, las características de tormentas se efectuaron en base a formulas indirectas de desagregación. De la misma manera, se sometió al registro de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Quillabamba al análisis de datos dudosos.

Figura 70
Análisis de datos dudosos de las precipitaciones máximas, estación Quillabamba.



Fuente: Elaboración propia. A partir de los datos de SENAMHI

Del análisis de datos dudosos de las precipitaciones máximas de la estación Quillabamba se obtuvo sus parámetros estadísticos, los cuales se muestran en grafica.

Tabla 38
Parámetros estadísticos de precipitación máxima en 24 horas, estación Quillabamba.

Parámetros estadísticos	P24hr	log(P24hr)
Número de datos (N)	39.00	39
Sumatoria	1924.60	65.23
Valor Máximo	100.00	2.00
Valor Mínimo	22.00	1.34
Media:	49.35	1.672
Varianza:	261.96	0.018
Desviación Estándar:	16.19	0.135
Coefficiente Variación:	0.33	0.081
Coefficiente de Sesgo:	1.18	0.2183

Fuente: Elaboración propia.

Umbral de datos dudosos altos y datos dudosos bajos (xH: unidad. logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

Donde Xh= Umbral logarítmica de datos dudosos es la suma la media más el producto de la desviación estándar con el coeficiente de Kn obtenida a partir de numero de datos

El cálculo es en precipitación máxima ($PH=10^{xh}$) y mínima ($Ph=10^{xh}$)

Dato dudoso alto= $XH=2.03$ entonces $PH=107.70\text{mm}$

Dato dudoso bajo= $XI=1.31$ entonces $PI=20.55\text{mm}$

El valor máximo está por debajo de 707.70mm y el valor mínimo está por encima de 20.55mm , por lo tanto, la información de precipitación máximas no presenta datos atípicos por lo tanto se procederá a trabajar la distribución teórica.

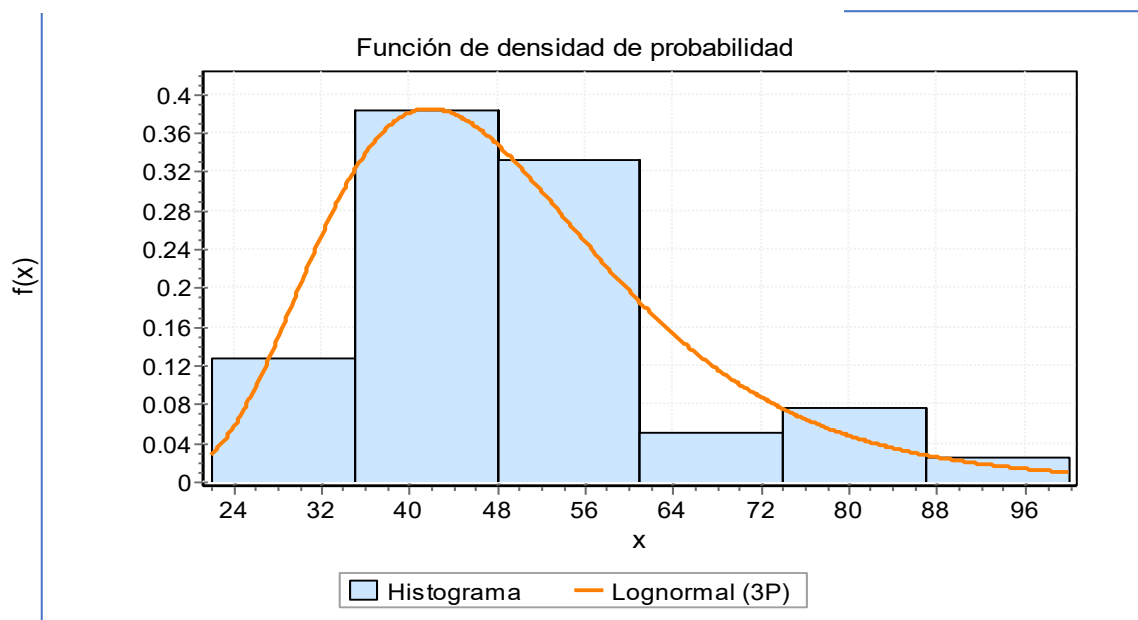
6.6.2.1. Modelos de distribución

Este registro, correspondiente a la estación Quillabamba, fue sometido a un análisis de frecuencias para obtener las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, mediante

la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. Sometiendo a la estación Quillabamba al análisis de frecuencia, obteniéndose los siguientes modelos de distribución, los cuales se muestran en las siguientes figuras.

Figura 71

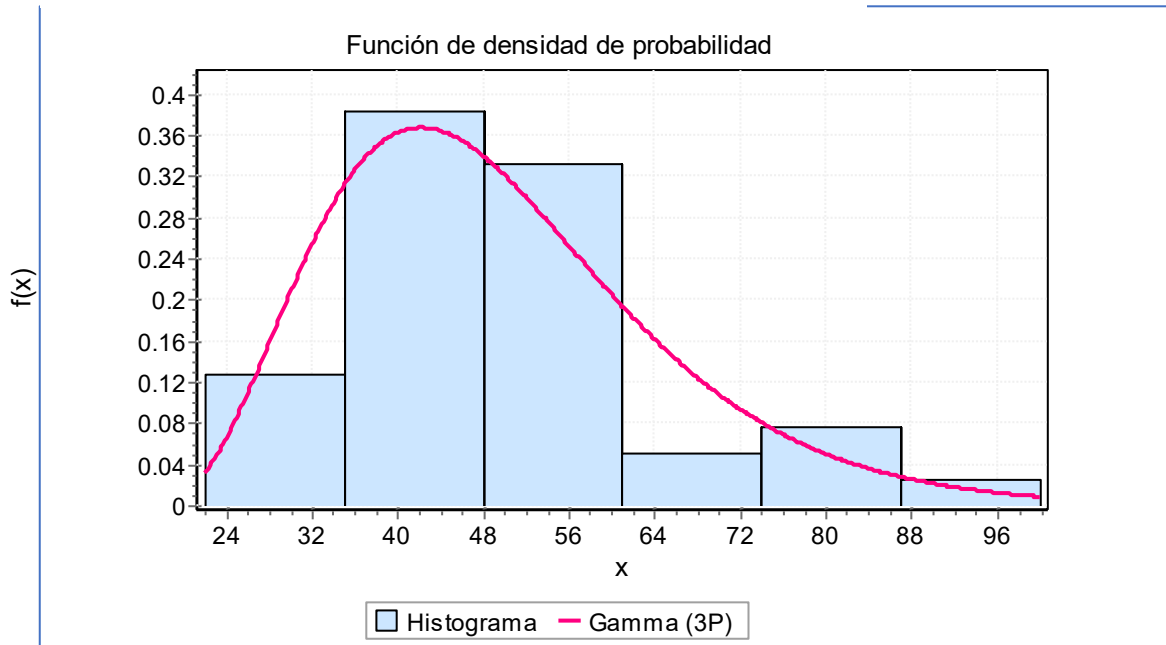
Distribución Log normal 3 parámetros.



Fuente: Elaboración propia

Figura 72

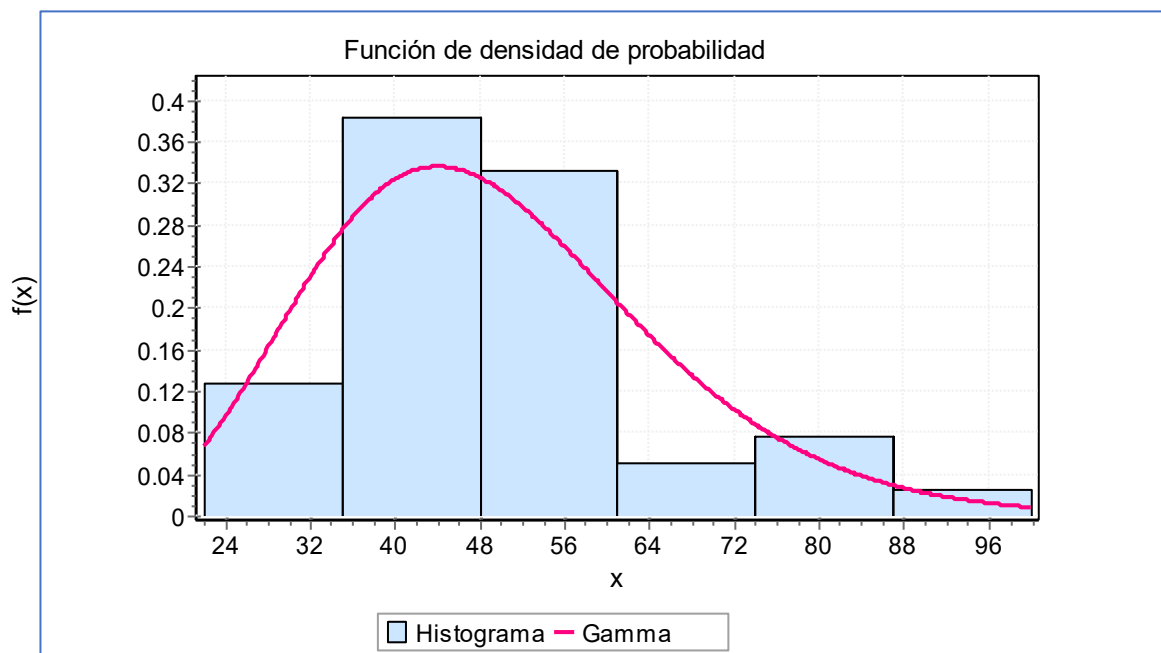
Distribución Gamma 3 parámetros



Fuente: Elaboración propia

Figura 73

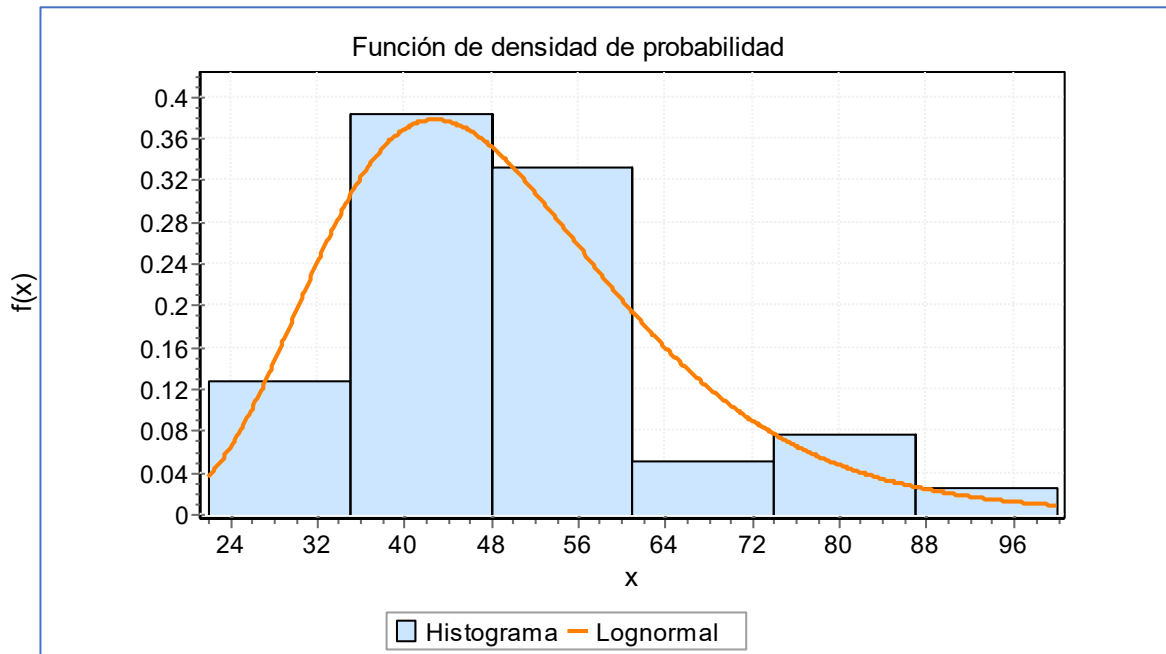
Distribución Gamma 2 parámetros.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74

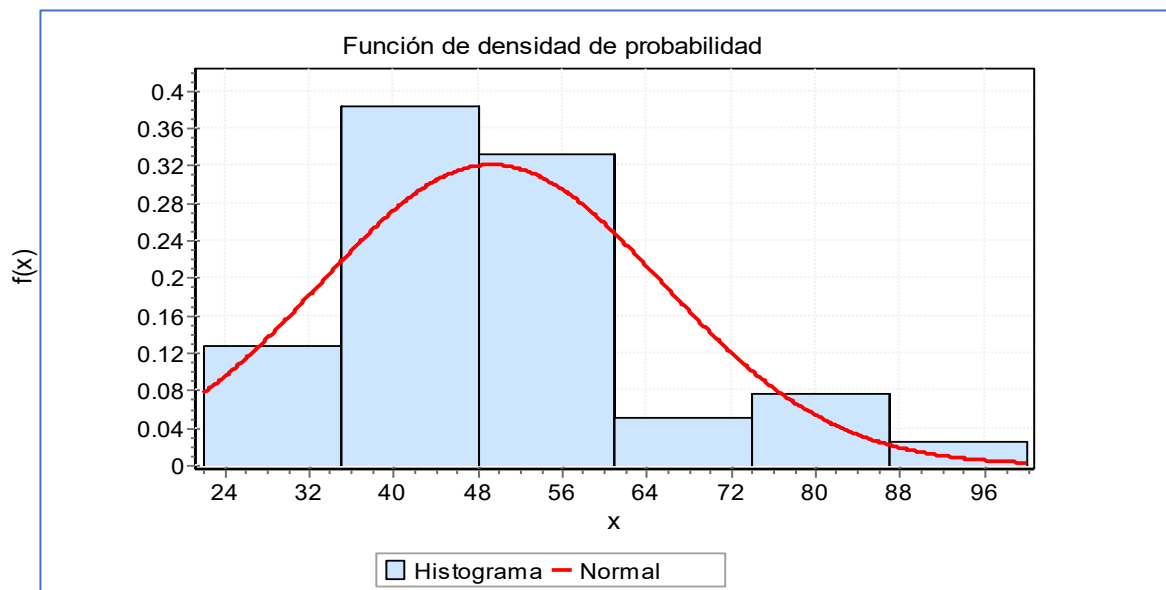
Distribución Log normal 2 parámetros.



Fuente: elaboración propia

Figura 75

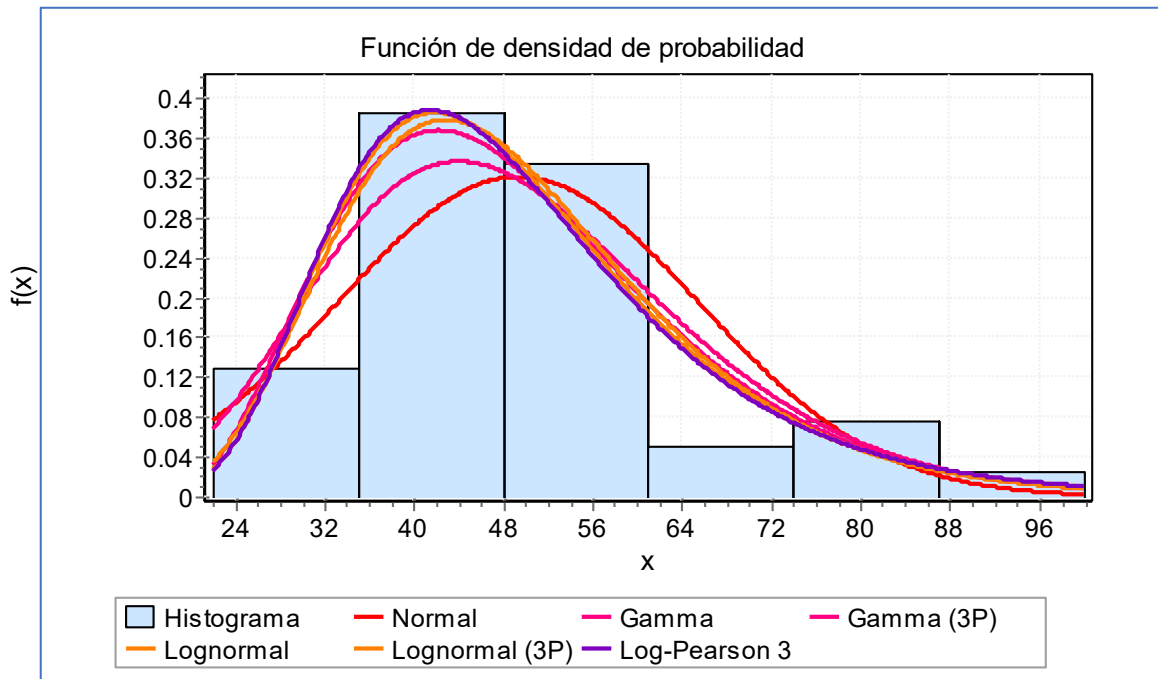
Distribución normal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 76

Distribuciones de densidad de probabilidad.

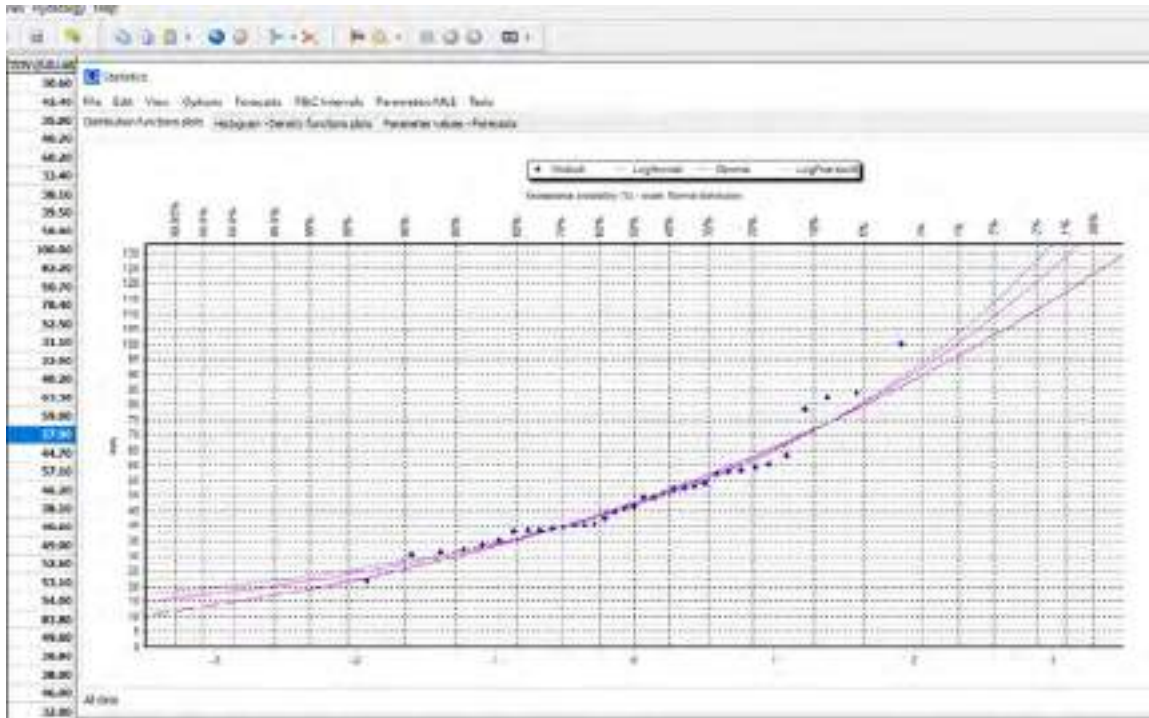


Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido los histogramas correspondientes a diferentes distribuciones de probabilidad, se observa que las distribuciones log Pearson de tipo III, log normal y gamma, presentan una función de probabilidad muy similares y son los que más se adjuntan como se muestra en la figura siguiente. Por lo tanto, las precipitaciones máximas se determinarán con estos 3 modelos de distribución.

Figura 77

Grafico de ajuste de modelos de distribución de lo Normal, Gama y log Pearson III.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SENAMHI

6.6.3. Precipitación máxima y periodos de retorno

Siendo este el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada T años, es denominado Periodo de Retorno “T”, es así que se consideró la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, logrando identificar que la distribución de log. normal se ajusta más, pero se vio conveniente utilizar el promedio de 3 distribuciones, datos que se muestran en la tabla siguiente para determinar las precipitaciones máximas de retorno software de HIDROGNOMON.

Tabla 39

Periodo de retorno y precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno.

Periodo de retorno	T	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	140.00	500.00
Riesgo de falla	R	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.18
Vida útil	n	1.00	1.30	2.70	7.00	14.00	29.00	40.00	100.00
Precipitación de diseño (mm)									
Gamma 3P		46.51	60.85	70.47	82.82	92.18	101.07	106.47	124.74

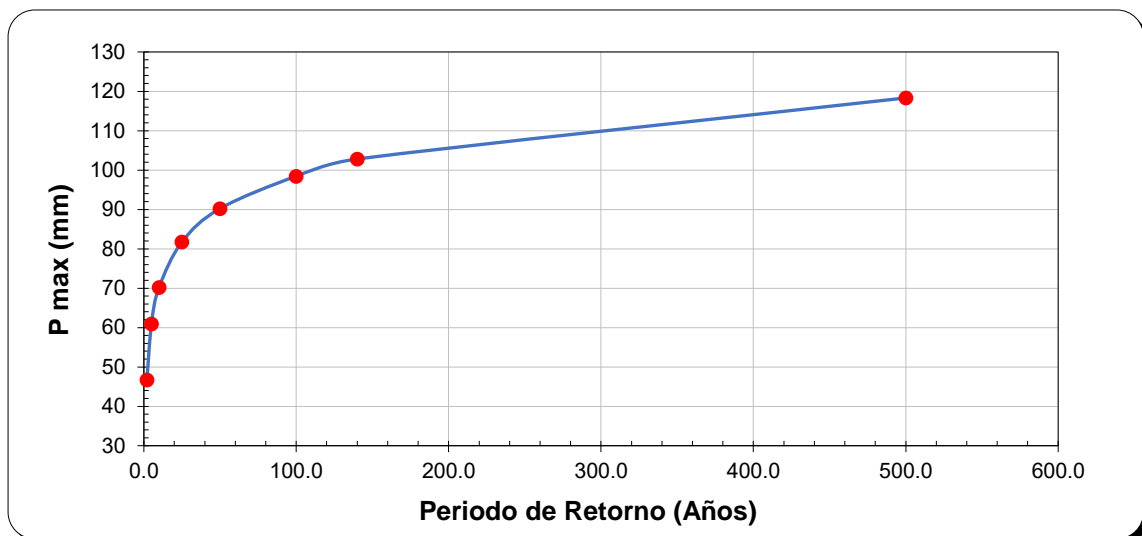
log Pearson III	46.68	60.78	70.02	81.59	90.17	98.72	102.95	118.78
log normal	46.99	61.28	70.18	80.82	88.34	95.55	99.02	111.45
Promedio	46.73	60.97	70.22	81.74	90.23	98.45	102.81	118.32

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el valor recomendado por el MTC para defensas ribereñas con relación a la vida útil y riesgo de falla de 40 años y 25 % respectivamente, se determinó que el valor del periodo de retorno es de 140 años, con lo cual el valor de la precipitación de diseño correspondiente para este periodo de retorno es de 102.81 mm.

Figura 78

Precipitación de diseño - periodo de retorno.



Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera de acuerdo al reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales, recomienda emplear un periodo de retorno de 50 años para estimar el caudal máximo de diseño para tramos del curso de agua con asentamientos agrícolas, y un periodo de retorno de 100 años en áreas urbanas (Autoridad nacional del agua, 2011).

Considerando el reglamento y el periodo de retorno estimado de acuerdo al MTC, viendo que el área de estudio se encuentra en un área intermedia entre rural y urbana, se tomara en cuenta la recomendación de la Autoridad Nacional del agua y se utilizara el periodo de retorno de 100 años, el cual representa una precipitación de 98.45 mm.

6.6.4. Curvas IDF

Con la finalidad de que el presente estudio tenga resultados consistentes y confiables de la intensidad a partir de las precipitaciones máximas de 24 horas para un determinado periodo de retorno, se pudo estimar la intensidad de precipitación para duraciones menores a 24 horas por el método coeficientes de D. F. Campos. A continuación, se muestran las tablas donde de la distribución en el tiempo de la precipitación y la intensidad de lluvia, de la misma manera se muestra las curvas IDF para 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años de periodo de retorno.

Tabla 40

Precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno.

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	46.7300	0.9285	52.8049
5	1.4999	60.9700	0.9882	68.8961
10	2.2504	70.2200	0.9964	79.3486
25	3.1985	81.7400	0.9992	92.3662
50	3.9019	90.2300	0.9997	101.9599
100	4.6001	98.4500	0.9999	111.2485
500	6.2136	118.3200	1.0000	133.7016

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se realizó el análisis de regresión potencial para los distintos periodos de retorno.

Tabla 41

Regresión potencial para los distintos periodos de retorno.

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	199.6303	0.6931	5.2965	3.6712	0.4805
2	5	260.4634	1.6094	5.5625	8.9524	2.5903
3	10	299.9794	2.3026	5.7037	13.1333	5.3019
4	25	381.0744	3.2189	5.9430	19.1298	10.3612
5	50	385.4620	3.9120	5.9544	23.2939	15.3039
6	100	420.5778	4.6052	6.0416	27.8227	21.2076
7	500	505.4623	6.2146	6.2255	38.6889	38.6214
7	692	2452.6494	22.5558	40.7272	134.6922	93.8667

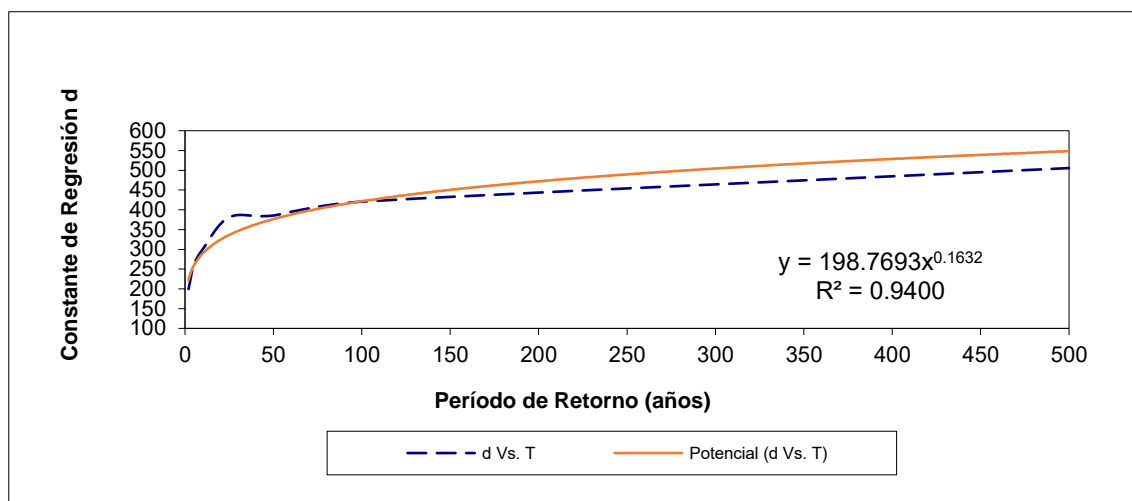
$\ln(K) =$	5.2921	$K =$	198.7693	$m =$	0.1632	$n =$	0.618849
------------	--------	-------	----------	-------	--------	-------	----------

Fuente: Elaboración propia

Resultado de la regresión potencial para los distintos periodos de retorno y sus respectivas precipitaciones de diseño, se obtuvo las curvas de intensidad – duración – frecuencia y los coeficientes, los cuales se expresó como ecuación con el fin de evitar la lectura de lluvia de diseño en una gráfica, para lo cual fue necesario determinar la regresión potencial de los distintos periodos de retorno, los cuales se muestran en las figuras y tablas siguientes.

Figura 79

Regresión potencial de los periodos de retorno.



Fuente: Elaboración propia

De esta manera se obtuvo la ecuación para determinar la intensidad de precipitación para el área de estudio.

$$I = \frac{198.7693 * T^{0.163247}}{0.618849 t}$$

I = intensidad de precipitación (mm/hr).

T = Periodo de Retorno (años).

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

Una vez determinada la ecuación, se muestra los distintos valores de intensidad de precipitación para distintos periodos de retorno, así como distintos periodos de duración de

tormenta, con el cual se obtuvo las curvas IDF, los cuales representan el diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, obteniéndose la tabla y figura siguientes:

Tabla 42

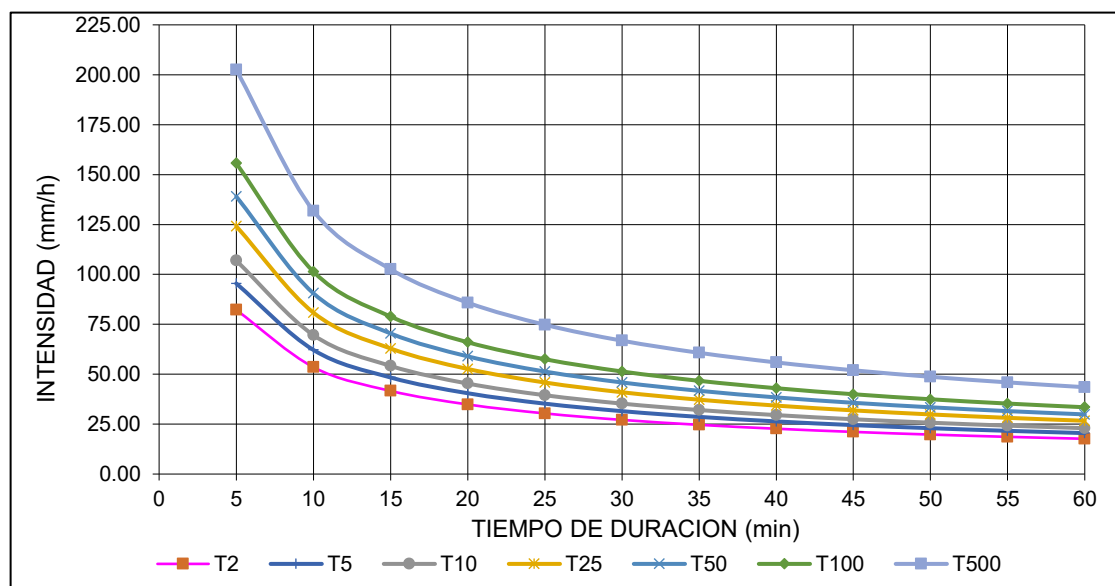
Intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno y duración.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	82.21	53.54	41.66	34.86	30.37	27.13	24.66	22.70	21.11	19.77	18.64	17.66
5	95.48	62.17	48.38	40.49	35.26	31.50	28.64	26.36	24.51	22.96	21.65	20.51
10	106.92	69.62	54.17	45.34	39.49	35.28	32.07	29.52	27.45	25.72	24.24	22.97
25	124.17	80.86	62.91	52.65	45.86	40.97	37.24	34.29	31.88	29.86	28.15	26.68
50	139.04	90.54	70.45	58.96	51.36	45.88	41.70	38.39	35.70	33.44	31.53	29.87
100	155.70	101.39	78.89	66.02	57.51	51.37	46.70	42.99	39.97	37.45	35.30	33.45
140	164.49	107.11	83.34	69.75	60.76	54.27	49.33	45.42	42.23	39.56	37.30	35.34
500	202.48	131.86	102.59	85.86	74.79	66.81	60.73	55.91	51.98	48.70	45.91	43.51

Fuente: Elaboración propia

Figura 80

Curvas IDF para el área de estudio.



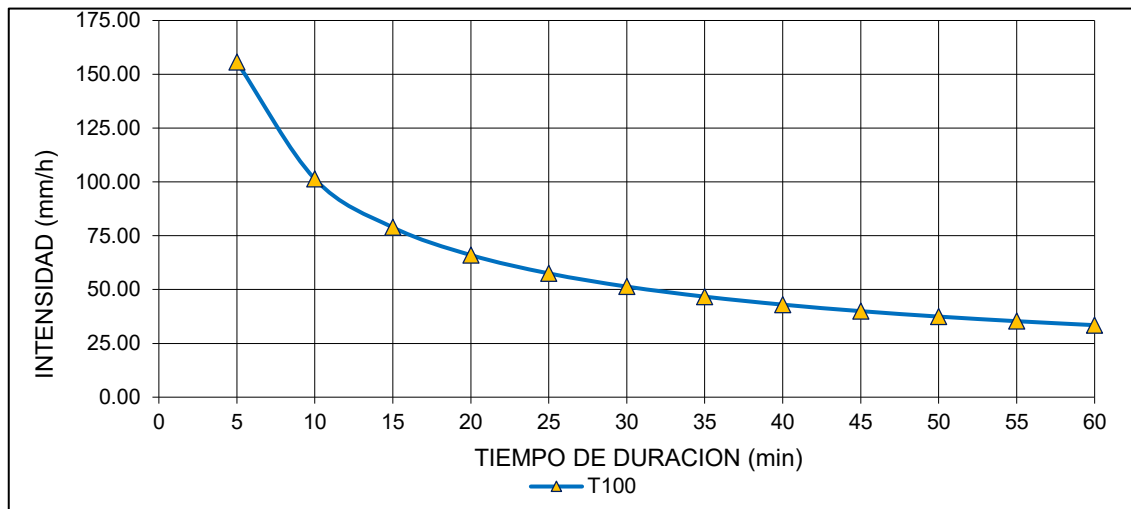
Fuente: Elaboración propia

6.6.5. Hietograma

Se realizo mediante el método del bloque alterno, el cual es una forma simple de desarrollar un hietograma a partir de las curvas IDF. El cual se desarrolló a partir de las curvas IDF para un periodo de retorno de 100 años.

Figura 81

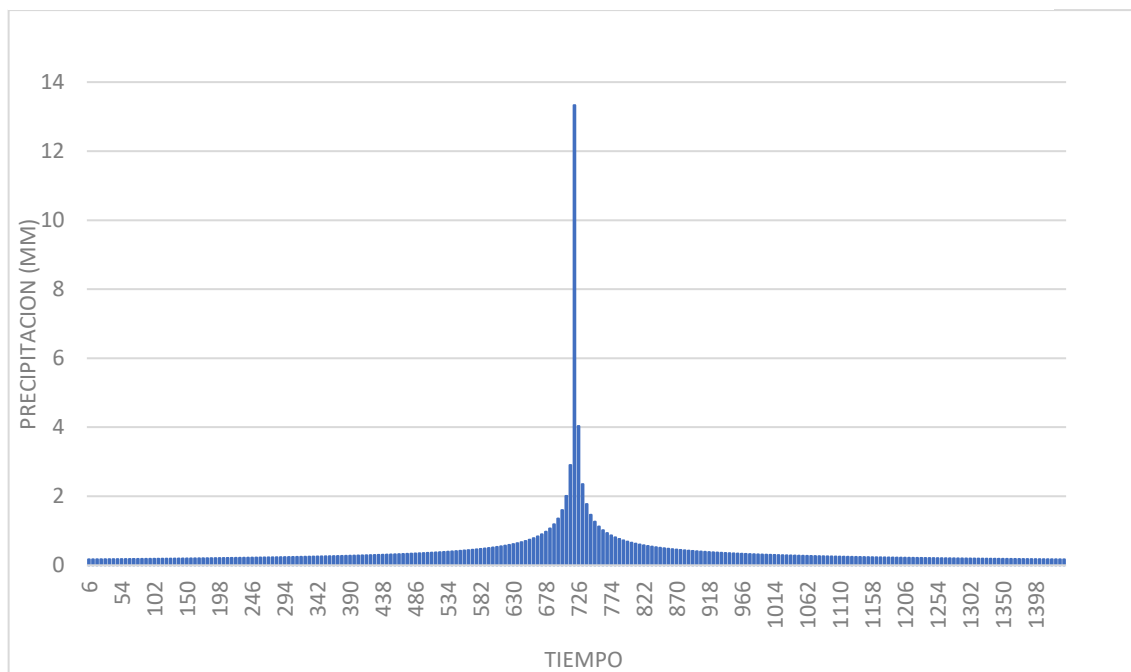
Curva IDF para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 82

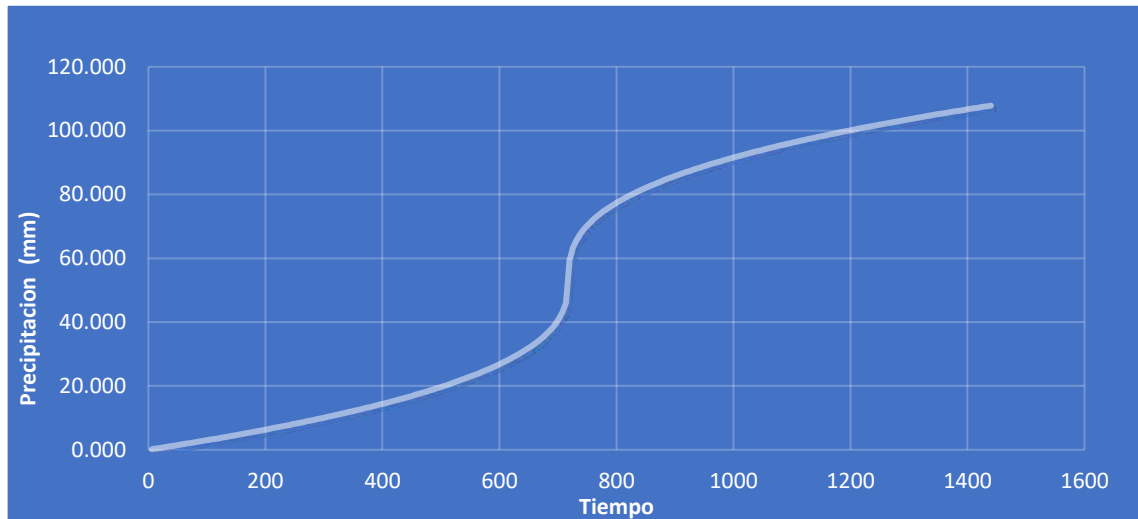
Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85

Patrón de tormenta para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que el patrón de tormenta generado a partir del hietograma será utilizado en el modelamiento de HEC-HMS.

6.6.6. Tiempos de concentración

Siendo este el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca, este se obtuvo por el método de Kirpich y el método U.S. Army Corps, los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 43

Tiempos de concentración.

Micro Cuenca	Curso Principal			Tiempo de concentración (Tc)		
	Área (km ²)	longitud (m)	Pendiente (m/m)	Método Kirpich (hr)	Método U.S. Army Corps (hr)	Tc (horas)
Cuenca Vilcabamba	188.73	18031	0.12	1.41	1.69	1.08
						93.07 min
Intercuenca Huaychaumarca	7.07	5609	0.18	0.48	0.64	0.56
						33.85 min

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinado los valores del tiempo de concentración para la cuenca e intercuenca y los cuales son 93 minutos y 33 minutos respectivamente, se determinaron las intensidades para los distintos periodos de retorno, resultados que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 44

Intensidad de precipitación para un tiempo de duración y distintos de periodo de retorno.

Cuenca Vilcabamba		Intercuenca Huaychaamarca	
Duración(min)	(Tc) 93 min	Duración(min)	(Tc) 33 min
2	13.47	2	25.17
5	15.64	5	29.23
10	17.51	10	32.74
25	20.34	25	38.02
50	22.78	50	42.57
100	25.51	100	47.67
140	26.95	140	50.37
500	33.17	500	62.00

Fuente: Elaboración propia

6.6.7. Generación de máximas avenidas por método empírico

Se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada de nuestra cuenca y que generan un caudal Q, cuando ocurre la lluvia, la cuenca presenta un comportamiento, el cual comienza con el humedecimiento progresivo, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial. Generándose así las máximas avenidas por métodos empíricos que se muestran en las tablas y figuras siguientes correspondiente a la cuenca Vilcabamba y intercuenca Huaychaamarca respectivamente.

Tabla 45

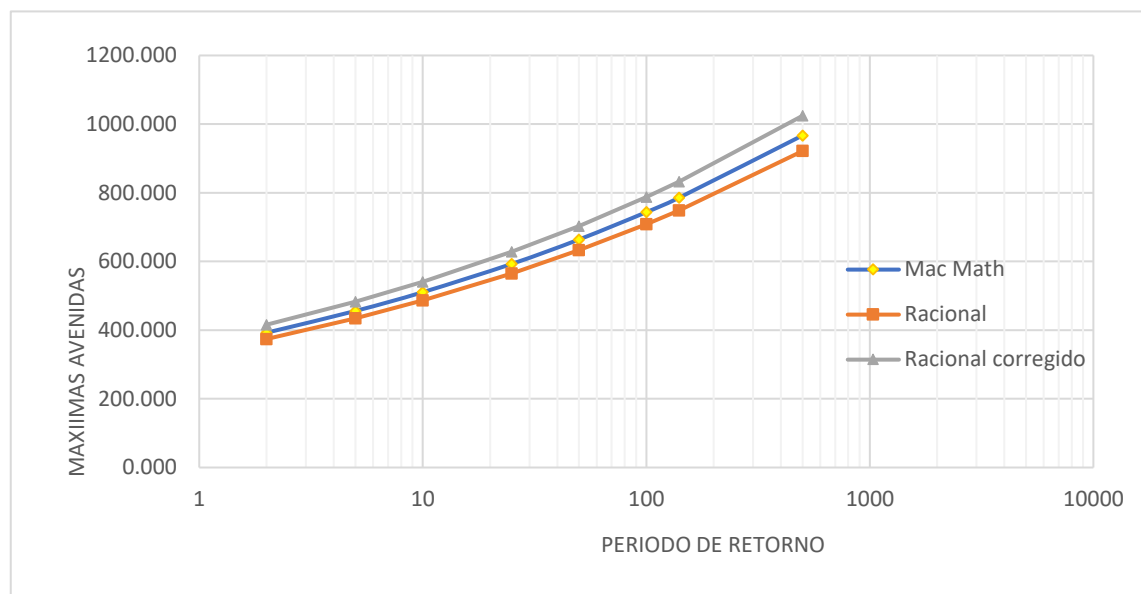
Métodos empíricos de estimación de máximas avenidas en la cuenca Vilcabamba

T (años)	I	Mac Math	Racional	Racional corregido
2	13.468	392.647	374.208	415.89
5	15.641	455.999	434.585	482.99
10	17.515	510.630	486.650	540.86
25	20.341	593.019	565.171	628.12
50	22.778	664.066	632.880	703.38
100	25.506	743.624	708.702	787.64
140	26.947	785.612	748.719	832.12
500	33.171	967.070	921.655	1024.32

Fuente: Elaboración propia

Figura 86

Avenidas máximas de la cuenca Vilcabamba para distintos periodos de retorno.



Fuente: Elaboración propia

las avenidas máximas que se obtuvieron por métodos empíricos no muestran una gran diferencia entre ellos como se pueden observar en la figura anterior, pero se observa que las avenidas máximas generadas muestran valores altos de caudales. Cabe señalar que para el presente estudio se hará uso de un modelamiento en HEC HMS, que se verá más adelante.

Tabla 46

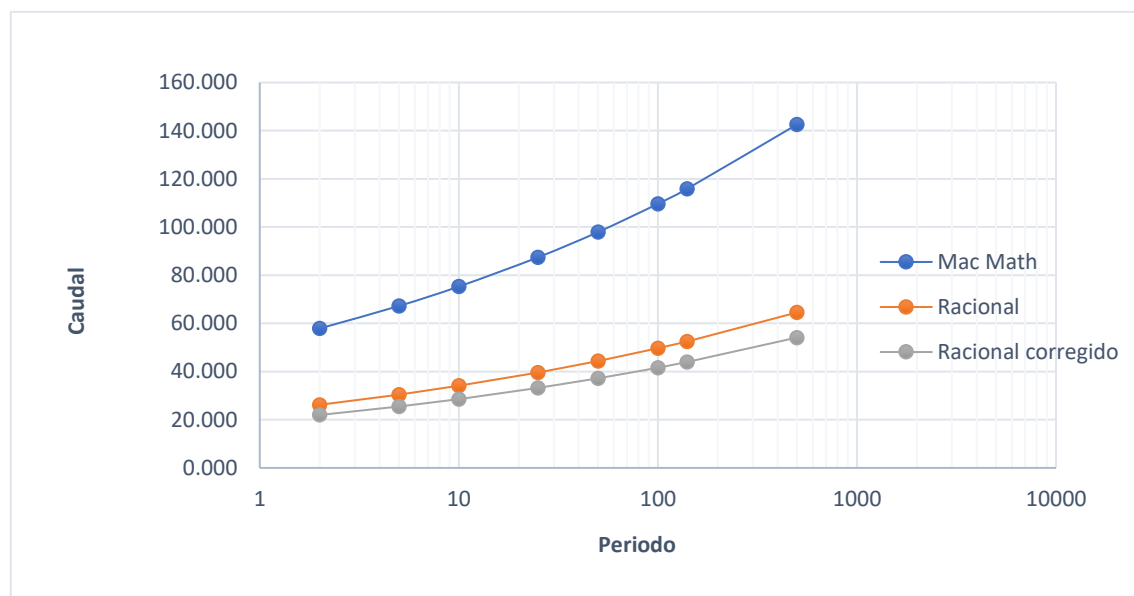
Métodos empíricos de estimación de máximas avenidas, intercuenca Huaychaamarca.

T (años)	I	Mac Math	Racional	Racional corregido
2	25.170	57.891	26.198	21.97
5	29.230	67.229	30.424	25.52
10	32.740	75.302	34.078	28.58
25	38.020	87.446	39.574	33.19
50	42.570	97.911	44.309	37.17
100	47.670	109.641	49.618	41.62
140	50.370	115.851	52.428	43.98
500	62.000	142.600	64.533	54.13

Fuente: Elaboración propia

Figura 87

Avenidas máximas de la Cuenca Vilcabamba para distintos periodos de retorno.



Fuente: Elaboración propia.

las avenidas máximas que se obtuvieron por métodos empíricos para la intercuenca Huaychaamarca, muestran una gran diferencia entre ellos como se pueden observar en la figura anterior, de la misma manera se observa que las avenidas máximas generadas muestran valores altos de caudales. Cabe señalar que para el presente estudio se hará uso de un modelamiento en HEC HMS, que se verá más adelante.

6.6.8. Modelamiento hidrológico (HEC – HMS)

Mediante el modelo HEC-HMS, se pudo simular la respuesta hidrológica que tiene la subcuenca y microcuenca con relación al escurrimiento superficial, producto de la precipitación, mediante la representación de la subcuenca y microcuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos.

6.6.8.1. Modelamiento Hidrológico de la subcuenca Vilcabamba.

Con relación al modelamiento hidrológico en HEC- HMS se consideró conveniente simular el comportamiento particular de la subcuenca Vilcabamba (figura 6.36), caracterizándolo particularmente por sus afluentes principales, el río Cayaro y Tacuyoc.

Figura 88

Subcuenca Vilcabamba.



Fuente: Elaboración propia.

El modelamiento hidrológico requiere tres campos fundamentales que son:

- a. las características de la subcuenca

Tabla 47

Características de la subcuenca Vilcabamba.

COD	Área (km ²)	la	CN	Tiempo de retardo
4B	86.0162	27.3500	65.0000	1.8445
5B	102.7156	27.3500	65.0000	1.5702

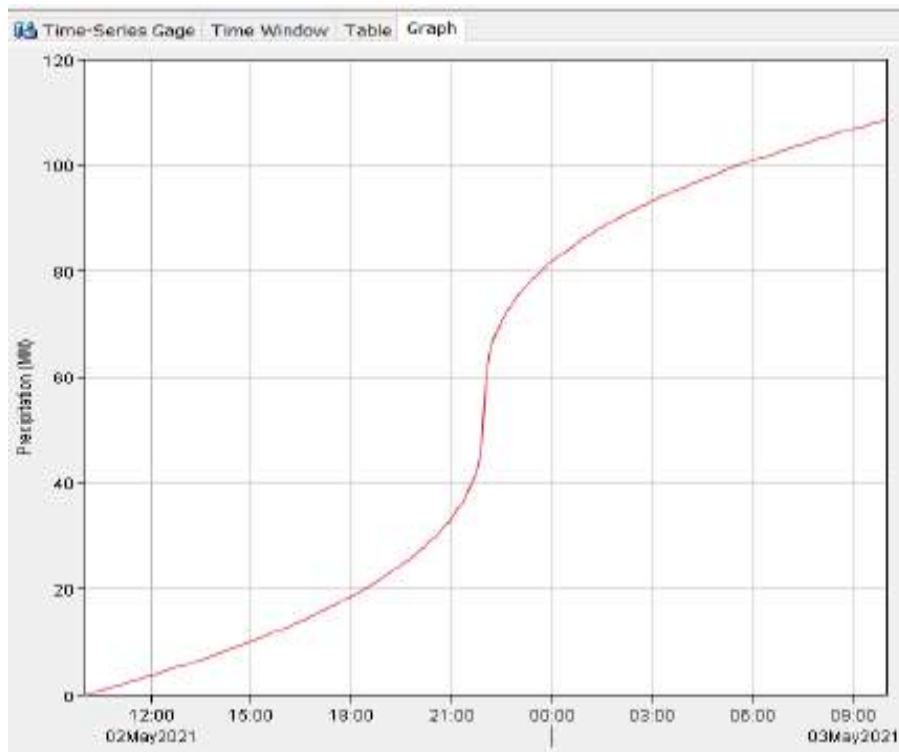
Fuente: Elaboración propia.

- b. Características meteorológicas del modelo hidrológico, Hietograma, Curva S.

Para la modelización se hizo uso de patrón de tormentas generado a partir del hietograma, patrón de tormenta que se muestra en la siguiente figura.

Figura 89

Patrón de tormenta ingresado en HEC-HMS.



Fuente: Elaboración propia.

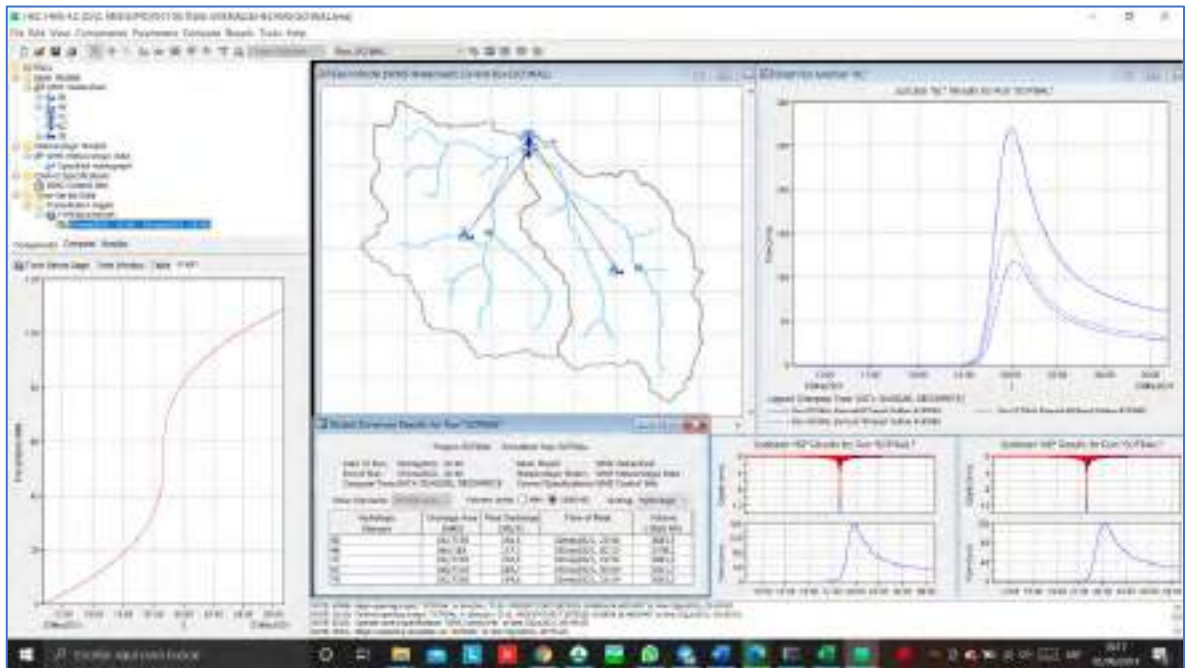
c. Control de tiempo de la simulación.

Con relación a este parámetro es el tiempo que durara la simulación que para el presente estudio se consideró un lapso de 24 horas.

Una vez ingresado los componentes del sistema de la subcuenca Vilcabamba en el modelo hidrológico, se procede a realizar la simulación del modelo propiamente dicho para un periodo de retorno de 100 años (figura 6.2). A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación.

Figura 90

Simulación del modelamiento hidrológico, subcuenca Vilcabamba en HEC-HMS.



Fuente: Elaboración propia.

los resultados obtenidos, que se muestran en la figura 6.3 nos indican que se tiene un caudal pico para imperio de retorno de 100 años de 269.7 m³/s, el cual es el caudal pico producto sus dos principales afluentes, los cuales generan 154 m³/s y 117m³/s.

Figura 91

Resultados de la simulación del modelamiento hidrológico.

Project: SCFINAL Simulation Run: SCFINAL				
Start of Run: 02may2021, 10:00		Basin Model: WMS Watershed		
End of Run: 03may2021, 10:06		Meteorologic Model: WMS Meteorologic Data		
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications: WMS Control Info		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	<input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
5B	102,7156	154,6	02may2021, 23:54	28,07
7C	102,7156	154,6	02may2021, 23:54	28,07
7R	102,7156	154,6	02may2021, 23:54	28,07
4B	86,0162	117,3	03may2021, 00:12	27,65
6C	188,7318	269,7	03may2021, 00:00	27,88

Fuente: elaboración propia

6.6.8.2. Modelamiento Hidrológico de la microcuenca Huaychaumarca.

Con relación al modelamiento hidrológico en HEC- HMS se consideró conveniente simular el comportamiento particular de la microcuenca Huaychaumarca, considerando que esta presenta un área de 7.07km², (figura 6.4)

Figura 92

Microcuenca Huaychaumarca.



Fuente: Elaboración propia.

El modelamiento hidrológico requiere tres campos fundamentales que son:

- a. las características de la subcuenca, tabla.

Tabla 48

Características de la microcuenca Huaychaumarca

COD	Área (km ²)	la	CN	Tiempo de retardo
1B	7.07	27.3500	65.0000	0.8116

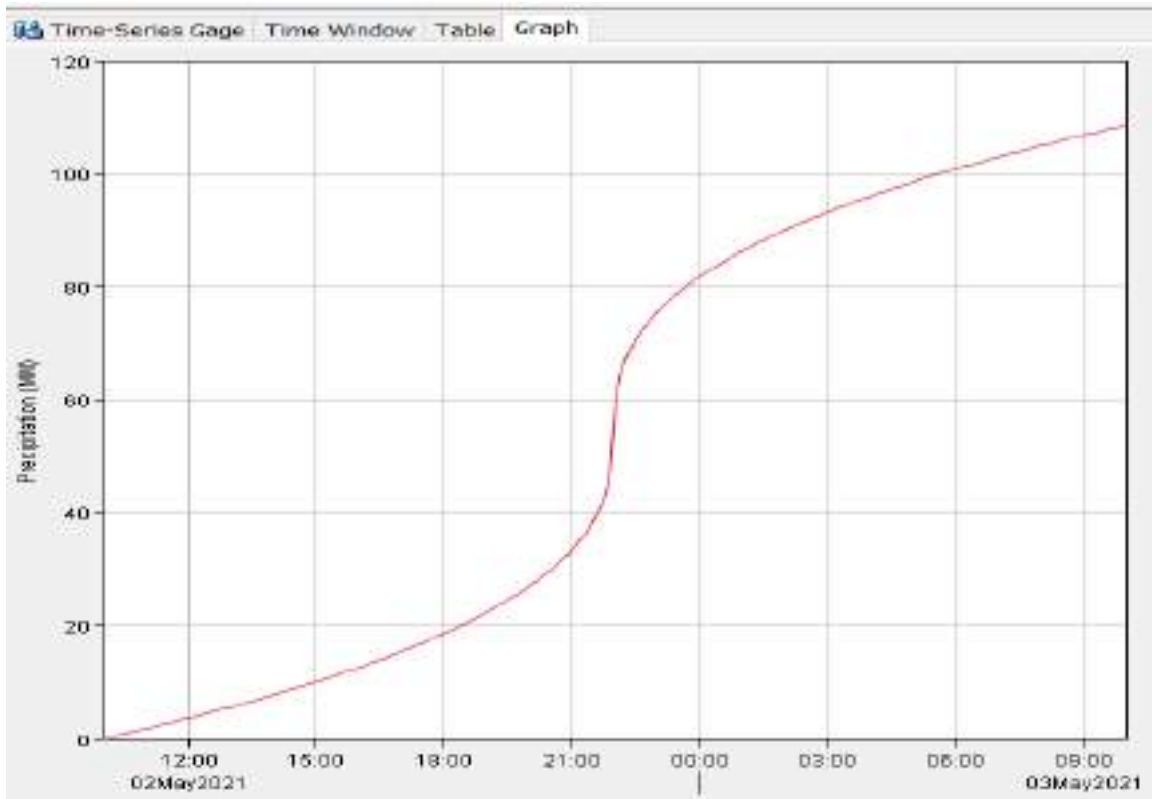
Fuente: Elaboración propia.

- b. Características meteorológicas del modelo hidrológico, Hietograma, Curva S.

Para la modelización se hizo uso de patrón de tormentas generado a partir del hietograma, patrón de tormenta que se muestra en la siguiente figura.

Figura 93

Patrón de tormenta ingresado en HEC-HMS.



Fuente: Elaboración propia.

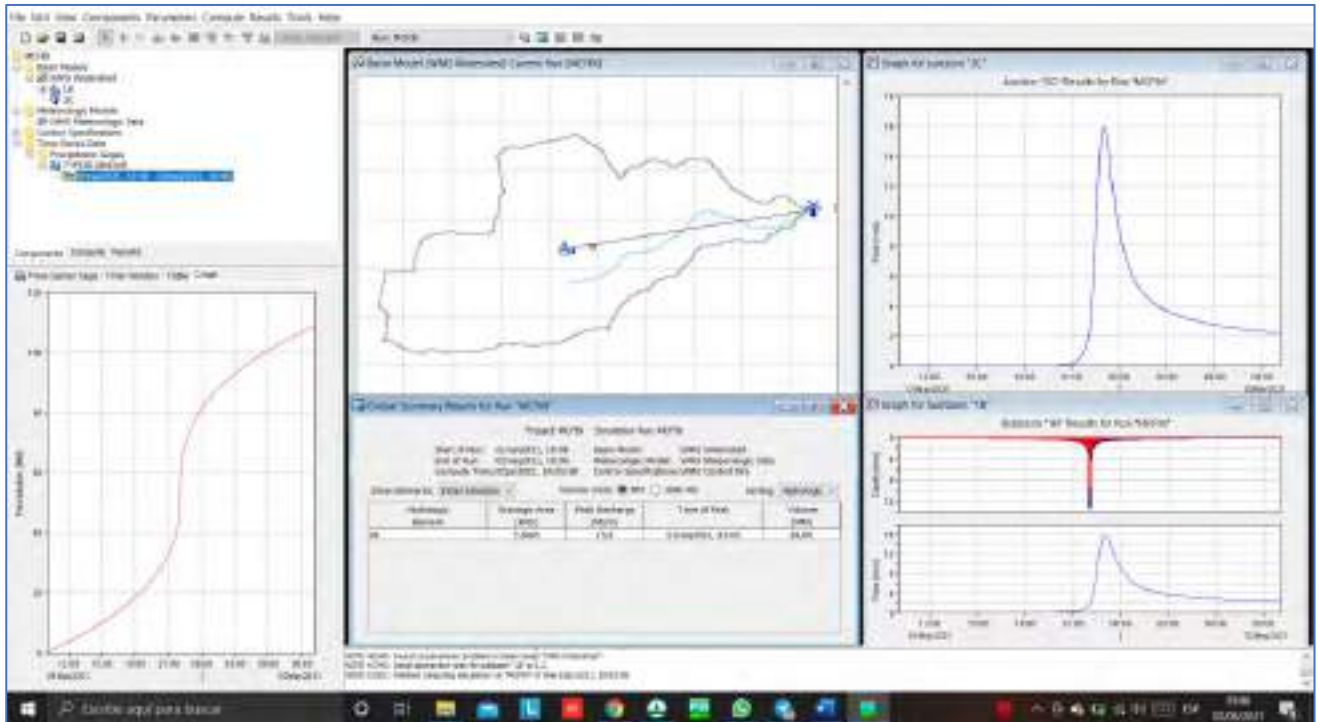
c. Control de tiempo de la simulación.

Con relación a este parámetro es el tiempo que durara la simulación que para el presente estudio se consideró un lapso de 24 horas.

Una vez ingresado los componentes del sistema de microcuenca Huaychaamarca en el modelo hidrológico, se procede a realizar la simulación del modelo propiamente dicho para un periodo de retorno de 100 años (figura 6.41). A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación.

Figura 94

Simulación del modelamiento hidrológico de la microcuenca Huaychaumarca en HEC-HMS.



Fuente: Elaboración propia.

los resultados obtenidos, que se muestran en la figura 6.4 nos indican que se tiene un caudal pico para imperio de retorno de 100 años de 15.9 m³/s.

Figura 95

Resultados de la simulación del modelamiento hidrológico.

Project: MCFIN Simulation Run: MCFIN

Start of Run: 01may2021, 10:06 Basin Model: WMS Watershed
 End of Run: 02may2021, 10:06 Meteorologic Model: WMS Meteorologic Data
 Compute Time: 02jun2021, 19:05:58 Control Specifications: WMS Control Info

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
1B	7,0665	15,9	01may2021, 23:00	29,08

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

7.1. Generalidades.

Este estudio tiene la finalidad de realizar un análisis, para determinar las propiedades y calidad del material con el que está conformado el terreno, Posteriormente este tendrá la función principal de poder soportar las carga. Para realizar este trabajo se siguió recomendaciones y normas realizando un reconocimiento anterior al área de estudio. Posteriormente se procedió a realizar dicho estudio.

7.2. Normatividad

Norma E - 050, Reglamento Nacional de construcciones para Suelos y Cimentaciones.

7.3. Estudio de suelos

Se realizó excavación manual 1 calicata en las riberas del rio cayara y 2 calicatas en las riberas del rio Vilcabamba esta excavación se realizó según la norma técnica ASTM D420.

las 3 calicatas son excavadas a cielo abierto hasta de 1.5 hasta 2.0 metros de profundidad, para dicha excavación se utilizó las siguientes herramientas como picos, palas, barretas y combas) y también se realizó auscultaciones con Penetrómetro Dinámico ligero (PDI –DIN 4094)

Tabla 49

Ubicación de calicatas

CENTRO POBIADO	NOMBRE	CODIGO	COORDENDAS UTM		UBICACIÓN
			N	E	
Huancacalle	Calicata 1	C-PTO-02	8549362.67	723795.49	Margen derecho
	Calicata 3	C-PTO-3-1B	8549242.6	723710.77	Margen izquierdo
Pucy-Habas	Calicata 2	C-PTO-05	8551447.63	723872.59	Margen derecho

Ilustración: elaboración propia

las franjas donde se proyectan las defensas ribereñas presentan suelos similares geológicamente por lo que se determinó 3 puntos de excavación de terreno para realizar el estudio de las calicatas, las cuales están ubicadas tanto a la margen derecha e izquierda del rio Vilcabamba y a la margen derecha del rio huaychaumarca

7.3.1 Trabajos realizados de calicatas in-situ

7.3.1.1. calicata N°01: Con código C-PTO-02, está ubicada en la margen derecha del rio Vilcabamba y presenta una profundidad de exploración de 2m con PDI.

7.3.1.2 calicata N°02: Con código C-PTO-03-B, está ubicada en la margen izquierda del rio Vilcabamba, presenta una profundidad de 1.7mts y una sección regular de 1x1.50 m. como también presenta una profundidad de exploración de 2 m. con PDI.

7.3.1.3 calicata N°03: Con código C-PTO-05, está ubicada en la margen derecha del rio Cayara se aprovechó la excavación realizada por una maquinaria pesada. El punto de estudio presenta de 2.20 m. de profundidad como también presenta una profundidad de exploración de 2 m. con PDI.

7.3.2. Trabajo de Auscultación con PDI in-situ

Es la resistencia de la penetración de un suelo. Para este ensayo se utiliza un penetrómetro, este ensayo consiste en contar el número de golpes y midiendo la profundidad en mm, los cuales se registran en un formato de apuntes, Este proceso se debe repetir hasta alcanzar la máxima profundidad de muestreo, se realizó en material cuaternario de la zona de estudio el cual presenta fragmento de materiales rocosos sub angulosos y redondeados a continuación se muestra las auscultaciones ejecutadas las calicatas.

7.3.2.1. Auscultación en la calicata N°01: Se obtiene que la penetración promedio hasta los 50cm es 3 golpes, la penetración promedio de los 50cm hasta 1m es 5 golpes y penetración de 1m hasta 1.60m presenta un promedio 5 golpes.

7.3.2.2. Auscultación en la calicata N°02: Se obtiene que la penetración promedio hasta los 50cm es 5 golpes, la penetración promedio de los 50cm hasta 1m es 6 golpes y penetración de 1m hasta 1.60m presenta un promedio 6 golpes.

7.3.2.3. Auscultación en la calicata N°03: Se obtiene que la penetración promedio hasta los 50cm es 3 golpes, la penetración promedio de los 50cm hasta 1m es 5 golpes y penetración de 1m hasta 1.60m presenta un promedio 5 golpes.

Figura 96

Calicata 01,02 y 03 con su respectivo ensayo con PDI



Fuente: Elaboración propia

7.3.3. Trabajos realizados en laboratorio

Con datos y muestras obtenidos del trabajo de campo se procedió a realizar un estudio de suelos determinando sus características físicas y mecánicas, este procedimiento comprende los siguientes ensayos de laboratorio.

Tabla 50

Características físicas y mecánicas de los suelos

ENSAYO	NORMAS
Determinación contenida de humedad	MTC E 108, ASTM D 2216
Análisis Granulométrico por tamizado.	MTC E 107 (ASTM-D-422)
Determinación del contenido de humedad.	MTC E 108 (ASTM-D-2216)
Determinación del límite líquido.	MTC E 110 (ASTM-D-423)
Determinación del límite plástico.	MTC E 111 (ASTM-D-424)
Clasificación de SUCS	ASTM-D-2487
Clasificación AASTHO	ASTM-D-3282

Fuente: Elaboración propia basado en la norma E-050 reglamento nacional de construcciones

7.3.3.1 Procedimiento para la determinación de propiedades físicas

7.3.3.1.1. Determinación de contenido de humedad

Se realiza cuarteo de muestra para enseguida proceder a secar la muestra, el resultado es la división del peso de la tara más la muestra húmeda sobre la tara, más una muestra seca, menos el peso de la cápsula, y al multiplicar por 100 obtendremos el porcentaje.

Figura 97

Cuarteo de muestra y peso de material seco



Fuente: Fotografía tomada por el autor

7.3.3.2 Ensayo de granulometría

Este ensayo nos permite identificar el peso de diferente tamaño de material presente que forma una masa de suelo, para este análisis se utilizó Tamices N° 2", 11/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", 10, 20, 40, 80, 100 y 200, el procedimiento consiste en realizar un cuarteo enseguida se pesa y se procede a realizar un lavado de los materiales finos posteriormente se hace secar y de igual manera se pesa el material seco para luego verter en tamices de diferentes tamaños y por último se prosigue a pesar los materiales retenidos en cada tamiz.

La calicata 01 presenta 47.6% de grava, 35.5% de arena y 16.7% de finos por lo que es un suelo GM de igual manera la calicata 02 presenta 56.6% de grava, 28.4% de arena y 14.4% de

finos por lo que es un suelo GM, por último la calicata 03 presenta 18.7% de grava, 20.9% de arena y 60.45 de finos por lo que es un suelo MI

Figura 98

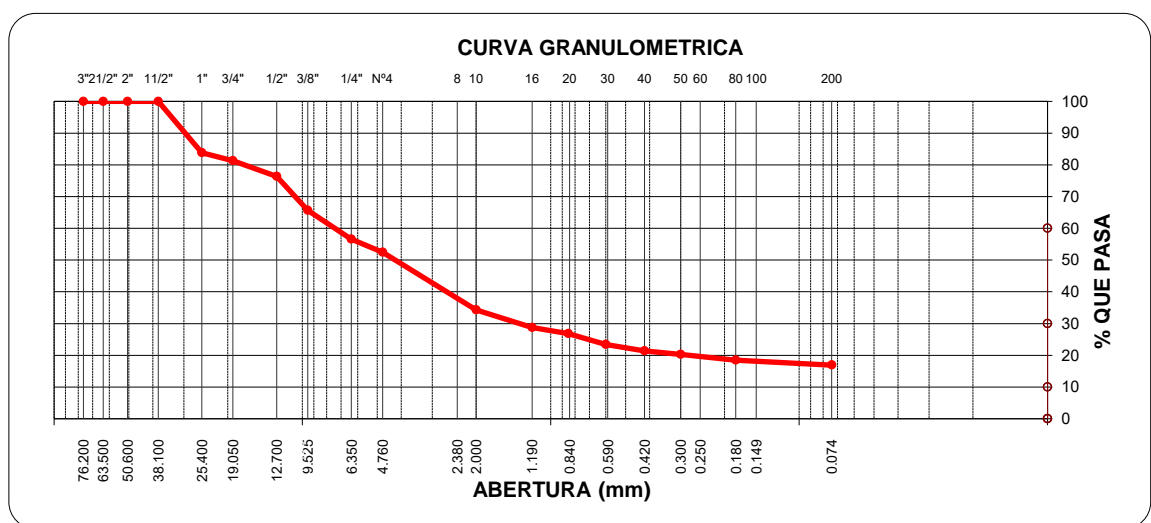
Clasificación de granulometría



Fuente: Elaboración propia

Figura 99

Curva granulométrica de la calicata 01



Fuente: propia

7.3.3.3. Determinación de límites de consistencia o de Atterberg.

7.3.3.3.1. limite plástico y limite plástico

Para el límite líquido se utilizó una copa de Casagrande, una espátula y un ranurador, consiste en trabajar al material que pasa la malla número 40, se realiza una ranura al material que se colocó al equipo de Casagrande y luego se golpeará hasta que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto. El límite plástico se utilizará una plancha de vidrio esmerilado en el cual se comienza a realizar pequeños rollitos hasta que el material pierda su humedad y se presente pequeñas rayaduras.

Figura 100

Ensayo de limite líquido y limite plástico.



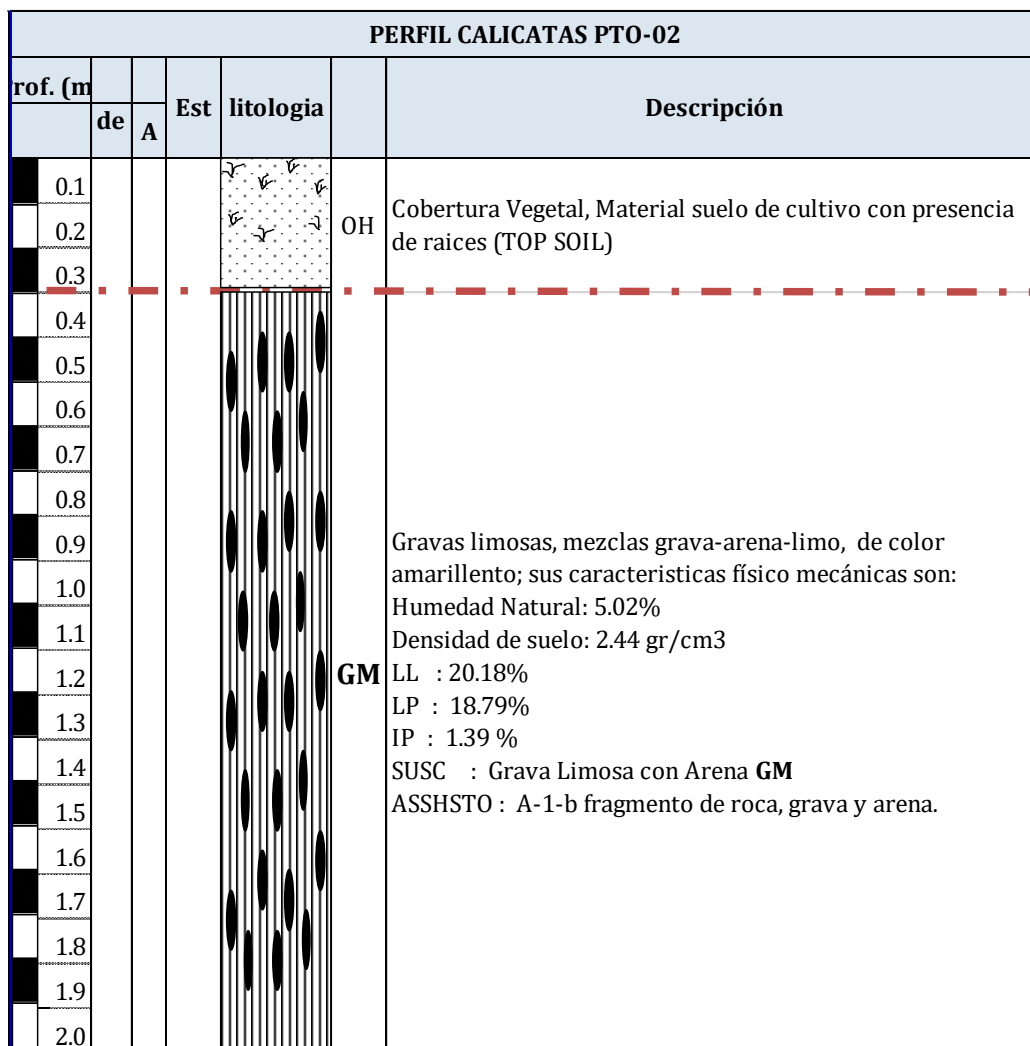
Fuente: Fotografía tomada por el autor

7.3.4. Descripción estratigráfica de calicata N°01:

El primer estrato que abarca de 0 a 0.3 m. de este compuesto por suelo limo arcilloso de alta plasticidad es un suelo OH en el sistema SUSC. El segundo estrato está compuesto por grava limosa con mezcla de grava arena y limo que representa al suelo A-1-b en el sistema ASSHTO y presenta una relación con el cauce del río de que la erosión y socavación será constante con pérdida de suelos de los márgenes en poca cantidad por el tipo de suelo que presenta por lo que es necesario su protección de las riberas.

Figura 101

Perfil de calicata 01



Fuente: Elaboración propia con plantilla de la consultora APUCORI INGENIERIA & CONSULTORIA SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - APUCORI S.A.C.

7.3.5. Descripción estratigráfica de calicata N°03:

El primer estrato que abarca de 0 a 0.2 m. de este compuesto cobertura vegetal, material de cultivo con presencia de raíces por ende es un suelo OH en el sistema SUSC. El segundo estrato está compuesto por grava limosa con mezcla de grava arena y limo de color pardo rojizo que representa al suelo A-1-a en el sistema ASSHTO y presenta una relación con el cauce del río de que la erosión y socavación será constante con pérdida de suelos de los márgenes en poca cantidad por el tipo de suelo que presenta por lo que es necesario su protección de las riberas.

Figura 102

Perfil de calicata 03

PERFIL CALICATAS PTO-3-1B					
rof. (m)	de	A	Est	litología	Descripción
0.1					Cobertura Vegetal, Material suelo de cultivo con presencia de raíces
0.2					
0.3					Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo. de color pardo rojizo; sus características físico mecánicas son: Humedad Natural: 15.87% Densidad de suelo: 1.91 gr/cm3 LL : 31.15% LP : 30.15% IP : 1.00 % SUSC : Grava Limosa con Arena GM ASSHSTO : A-1-a fragmento de roca, grava y arena.
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.6					
1.7					
1.8					
1.9					
2.0					

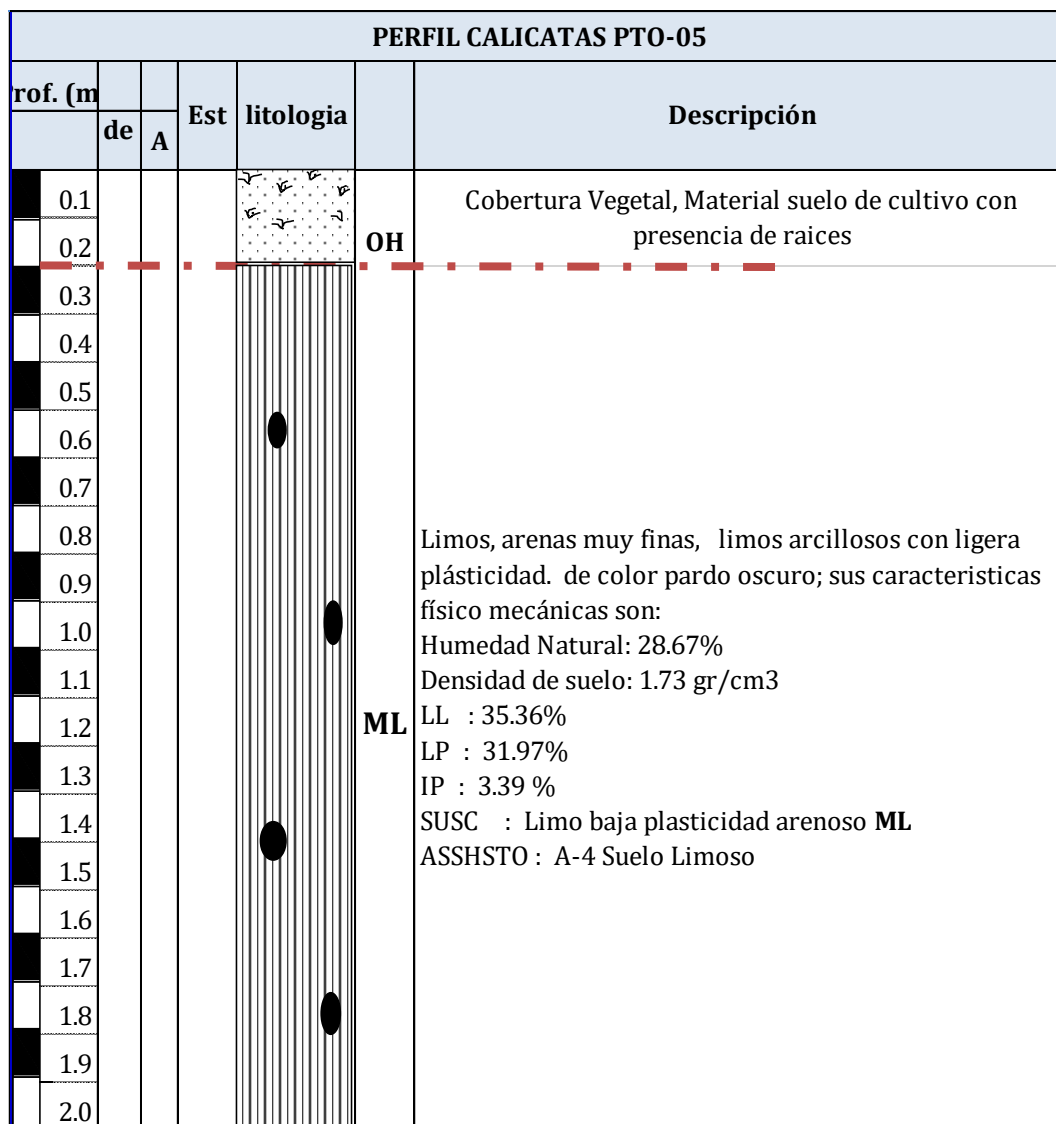
Fuente: Elaboración propia con plantilla de la consultora APUCORI INGENIERIA & CONSULTORIA SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - APUCORI S.A.C.

7.3.6. Descripción estratigráfica de calicata N°02:

El primer estrato que abarca de 0 a 0.2 m. de este compuesto cobertura vegetal, material de cultivo con presencia de raíces por es un suelo OH en el sistema SUSC. Está conformado por arenas, limos y arcillas con ligera plasticidad, representa a un suelo A-4 en el sistema ASSHTO y presenta una relación con el cauce del río de que la erosión y socavación será constante con pérdida de suelos en mayor cantidad de los márgenes por el tipo de suelo que presenta por lo que es necesario su protección de las riberas.

Figura 103

Perfil de calicata 02



Fuente: Elaboración propia con plantilla de la consultora APUCORI INGENIERIA & CONSULTORIA SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - APUCORI S.A.C.

7.4. Análisis de canteras

Tabla 51

la ubicación de canteras para protección de riberas con gaviones

CENTRO POBIADO	NOMBRE	CODIGO	COORDENDAS UTM		UBICACIÓN
			N	E	
Huancacalle	CANTERA	CANTERA	8549378.63	723613.06	Oeste de huancacalle

Fuente: Elaboración propia

Para la explotación de esta cantera se debe tener las siguientes actividades a ejecutar y los equipos que se necesitarán.

Debe realizarse una limpieza de la desmonte y material orgánico.

Debe realizarse una extracción responsable.

Debe realizarse una preparación para su posterior clasificación.

Debe considerarse que se realizará transporte.

Debe considerarse el carguío y transporte tractor oruga o cargador frontal.

Se debe contar con retroexcavadoras.

Figura 104

Material de cantera



Fuente: Fotografía tomada por el autor

7.4.1 Descripción de cantera

Se tomo en cuenta el muestro correcto para su posterior análisis de los ángelos por lo cual nos indica que su porcentaje de descaste que está por debajo del 30% lo que indica que es una buena cantera y es óptimo para la explotación de material para la posible elaboración de gaviones donde el tamaño de piedras debe ser como mínimo más del 50% de la abertura de la malla que se utilice.

Prueba de desgaste de abrasión de los ángeles: 23.2% se analizó 5.3 kilos de muestra de la cuales, retenido por la malla N°12 es 3838 kg y que pasa por la malla N°12 es 1662.3kg, en este ensayo se utilizó 12 esferas.

7.4.2 Ubicación de canteras para protección de riberas con gaviones o enrocados utilizando los materiales de cantos rodados.

Están ubicados alrededor y en las riberas del rio Vilcabamba y rio Huaychaamarca, presenta un diámetro promedio de 1.00 m. en el rio Vilcabamba y en el río Cayara, presenta un diámetro de 80 cm., Para el aprovechamiento de este material se debe tener en cuenta una retroexcavadora. A este mismo material realizándole una clasificación se puede utilizar en la ejecución de gaviones.

Figura 105

Cantos rodados para las posibles utilizaciones en gaviones o enrocados en el rio Vilcabamba.



Fuente: Elaboración propia

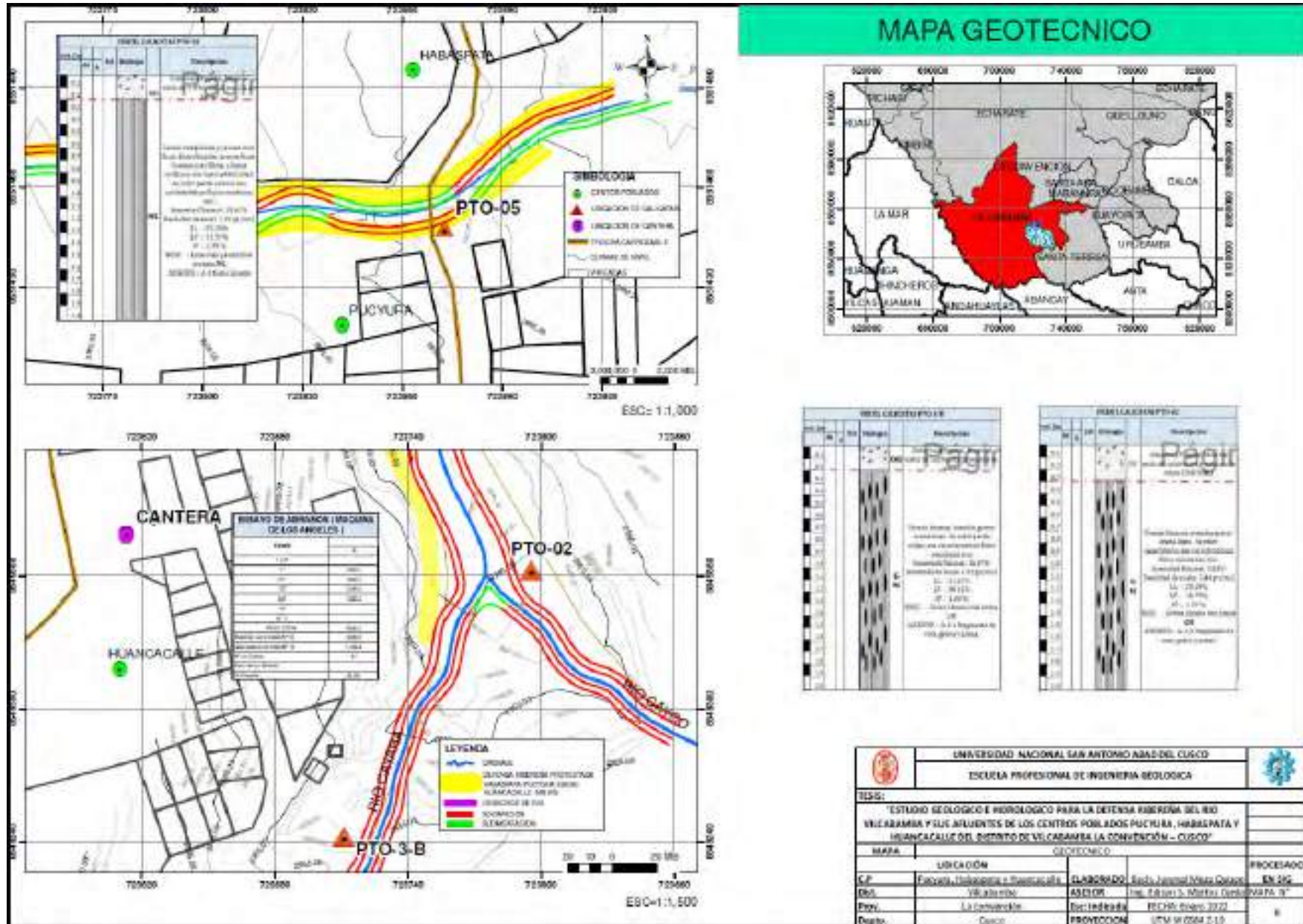
Figura 106

Cantos rodados para posibles utilizaciones en gaviones o enrocados en el rio Cayara



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 107: Mapa Geotécnico



CAPÍTULO VIII ALTERNATIVAS DE DEFENSA RIBEREÑA PROPUESTAS

Las obras de defensa ribereña son ideales para poder proteger los márgenes de los ríos y generar un cause principal del río para posteriormente aprovechar los terrenos de los márgenes. los ríos son ecosistemas muy variables y delicados que se pueden desestabilizar completamente producto de malas intervenciones, por lo que se debe invertir tiempo y dinero en los estudios previos.

Para estas alternativas se presenta un mapa de desborde, erosión y socavación, del río de Vilcabamba y huaychaumarca, la coloración amarilla son las zonas que requieren protección de riberas ya que estas áreas presentan mayor erosión y socavamiento, en el sector de huancacalle se recomienda realizar una protección de riberas en su mayor parte el margen izquierdo y en menor cantidad la margen derecha haciendo una distancia de 568ml de obra y en el río huaychaumarca se recomienda realizar una protección de riberas de ambos márgenes que corresponden a 358ml de obra beneficiara a los 2 centros poblados de habaspata y huancacalle. Para la protección de estas riberas se recomienda realizar defensa ribereña con gaviones o enrocado siendo de mayor viabilidad protección de riberas con enrocados debido a la presencia de material para su ejecución y al costo económico.

8.1. Gaviones

Los gaviones que son cajas de alambre galvanizado, armadas in situ y rellenas con piedras que usualmente son obtenidas del lecho del río y en ocasiones extraídas de canteras. Con la superposición de estos elementos se logra la conformación de muros tipo gravedad, de características permeables y flexibles. Dentro de las ventajas de este elemento de protección es que resulta siendo una buena solución en lugares donde no existe o resulta muy costoso la explotación, traslado y colocación de fragmentos de roca para los enrocados. Así mismo, se indica que requieren de filtros para evitar pérdida de sustratos y hundimientos. En la figura siguiente se muestra una alternativa de la configuración de una defensa ribereña usando gaviones para el río de Vilcabamba o Huaychaumarca.

8.1.1. Gavión

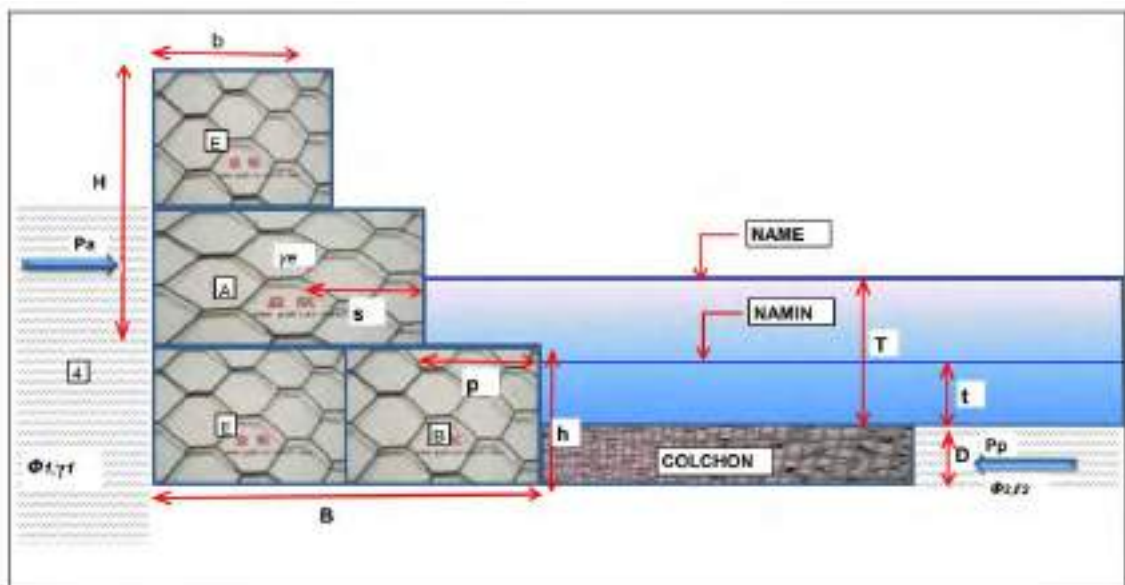
Este gavión presenta una forma escalonada de uno de los lados, como también presenta un colchón para evitar el asentamiento de esta estructura, este gavión es recomendable para el río Vilcabamba y el río Huaychaamarca.

8.1.2. Colocado de gavión en situ

Consiste en colocar material de cantera o cantos rodados del río en cada caja de gavión para posteriormente coserlo, de igual manera, realizar un enrocado con piedras de un diámetro de material por encima de los 80 cm. en el hastial izquierdo del gavión, de igual forma, realizar la compactación de material seleccionado alrededor izquierdo del gavión.

Figura 108

Obra de protección por gaviones TIPO I



Fuente: Unidad formuladora de la municipalidad distrital de Vilcabamba.

8.1.3. Delimitación de espacio para colocado de gaviones en el río Huaychaamarca para un periodo de retorno de caudal máximo en 100 años.

El cálculo se realizó con el software de diseño hidráulico HEC RAS 4.1.0, para lo cual se utilizó los siguientes datos:

Caudal Maximo: 15.9 m³/s

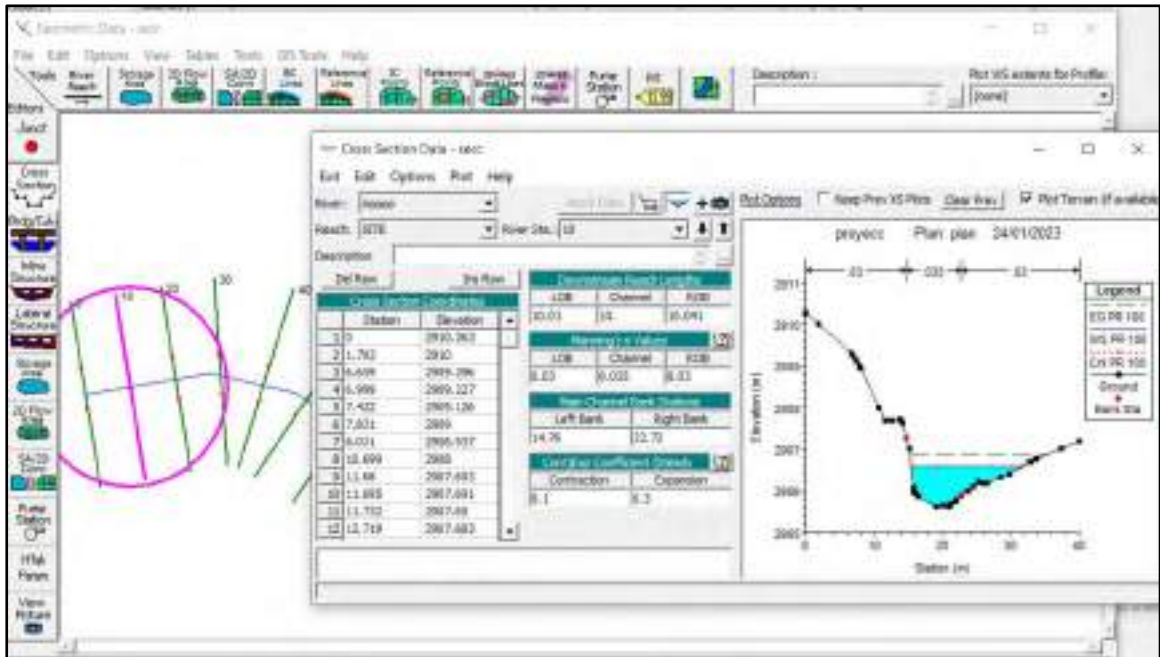
Coefficiente de Manning: Mínimo=30, Normal=35, máximo=40

Pendiente de río: 20.80 %

“ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION –CUSCO”

Figura 109

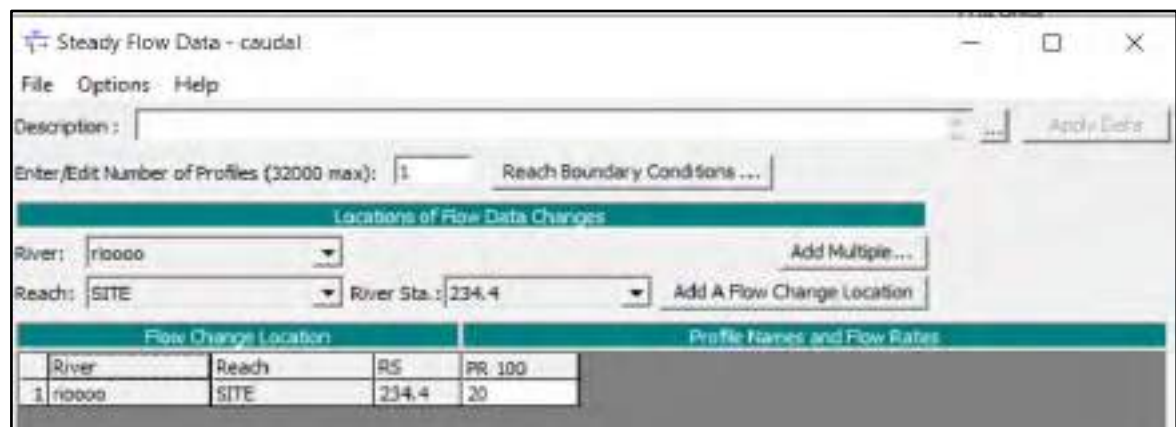
Digitalización de coeficiente de rugosidad e importado de secciones transversales del río



Fuente: Propia

Figura 110

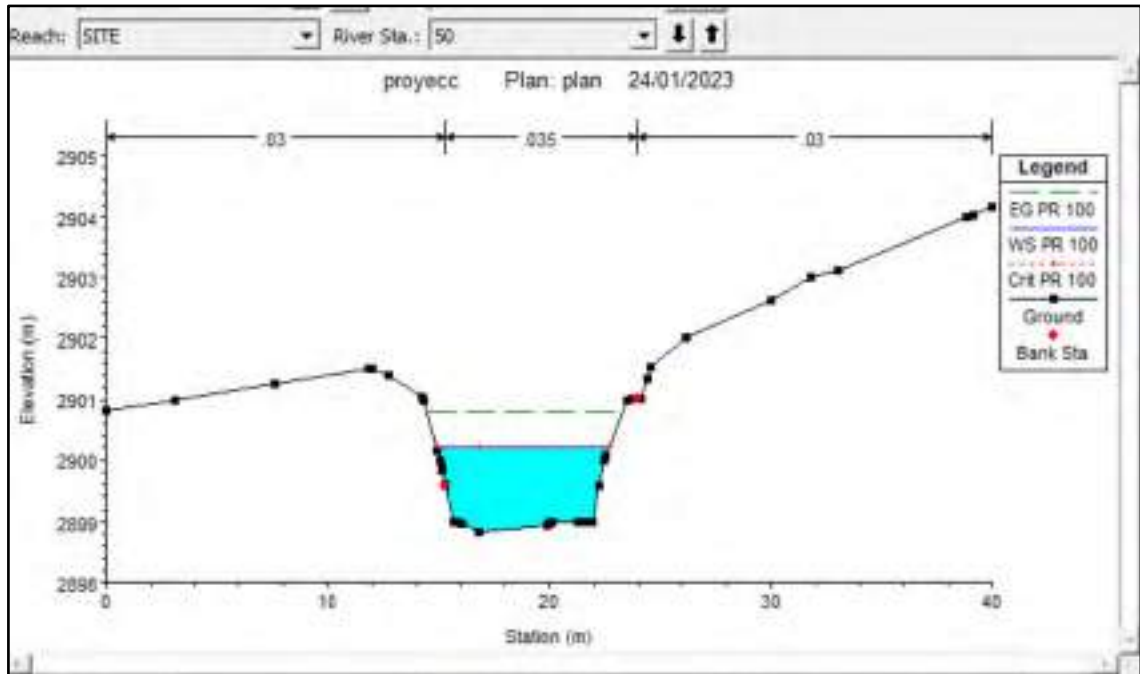
Digitalización de caudal máximo y pendiente de río para un periodo de retorno de 100 años



Fuente: Propia

Figura 111

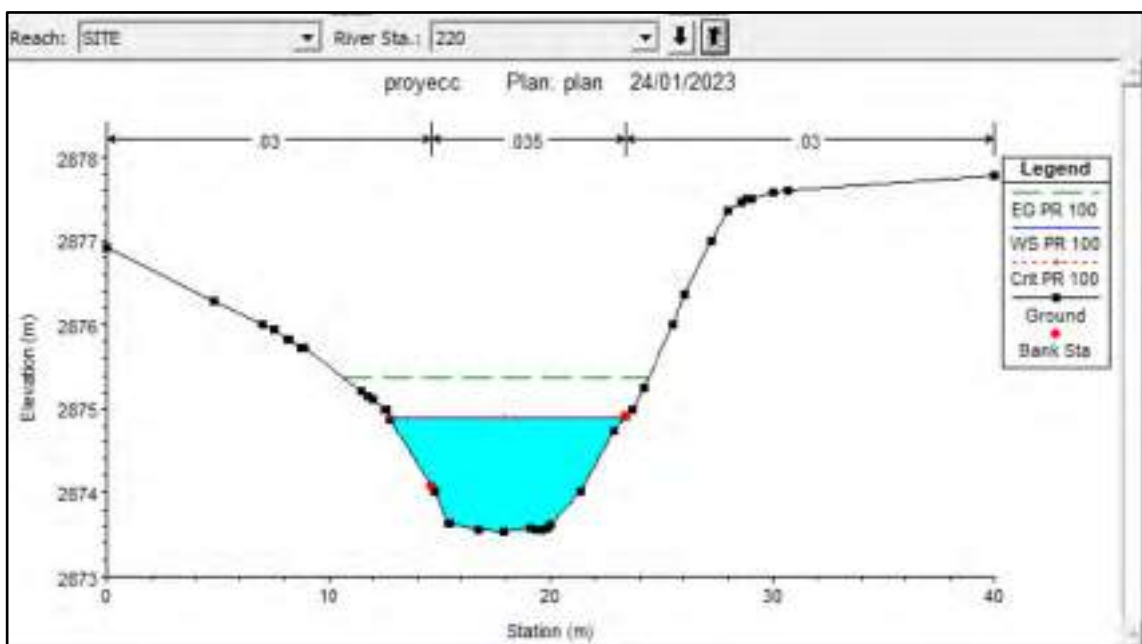
Sección transversal de la progresiva con un ancho de 9 metros y altura de 2 metros incluyendo su tirante.



Fuente: Propia

Figura 112

Sección transversal de la progresiva 220 que corresponde al corte A-A' con un ancho de 10 metros y altura de 2 metros incluyendo su tirante.



Fuente: Propia

Figura 113

Obra de protección por gaviones para protección de erosión y socavación para el río Huaychaumarca



Fuente: Elaboración propia

8.1.3. Delimitación de espacio para colocado de gaviones en el río Vilcabamba para un periodo de retorno 100 años

El cálculo se realizó con el software de diseño hidráulico HEC RAS 4.1.0 Para lo cual se utilizó los siguientes datos:

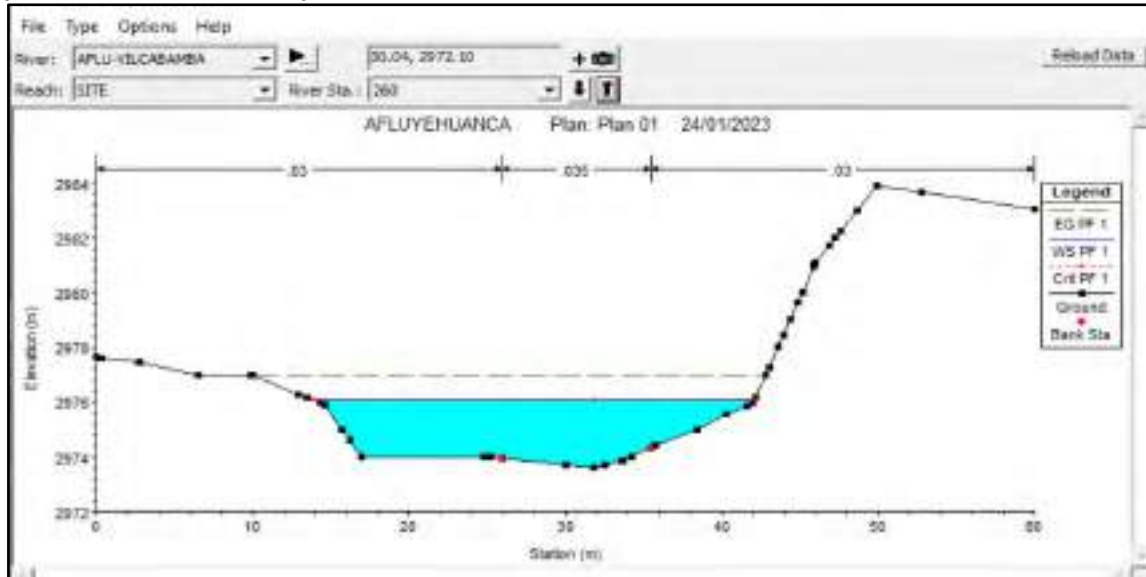
Caudal Máximo: 155.0 m³/s

Coefficiente de Manning: Mínimo=30, Normal=35, máximo=30

Pendiente de río: 17.80 %

Figura 114

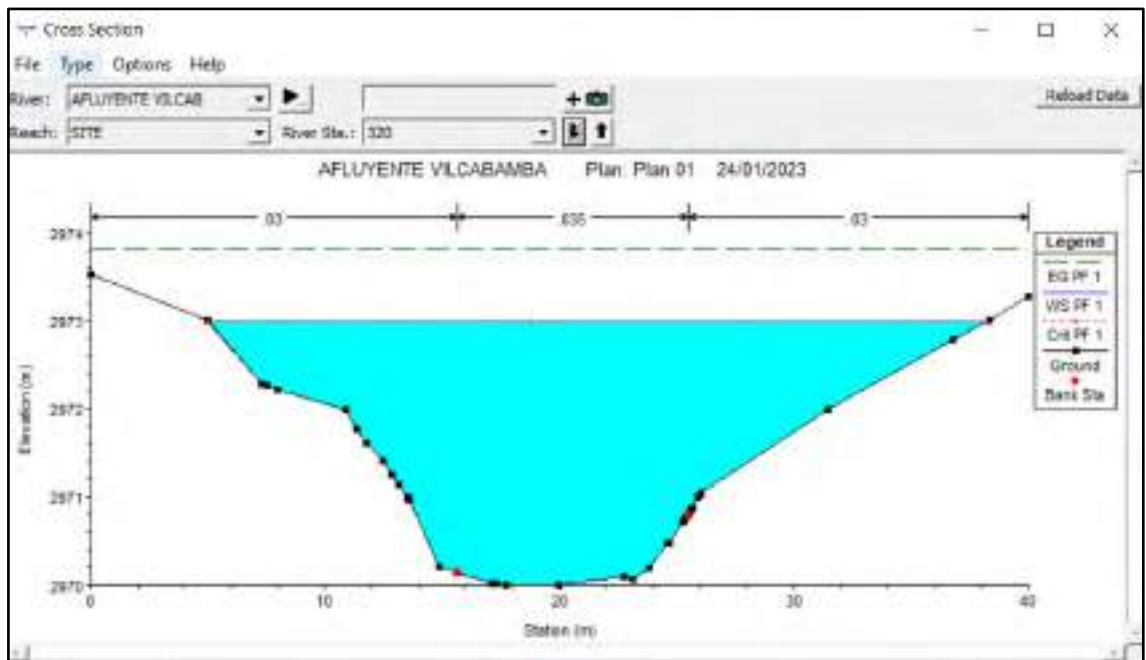
Sección trasversal de la progresiva 260 correspondiente al corte A-A' con un ancho de 28 metros y altura de 3 metros incluyendo su tirante.



Fuente: Elaboración propia

Figura 115

Sección trasversal de la progresiva 320 correspondiente al corte B-B' con un ancho de 30 metros y altura de 4 metros incluyendo su tirante.



Fuente: Propia

Figura 116

Obra de protección por gaviones para protección de la erosión y socavación de una margen, para el río de Vilcabamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 117

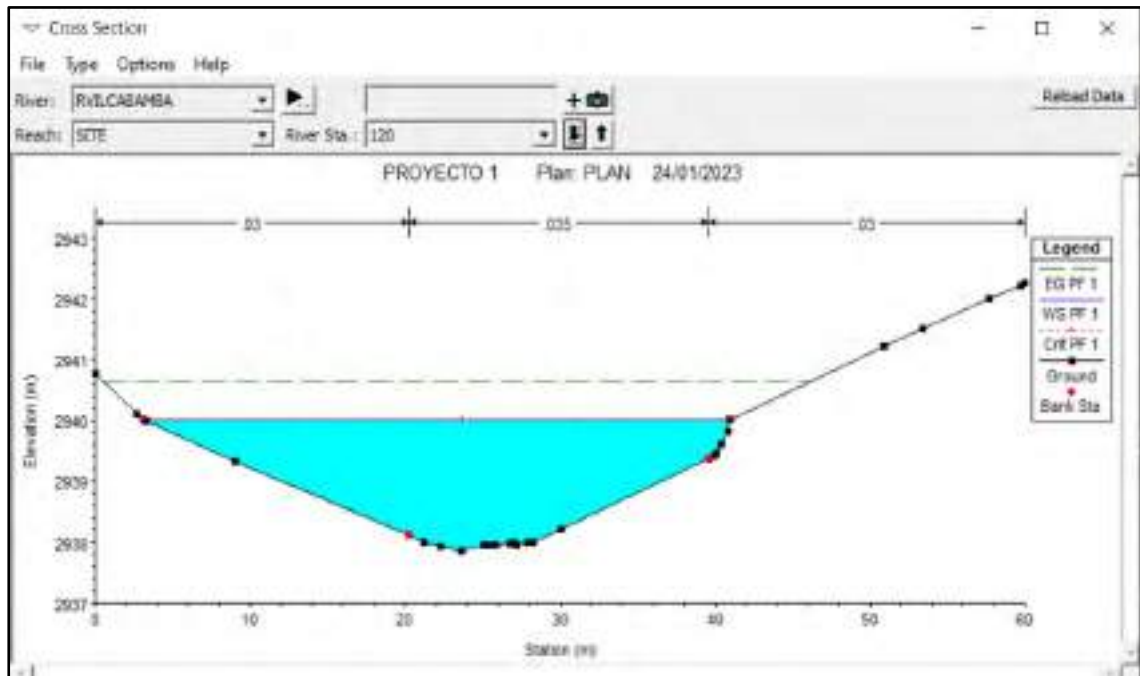
Obra de protección ribereña para la erosión y zonas de desbordamiento en el río de Vilcabamba para ambas márgenes.



Fuente: Elaboración propia

Figura 118

Sección transversal del río Vilcabamba para un caudal $280\text{m}^3/\text{s}$ de la progresiva 120 con un ancho de 38 metros y altura de 5 metros incluyendo su tirante que corresponde al corte C-C’



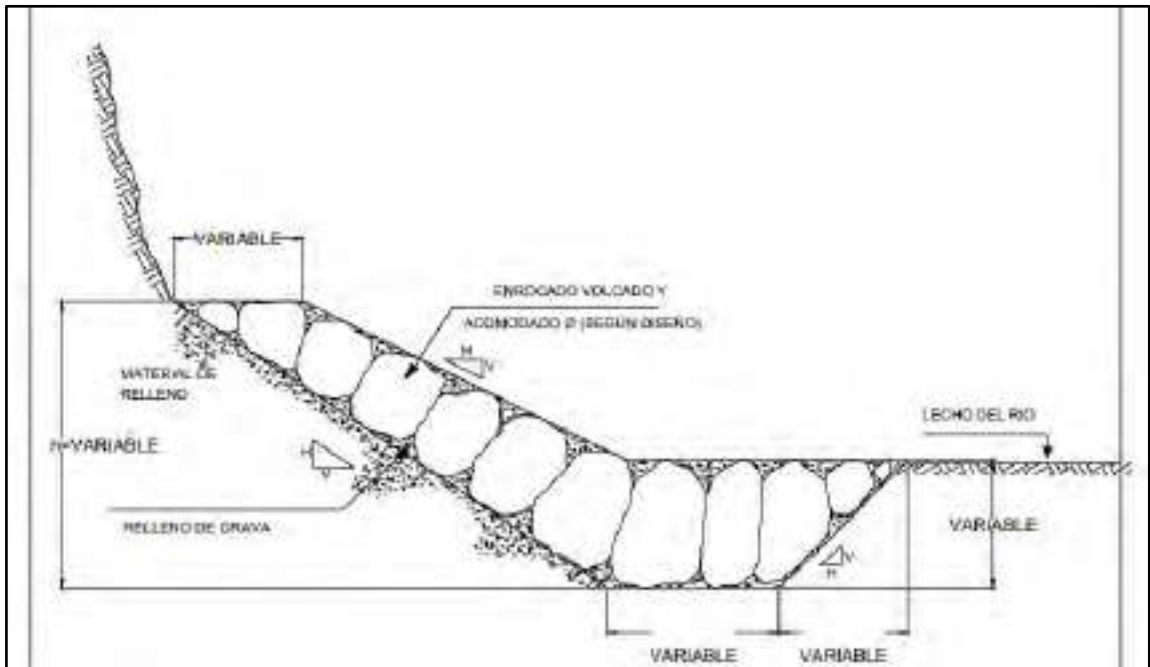
Fuente: Elaboración propia

8.2. Enrocado ciclópeo

Son estructuras las cuales son conformadas en base a los bloques que arrastro el río, consiste en realizar muros de roca y que este relleno por gravas. para la protección de riberas del proyecto este método es el más económico, ya que en la zona de estudio se presenta material de rocas con diámetros promedio de 80 cm.

Figura 119

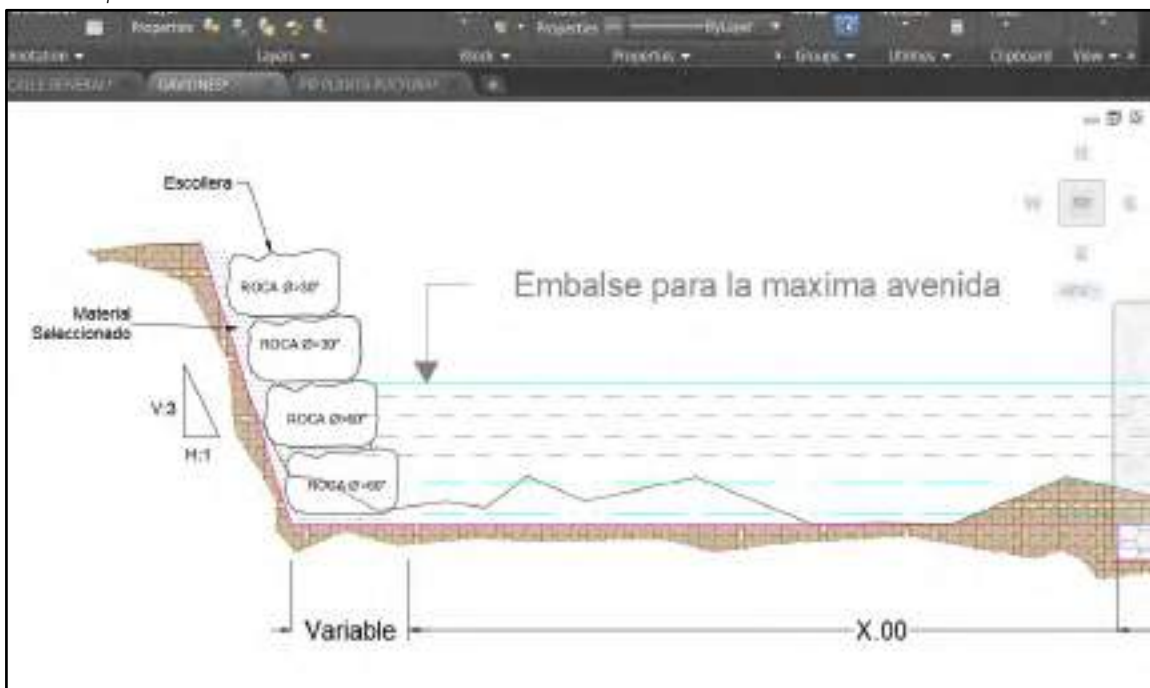
Sección típica de enrocado de protección.



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.

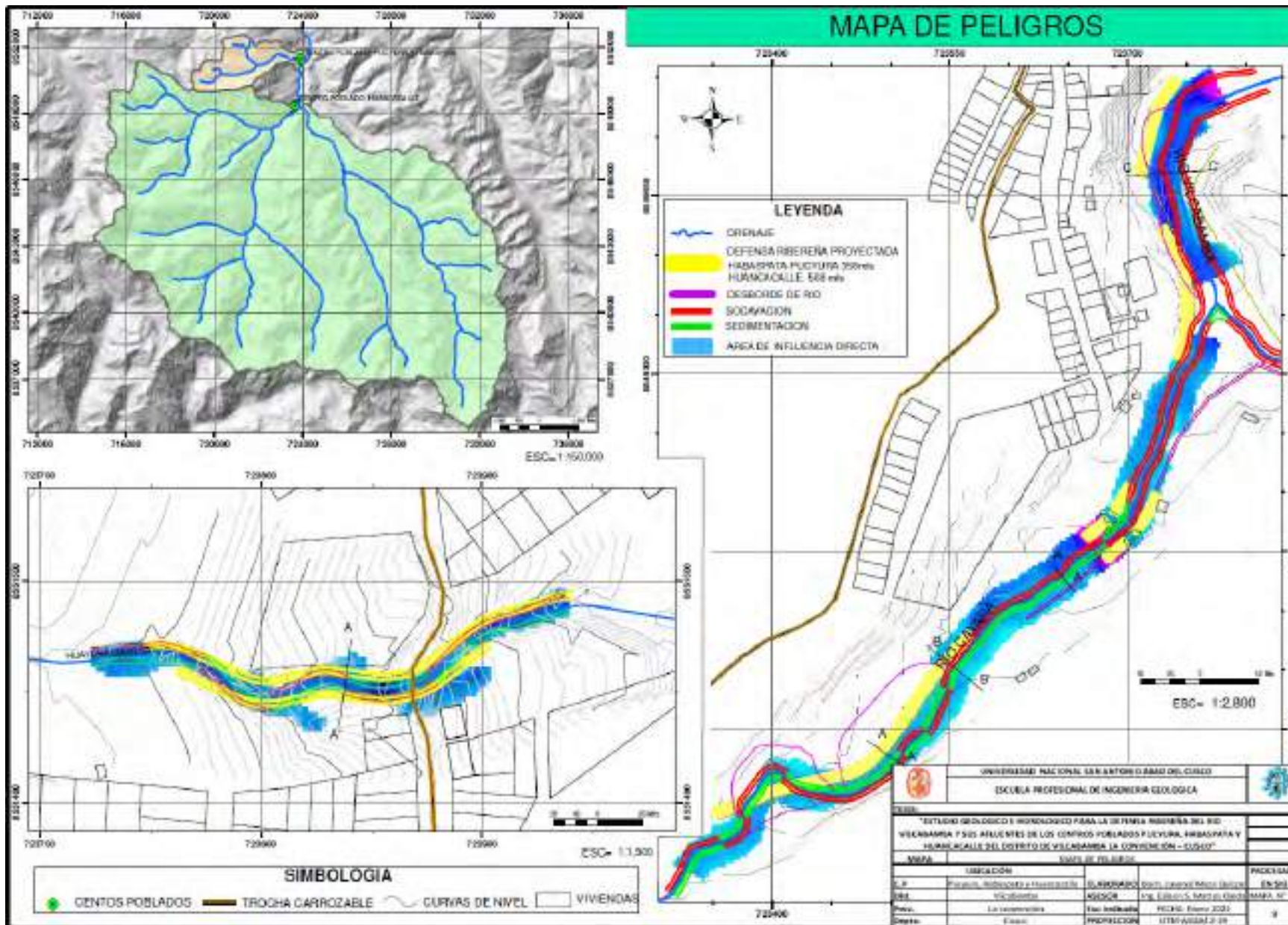
Figura 120

Obra de protección de riberas con enrocados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 121: Obra Mapa de desborde, erosión, socavación y proyección defensa ribereña (peligros)



CONCLUSIONES

- 1ra. Se concluye que las características geomorfológicas de la cuenca de Vilcabamba presentan preponderantemente pendientes empinadas (31.16%) y escarpadas (53.08%), mientras que la intercuenca de Huaychaamarca presenta pendientes preponderantemente empinadas (42.61%), fuertemente empinadas (26.06%) y escarpadas (20.96%).

En cuanto a la fisiografía se identificó que en la cuenca Vilcabamba existen 12 unidades fisiográficas, siendo la vertiente disectada de montaña alta escarpada la más relevante con un área equivalente al 49.64%, seguido de la vertiente disectada de montaña empinada equivalente que compromete al 19.17% del área de estudio.

En lo referente a la geomorfología, se ha determinado la existencia de 42 unidades geomorfológicas tanto en la cuenca de Vilcabamba como en la intercuenca de Huaychaamarca, siendo la vertiente disectada de montaña alta escarpada en rocas intrusivas las que cuentan con una mayor presencia, ocupando un área de 8,175 hectáreas.

- 2da. Las características geológicas de la cuenca de Vilcabamba presentan 8 formaciones litológicas entre las que figuran: el grupo Ollantaytambo, la formación San José; el grupo capacabana, el grupo Mitu, la formación Maras, la formación Vilquechico, la formación Auzangate y la formación Muñani, asimismo, presenta también 4 depósitos glaciares como: el depósito glaciar del centro poblado de Huancacalle, el depósito fluvioglaciar que aflora en el noreste del centro poblado de Habaspata y Pucyura, el depósito aluvial que aflora al oeste del centro poblado de Habaspata y Pucyura, el depósito coluvial que aflora al oeste del centro poblado de Habaspata y Pucyura. En cuanto a las características estructurales de la zona de estudio, se ha determinado que existen fallas de rumbo, normales e inversas. De igual modo, la presencia de estructuras de pizarras cuyo afloramiento se encuentra al sur de Pucyura-Habaspata con diferentes fracturas, direcciones y familias. De la misma manera, se ha encontrado estructuras de areniscas cuarzosas especialmente en el centro de la población de Huancacalle. El análisis de la columna estratigráfica realizada en el cerro Malpaso en el sector de Huancacalle presenta una elevación de 3,283.73 msnm con 11 estratos debidamente diferenciados.

- 3ra. El análisis de las características geodinámicas de la cuenca de Vilcabamba ha permitido identificar deslizamientos de tipo traslacional en la zona de estudio, específicamente hacia el norte del poblado de Kornetera, margen izquierda del río Cayara, afluente del río Vilcabamba. En cuanto al flujo de detritos están ubicados en diferentes partes de la cuenca de Vilcabamba, compuesta por una mezcla de sedimentos y rocas desprendidas que son arrastradas por el agua en dirección al cauce del río, en un área de 21.38 hectáreas. La erosión que presenta la cuenca es tanto de cárcavas como de riberas. La socavación se presenta principalmente en el centro poblado de Pucyura y Habaspata y representa 9.73 has del área total de estudio
- 4ta. El estudio de las características hidrológicas en la zona de estudio muestra que existen 5 estaciones meteorológicas ubicadas en Quillabamba, Quebrada, Huyro, Machupicchu y Vilcabamba. Los datos de estas estaciones fueron completados en la presente investigación mediante análisis estadísticos, determinándose que el promedio de precipitación media anual en la zona de estudio es de 1,642.8 mm., y de manera específica en Vilcabamba una precipitación media anual de 1,433.1 mm. La ecuación de regresión potencial para la cuenca de Vilcabamba arroja un valor de $Y = 499.11(x)^{0.1556}$. La máxima precipitación mensual se da en el mes de enero con un valor de 297.6 mm/mes, mientras que en el mes de junio se tiene la precipitación mínima de 22.5 mm/mes. Consecuentemente, la precipitación anual regionalizada para el área de estudio es de 1820 mm/año. En la intercuenca de Huaychaamarca, la precipitación mensual se da igualmente en el mes de enero con un valor de 291.6 mm/mes y la precipitación anual regionalizada para el área de estudio es de 1790.35mm/año.
- 5ta. El estudio de las características geotécnicas realizadas a partir de tres calicatas en distintas zonas del río Vilcabamba, con profundidades que fueron de 1.7 mts hasta 2.20 mts, y la auscultación con PDI en cada una de ellas, más los estudios realizados en laboratorio de suelos para determinar el contenido de humedad, el análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, límite plástico, clasificación de SUC y AASTHO, a través de sus normas correspondientes, se llegó a determinar las siguientes características: contenido de humedad; Granulometría, límite de consistencia o de atterberg. Por otro lado, la descripción

estratigráfica N° 01 demuestra que existe un estrato que abarca de 0 a 0.3 m de suelo limo arcilloso de alta plasticidad, suelo OH en el sistema SUSC. El segundo estrato está compuesto por grava limosa con mezcla de grava arena y limo que representa al suelo A-1-b en el sistema ASSHTO. La descripción estratigráfica de la calicata N° 2, muestra que el primer estrato abarca de 0 a 0.2 m compuesto por cobertura vegetal, material de cultivo con presencia de raíces, suelo OH en el sistema a SUSC; el segundo estrato compuesto por grava limosa con mezcla de grava arena y limo de color pardo rojizo que representa al suelo A-1-a en el sistema ASSHTO. La descripción estratigráfica de calicata N° 03 presenta un primer estrato que abarca de 0 a 0.2 mm con un compuesto de cobertura vegetal y material de cultivo con presencia de raíces, suelo OH en el sistema SUSC, está conformado por arenas, limos y arcillas con ligera plasticidad, representa a un suelo A-4 en el sistema ASSHTO.

- 6ta. Entre las alternativas de defensa ribereña analizadas se encuentran los gaviones, una alternativa que puede proteger mejor de la erosión y la socavación tanto en el río Vilcambaba como en el río Huaychaumarca. No obstante, también podría utilizarse la alternativa del enrocado, que consiste en una estructura conformada a base de bloques que arrastra el río, construyendo con ellos muros de roca acomodados en volcado en los lugares en donde existe riesgo de erosión y socavación, esta alternativa requiere de un relleno de gravas, pero constituye la alternativa más económica.
- 7ma. En general, la investigación ha permitido determinar las condiciones y características geomorfológicas, geológicas e hidrológicas más destacadas para la toma de decisiones en materia de defensa ribereña del río Vilcambaba y sus afluentes ante avenidas extraordinarias, protegiendo de esta manera los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcambaba de la Provincia de la Convención.

RECOMENDACIONES

- 1ra. Se recomienda que se realicen estudios geológicos, geomorfológicos e hidrológicos similares en distintas zonas de la provincia como en otras provincias para anticiparse ante posibles avenidas extraordinarias como consecuencia del cambio climático.
- 2da. Toda intervención de defensa ribereña debe tomar en cuenta las características geológicas de las cuencas e intercuencas, los depósitos glaciares y aluviales y coluviales existentes, las características estructurales de la zona de estudio, las fallas geológicas, el tipo de material lítico existente, así como el análisis estratigráfico respectivo para determinar las condiciones y el comportamiento de las estructuras geológicas ante eventuales avenidas extraordinarias.
- 3ra. Igualmente, se hace indispensable determinar las características geodinámicas de la zona de estudio para determinar posibles deslizamientos, flujo de detritos, erosiones y socavaciones que evidencian los cambios geológicos ante los cambios en el comportamiento pluviales y aluviales.
- 4ta. Se hace necesario efectuar seguimientos y actualizaciones permanentes a la data meteorológica a través de las distintas estaciones de la zona, a fin de determinar con precisión las precipitaciones medias mensuales y anuales. Estudios similares son también requeridos para el caso de los cambios de temperatura media mensual y anual, los datos de evapotranspiración que y la estimación muy aproximada de caudales en los principales ríos o afluentes de la zona de estudio los cálculos de existen en las zonas de estudio.
- 5ta. Se recomienda igualmente realizar estudios geotécnicos específicos en la zona de estudio a través de calicatas de mayor profundidad y estudios más específicos de laboratorio de suelos para determinar con precisión la estructura geotécnica que presenta la zona.
- 6ta. Se recomienda t a las autoridades poner mayor interés a impulsar la construcción de obras de defensa ribereña en los ríos Vilcabamba y Huaychaumarca, cercanas a los centros poblados del distrito de Vilcabamba, provincia de la Convención.

Bibliografía

- Alanya Barzola, E. (2017). *Sistema de prevencion y control de erosion en la ribera del rio San Fernando tramo Chayhuamayo-Shucusma, Huanuco-Junin*. Universidad Peruana lo Andes, Huancayo.
- Autoridad Nacional del Agua. (2018, 13 Febrero). *Resolución Jefatural N° 056 -2018-ANA*. lima: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ana/normas-legales/537986-r-j-056-2018-ana>
- Baca Huarcaya Fernadez, P., & Villalba Velasque, J. (2016). *Determinación de los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos de la cuenca del rio Ccochapunqo en la provincia de Anta (Tesis de pos grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco)*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Bollaños luna, M., & Monroy Concha, M. (2004). *Espectros de peligros sismico uniforme*. lima: Pontifice Universidad Catolica del Peru.
- Cahuana Andia, A., & Yungar Morales, W. (2009). *Material de apoyo didactico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Universidad Mayor de San Simon, Cochabamba.
- Cardoso, G. G. (1985). *Geología estructural*. Abana: Pueblo y educación.
- Gaspari, J. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río sauce grande, buenos aires, argentina*. Buenos Aires, Argentina: VII Congreso de Medio Ambiente /AUGM. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26441/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gonzales, O. J. (2004). *Analisis de procesos de erosion local en margenes de cauces fluviales con curvatura en planta*. Escuela Tecnica de Ingenieros de caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- INGEMMET. (1996). *GEOIOGÍA DE IOS CUADRÁNGUIOS DE PUTINA Y IA RINCONADA* . IIMA: INGEMMET.
- INGEMMET. (1996). *Geología de los cuadrangulos de urubamba y calca*. IIMA: INGEMMET.
- INGEMMET. (1997). *Geología de los cuadrangulos de Chuanquiri y Pacaypata*. lima: INGEMMET.
- INGEMMET. (1999). *Geología de los cuadrangulos de Quillabamba y Machupicchu*. IIMA: INGEMMET.

“ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION –CUSCO”

INGEMMET. (1999). *Mapa Geologico Del Cuadrangulo de Machupicchu*. Obtenido de PDF: Recuperado de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/87/2/A-127-mapa_Machupicchu-27q.pdf

INGEMMET. (2013). *Neotectonica y peligros sismicos en la region Cusco*. lima: INGEMMET.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento & SENCICO. (2017). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*. lima: Sencico.

Municipalidad Provincial del Cusco. (2019). *Plan de contingencia frente a sismos*. cusco: Municipalidad Provincial del Cusco.

Pascual, J. S. (s/f). *Estudio Geotecnico*. INZAMAC .

Pérez. (1979). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas. Obtenido de https://prontubeam.com/articulos/articulos_2016/04_2016_param_geom_cuencas/04_2016_param_geom_cuencas_articulo.pdf

Suarez, D. J. (2001). *Control de erosion en zonas tropicales*. Bucaramenga: Universidad Industrial de santander.

Villodas, E. R. (2008). *Hidrologia*. Mendoza.

Villón, M. (2002). *Hidrologia*. lima: Villon.

ANEXOS II

REGISTRO DE ESTACIONES METEOROLOGICAS SENAMHI

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)														
Estacion : QUIIABAMBA			latitud : 12°51'21" S			Departamento :CUSCO			Provincia IA CONVENCION					
Tipo: CP-606			longitud : 72°41'30" W			Altitud : 1001 msnm			Distrito SANTA ANA					
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUI	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1974	185.10	191.90	88.00	120.90	10.20	11.90	26.60	67.30	28.70	50.90	39.90	64.30	885.70
2	1975	122.70	207.00	131.90	66.40	45.00	20.80	14.80	22.80	71.80	68.30	102.10	191.00	1064.60
3	1976	201.60	194.40	110.20	94.30	25.30	4.00	3.80	61.30	120.70	26.70	26.30	125.00	993.60
4	1977	127.90	195.70	151.50	32.20	43.30	2.00	42.60	3.20	51.20	29.80	113.20	135.90	928.50
5	1978	277.70	103.90	127.00	68.40	88.70	11.10	0.00	0.00	0.00	96.70	63.80	228.50	1065.80
6	1979	106.20	99.60	109.70	47.30	20.80	0.00	25.40	2.80	6.90	23.70	103.20	121.50	667.10
7	1980	125.60	169.50	175.40	84.80	26.20	10.40	47.30	30.70	53.60	119.40	51.10	47.10	941.10
8	1981	178.60	155.70	139.20	91.80	27.70	22.98	16.29	41.30	54.24	141.36	152.30	176.64	1198.11
9	1982	223.67	189.74	239.02	122.41	34.24	44.77	20.50	31.14	50.20	84.60	153.76	155.18	1349.23
10	1983	192.58	189.27	130.52	86.10	36.87	32.44	16.91	22.85	49.12	75.09	86.33	155.93	1074.01
11	1984	235.80	190.15	150.73	152.46	34.24	15.18	17.90	44.61	48.95	145.91	107.98	157.15	1301.06
12	1985	193.01	189.80	154.65	90.36	46.29	54.63	17.41	20.99	53.91	103.95	148.59	166.36	1239.95
13	1986	160.57	189.39	217.71	130.80	39.03	6.95	18.52	29.69	49.37	68.14	187.00	249.60	1346.77
14	1987	465.30	180.30	160.40	181.70	35.70	41.60	8.70	0.00	56.50	117.00	605.40	375.40	2228.00
15	1988	430.00	534.70	594.50	435.60	139.20	0.00	0.00	0.00	160.00	117.00	140.90	330.50	2882.40
16	1989	206.74	189.92	351.50	110.80	50.70	0.00	37.10	74.70	74.90	71.10	48.60	167.50	1383.56
17	1990	436.60	235.50	191.50	74.00	140.80	220.30	19.70	65.00	127.90	246.10	232.30	202.70	2192.40
18	1991	312.80	193.00	375.70	172.60	42.74	27.92	18.15	20.99	51.14	93.71	120.22	142.30	1571.27
19	1992	107.50	111.40	171.90	103.50	34.24	86.69	16.29	65.33	49.44	94.83	149.36	135.65	1126.13
20	1993	240.78	189.67	156.61	72.33	34.94	6.95	19.63	35.29	50.70	91.24	144.62	203.49	1246.25
21	1994	222.50	190.48	276.74	105.76	43.36	6.95	16.29	20.99	51.68	86.44	83.06	165.18	1269.43
22	1995	188.64	189.43	180.49	71.08	34.24	6.95	17.03	23.47	52.07	75.65	108.67	157.06	1104.78
23	1996	149.60	206.80	103.00	76.70	36.20	6.50	8.60	37.30	40.80	71.20	86.90	75.20	898.80
24	1997	214.50	271.90	138.20	89.60	39.80	23.10	4.20	62.00	92.80	101.30	123.10	146.60	1307.10
25	1998	171.50	152.40	244.90	90.50	4.20	6.00	0.00	1.80	88.10	107.20	59.00	173.50	1099.10
26	1999	271.80	538.00	272.00	271.30	60.40	10.60	21.10	0.00	22.70	67.00	52.90	132.90	1720.70
27	2000	315.40	243.70	180.40	74.20	20.10	56.30	1.40	37.20	35.30	50.30	34.70	85.00	1134.00
28	2001	288.40	246.60	222.90	48.10	42.10	8.20	39.10	30.10	25.80	118.00	89.70	110.60	1269.60
29	2002	119.20	195.40	200.20	45.30	32.40	15.60	69.30	71.90	36.00	89.00	108.50	219.90	1202.70
30	2003	163.10	185.30	199.10	109.00	18.60	8.30	5.90	113.50	71.60	47.30	49.40	176.40	1147.50
31	2004	179.70	153.40	125.70	83.80	43.00	19.70	59.40	44.30	55.10	122.80	119.60	94.60	1101.10
32	2005	115.20	133.20	186.30	95.90	34.00	7.40	56.10	10.50	42.30	70.80	21.50	181.40	954.60
33	2006	173.90	157.00	196.80	121.10	7.60	28.90	4.50	28.20	17.80	98.90	102.00	189.40	1126.10
34	2007	279.70	94.70	187.20	151.20	31.70	16.30	12.80	20.99	12.60	169.70	55.60	107.00	1139.49
35	2008	241.40	162.50	153.90	85.10	14.20	1.80	13.00	19.20	36.60	135.90	92.50	108.60	1064.70
36	2009	182.79	207.30	138.30	68.00	23.30	5.50	26.80	4.50	14.90	111.60	209.90	182.20	1175.09
37	2010	121.70	236.30	263.90	59.30	20.80	21.80	15.70	23.70	33.30	188.20	77.70	151.60	1214.00
38	2011	201.00	260.90	275.50	108.40	41.50	21.40	50.90	79.60	29.40	155.20	146.00	205.30	1575.10
39	2012	193.60	190.54	114.70	108.20	37.20	11.89	18.50	20.40	50.75	78.90	76.80	239.80	1141.28
40	2013	126.20	175.60	182.00	133.80	11.60	36.60	18.77	63.50	45.80	163.20	88.90	197.40	1243.37

"ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS
CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION - CUSCO"

41	2014	318.80	157.50	153.70	75.30	115.00	0.00	44.20	16.30	45.90	37.50	77.40	182.70	1224.30
42	2015	236.70	218.40	126.50	80.00	51.20	15.60	6.00	25.70	15.00	42.60	102.00	112.20	1031.90
43	2016	142.80	146.80	31.70	84.30	18.40	4.00	15.00	47.20	81.70	91.00	72.28	151.05	886.23
44	2017	161.90	187.60	212.70	92.10	82.80	20.90	2.20	38.39	38.60	56.40	109.95	160.91	1164.45
45	2018	185.60	137.50	126.40	51.80	27.40	5.70	7.60	84.20	24.90	40.20	158.10	136.70	986.10
46	2019	206.90	162.00	149.80	123.00	52.10	12.60	37.20	62.80	57.90	84.40	140.60	222.70	1312.00
N° Datos		46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00
Media		210.94	197.87	186.32	105.25	41.29	21.72	20.85	35.39	50.62	94.05	113.56	165.17	1243.02
Desv. Estandar		84.27	82.72	89.75	64.76	29.36	34.58	16.86	26.55	30.72	45.04	87.52	60.95	379.49
Coef. Variacion		0.40	0.42	0.48	0.62	0.71	1.59	0.81	0.75	0.61	0.48	0.77	0.37	0.31
Prec. Max.		465.30	538.00	594.50	435.60	140.80	220.30	69.30	113.50	160.00	246.10	605.40	375.40	605.40
Prec. Min.		106.20	94.70	31.70	32.20	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	23.70	21.50	47.10	0.00

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)														
Estacion : MACHUPICCHU			latitud : 13°10' S			Departamento : CUSCO								
			longitud : 72°32'44" W			Provincia : URUBAMBA								
Tipo: CO-679			Altitud : 2,563 msnm			Distrito : AGUAS CAIIENTES								
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUI	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1974	268.4	370.8	222.9	268.6	20.3	27.7	67.4	131.6	106.3	185.4	82.5	148.3	1,900.2
2	1975	297.4	408.6	342.5	164.3	138.0	95.6	24.6	47.0	125.1	184.5	235.0	335.7	2,398.3
3	1976	298.2	280.9	431.1	187.4	56.7	26.4	28.7	80.8	120.2	143.4	98.5	239.6	1,991.9
4	1977	277.5	328.8	322.6	157.2	73.0	23.8	56.4	34.0	142.8	130.0	240.3	208.5	1,994.9
5	1978	392.3	300.1	305.6	174.8	114.0	35.6	24.4	34.9	67.0	162.8	140.3	338.0	2,089.8
6	1979	260.9	298.8	293.6	164.5	52.6	21.2	53.2	37.0	70.0	142.5	184.3	236.3	1,814.9
7	1980	275.7	320.6	339.2	182.8	57.5	34.7	78.0	57.9	90.6	169.1	126.2	165.6	1,897.9
8	1981	316.4	316.3	314.0	186.2	58.8	51.0	42.8	65.8	90.9	175.1	239.0	288.7	2,145.0
9	1982	350.9	326.9	383.3	201.1	64.8	79.2	47.6	58.2	89.1	159.4	240.6	268.3	2,269.4
10	1983	327.1	326.8	308.0	183.4	67.1	63.3	43.5	52.0	88.6	156.8	165.5	269.0	2,051.1
11	1984	360.2	327.1	322.0	215.7	64.8	40.9	44.7	68.3	88.5	176.4	189.6	270.2	2,168.4
12	1985	327.4	327.0	324.8	185.5	75.7	92.0	44.1	50.6	90.7	164.8	234.9	278.9	2,196.4
13	1986	302.5	326.8	368.5	205.2	69.1	30.2	45.4	57.1	88.7	154.9	277.7	358.0	2,284.1
14	1987	536.0	324.0	328.7	230.0	66.1	75.1	34.2	34.9	91.9	168.4	744.2	477.5	3,111.0
15	1988	509.0	434.7	629.9	353.6	159.7	21.2	24.4	34.9	137.5	168.4	226.3	434.9	3,134.5
16	1989	337.9	327.0	461.3	195.5	79.7	21.2	66.5	90.8	100.0	155.7	123.4	280.0	2,239.0
17	1990	514.0	341.2	350.3	177.5	161.2	306.9	46.7	83.6	123.4	204.1	328.2	313.4	2,950.5
18	1991	419.2	328.0	478.1	225.5	72.5	57.4	45.0	50.6	89.5	161.9	203.2	256.1	2,387.0
19	1992	261.9	302.5	336.7	191.9	64.8	133.6	42.8	83.8	88.8	162.2	235.7	249.8	2,154.5
20	1993	364.0	326.9	326.1	176.7	65.4	30.2	46.6	61.3	89.3	161.3	230.4	314.2	2,192.4
21	1994	350.0	327.2	409.5	193.0	73.0	30.2	42.8	50.6	89.7	159.9	161.8	277.8	2,165.5
22	1995	324.0	326.8	342.7	176.1	64.8	30.2	43.7	52.5	89.9	156.9	190.4	270.1	2,068.1
23	1996	294.1	332.3	288.9	178.9	66.5	29.6	34.1	62.8	84.9	155.7	166.1	192.3	1,886.2
24	1997	343.9	352.6	313.3	185.1	69.8	51.1	29.1	81.3	107.9	164.0	206.5	260.2	2,164.8
25	1998	310.9	315.3	387.4	185.6	37.6	29.0	24.4	36.2	32.2	174.1	150.6	209.2	1,892.5
26	1999	443.7	465.7	294.0	223.7	185.8	27.3	33.3	16.3	114.5	117.5	145.7	189.9	2,257.4
27	2000	387.8	333.0	260.0	203.2	73.8	129.7	35.3	122.8	139.8	180.0	111.0	187.9	2,164.3
28	2001	285.8	302.2	384.9	91.5	79.8	96.7	60.2	49.5	92.4	152.4	225.2	256.9	2,077.5
29	2002	207.8	350.2	351.1	276.2	42.1	63.7	140.8	49.5	118.7	226.0	189.0	356.0	2,371.1
30	2003	302.6	325.5	452.2	150.5	69.0	52.2	38.8	95.1	86.6	110.3	132.0	288.3	2,103.1
31	2004	375.1	311.5	207.4	155.3	76.7	42.5	141.9	90.0	68.5	137.6	139.3	219.7	1,965.5
32	2005	160.9	304.7	269.9	142.3	25.4	1.9	43.9	13.6	63.5	182.7	133.5	304.4	1,646.7

"ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS
CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION -CUSCO"

33	2006	325.2	208.3	369.4	205.0	33.9	101.7	35.4	47.2	42.7	152.3	198.0	252.2	1,971.3
34	2007	353.4	263.7	478.6	212.5	84.8	10.0	60.4	27.6	66.3	153.1	141.8	230.7	2,082.9
35	2008	383.4	216.7	224.4	94.0	73.2	19.0	14.7	84.5	21.3	183.1	153.3	202.5	1,670.1
36	2009	377.1	320.3	322.2	226.2	43.6	13.6	52.3	26.8	40.2	80.4	249.3	266.3	2,018.3
37	2010	392.2	315.4	483.0	202.2	42.5	35.9	18.4	44.7	41.1	220.3	113.5	315.5	2,224.7
38	2011	433.9	350.1	416.5	242.1	53.5	65.5	80.1	35.4	101.9	163.1	252.5	338.3	2,532.9
39	2012	318.2	390.1	373.6	195.8	81.2	41.7	65.1	28.1	78.8	167.6	103.7	495.2	2,339.1
40	2013	211.3	362.6	351.5	68.9	60.8	79.5	34.2	98.5	53.6	191.0	177.2	333.0	2,022.1
41	2014	459.0	210.9	221.9	142.5	101.3	12.7	48.6	50.9	103.8	177.3	111.8	208.0	1,848.7
42	2015	372.9	239.4	340.0	210.1	103.8	78.4	29.3	36.4	40.9	96.7	214.1	244.5	2,006.5
43	2016	234.2	400.3	231.1	165.9	34.5	36.8	23.4	61.0	76.7	139.3	108.0	196.4	1,707.6
44	2017	247.1	253.2	326.1	199.7	114.8	16.0	39.9	63.6	84.0	151.6	191.8	273.7	1,961.5
45	2018	417.6	248.4	376.6	188.9	68.8	2.4	34.8	103.1	100.7	128.9	287.4	288.1	2,245.7
46	2019	346.5	517.0	437.3	358.3	34.2	27.4	48.7	139.3	194.7	135.6	224.5	296.7	2,760.2
N° Datos		46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Media		340.3	325.8	350.1	193.5	73.4	52.0	47.0	60.5	89.4	159.7	196.2	275.8	2,163.6
Desv. Estandar		79.39	59.10	81.44	52.43	34.47	49.75	25.05	29.00	32.06	27.42	100.10	72.33	323.15
Coef. Variacion		0.23	0.18	0.23	0.27	0.47	0.96	0.53	0.48	0.36	0.17	0.51	0.26	0.15
Prec. Max.		536.0	517.0	629.9	358.3	185.8	306.9	141.9	139.3	194.7	226.0	744.2	495.2	744.2
Prec. Min.		160.9	208.3	207.4	68.9	20.3	1.9	14.7	13.6	21.3	80.4	82.5	148.3	1.9

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)														
Estación : VIICABAMB			latitud : 13°07'01" S						Departamento : CUSCO					
Tipo: CO-812			longitud : 73°01'01" W						Provincia : IA CONVENCION					
			Altitud : 4,000 msnm						Distrito : VIICABAMBA					
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUI	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1974	206.00	200.50	165.20	126.40	25.20	2.80	6.10	4.00	81.20	117.60	100.50	82.60	1118.10
2	1975	121.50	204.00	207.00	115.60	69.10	4.00	2.80	27.80	87.60	127.20	109.30	198.30	1274.20
3	1976	228.40	201.10	186.30	121.10	44.20	1.70	0.00	7.20	95.00	104.20	98.50	138.00	1225.70
4	1977	128.60	201.40	225.60	108.90	66.90	1.50	10.50	38.30	84.60	105.90	110.80	148.00	1231.00
5	1978	331.40	180.10	202.30	116.00	124.20	2.70	0.00	40.00	76.90	143.00	103.80	232.50	1552.90
6	1979	99.20	179.10	185.80	111.90	38.50	1.20	5.70	38.50	77.90	102.50	109.40	134.80	1084.50
7	1980	125.40	195.30	248.40	119.30	45.40	2.60	11.80	23.60	84.90	155.50	102.00	66.90	1181.10
8	1981	197.20	192.10	213.90	120.60	47.20	4.30	3.20	17.90	85.00	167.70	116.40	185.20	1350.70
9	1982	258.20	200.00	309.00	126.70	55.50	7.30	4.40	23.30	84.40	136.30	116.60	165.60	1487.30
10	1983	216.10	199.90	205.70	119.50	58.80	5.60	3.40	27.80	84.30	131.00	107.00	166.30	1325.40
11	1984	274.70	200.10	224.90	132.60	55.50	3.30	3.60	16.10	84.20	170.20	110.10	167.40	1442.70
12	1985	216.70	200.00	228.60	120.30	70.70	8.70	3.50	28.80	85.00	147.00	115.80	175.80	1400.90
13	1986	172.80	199.90	288.70	128.30	61.50	2.20	3.80	24.10	84.30	127.10	121.30	251.80	1465.80
14	1987	585.50	197.80	234.10	138.30	57.30	6.90	1.10	40.00	85.40	154.20	180.40	366.60	2047.60
15	1988	537.70	279.80	647.40	188.30	187.90	1.20	0.00	40.00	100.90	154.20	114.70	325.60	2577.70
16	1989	235.30	200.00	416.00	124.40	76.30	1.20	9.00	0.00	88.10	128.80	101.70	176.80	1557.60
17	1990	546.60	210.60	263.70	117.10	190.00	31.30	4.10	5.20	96.10	225.70	127.70	209.00	2027.10
18	1991	378.90	200.80	439.10	136.50	66.20	5.00	3.70	28.80	84.60	141.30	111.80	153.80	1750.50
19	1992	100.90	181.90	245.10	122.90	55.50	13.00	3.20	5.00	84.30	141.90	115.90	147.80	1217.40
20	1993	281.40	200.00	230.50	116.80	56.40	2.20	4.10	21.10	84.50	139.90	115.30	209.70	1461.90
21	1994	256.70	200.20	344.90	123.40	67.00	2.20	3.20	28.80	84.60	137.30	106.60	174.70	1529.60
22	1995	210.80	199.90	253.20	116.60	55.50	2.20	3.40	27.40	84.70	131.30	110.20	167.30	1362.50

"ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROLOGICO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO VILCABAMBA Y SUS AFLUENTES DE LOS
CENTROS POBLADOS PUCYURA, HABASPATA Y HUANCACALLE DEL DISTRITO DE VILCABAMBA LA CONVENCION – CUSCO"

23	1996	157.90	203.90	179.50	117.70	58.00	2.10	1.00	20.00	83.00	128.80	107.10	92.60	1151.60
24	1997	245.80	219.00	213.00	120.20	62.50	4.40	0.00	6.80	90.80	145.50	112.20	157.80	1378.00
25	1998	187.60	191.40	314.50	120.40	17.60	2.00	0.00	39.00	90.10	148.80	103.20	182.30	1396.90
26	1999	323.40	280.60	340.30	155.90	88.50	2.60	1.00	40.00	80.30	126.50	102.30	145.30	1686.70
27	2000	382.50	212.50	253.10	117.20	37.70	8.90	2.00	20.10	82.20	117.30	99.70	101.50	1434.70
28	2001	345.90	213.20	293.60	112.00	65.40	2.30	3.00	23.90	80.80	154.80	107.50	124.90	1527.30
29	2002	116.80	201.30	272.00	111.50	53.20	3.30	4.00	1.50	82.30	138.70	110.20	224.70	1319.50
30	2003	176.20	199.00	270.90	124.00	35.80	2.30	5.00	0.00	87.60	115.60	101.80	185.00	1303.20
31	2004	198.70	191.60	201.10	119.10	66.60	3.90	6.00	16.30	85.10	157.40	111.70	110.30	1267.80
32	2005	111.40	186.90	258.80	121.40	55.20	2.20	7.00	34.40	83.20	128.60	97.90	189.50	1276.50
33	2006	190.90	192.40	268.80	126.40	21.90	5.20	8.00	24.90	79.60	144.20	109.20	196.80	1368.30
34	2007	334.10	178.00	259.60	132.30	52.30	3.40	9.00	28.80	78.80	183.40	102.70	121.60	1484.00
35	2008	282.30	193.70	227.90	119.30	30.20	1.40	10.00	29.70	82.40	164.70	107.90	123.10	1372.60
36	2009	202.90	204.10	213.10	115.90	41.70	2.00	11.00	37.60	79.10	151.20	124.50	190.30	1373.40
37	2010	120.20	210.80	332.60	114.20	38.50	4.20	12.00	27.30	81.90	193.70	105.80	162.30	1403.50
38	2011	227.50	216.50	343.70	123.90	64.70	4.10	13.00	0.00	81.30	175.40	115.50	211.30	1576.90
39	2012	217.50	200.20	190.60	123.90	59.20	2.80	14.00	29.10	84.50	133.10	105.70	242.80	1403.40
40	2013	126.30	196.70	254.70	128.90	26.90	6.20	15.00	6.00	83.80	179.80	107.40	204.10	1335.80
41	2014	387.10	192.50	227.70	117.40	157.40	1.20	16.00	31.30	83.80	110.20	105.80	190.70	1621.10
42	2015	275.90	206.60	201.80	118.30	76.90	3.30	17.00	26.30	79.10	113.00	109.20	126.40	1353.80
43	2016	148.70	190.10	111.60	119.20	35.50	1.70	18.00	14.70	89.10	139.80	105.00	161.80	1135.20
44	2017	174.60	199.50	283.90	120.70	116.80	4.10	19.00	19.50	82.70	120.60	110.40	170.80	1422.60
45	2018	206.70	187.90	201.70	112.80	46.90	2.00	0.80	0.00	80.60	111.70	117.20	148.70	1217.00
46	2019	235.50	193.60	224.00	126.80	78.00	2.90	9.00	6.40	85.60	136.20	114.70	227.20	1439.90
N° Datos		46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	45
Media		241.0	201.9	258.8	123.3	64.4	4.2	6.3	21.7	84.5	141.5	110.9	174.7	1,433.08
Desv. Estandar		114.12	19.14	85.44	12.74	37.04	4.73	5.33	12.84	4.61	24.95	12.37	55.64	265.91
Coef. Variacion		0.47	0.09	0.33	0.10	0.58	1.13	0.84	0.59	0.05	0.18	0.11	0.32	0.19
Prec. Max.		585.5	280.6	647.4	188.3	190.0	31.3	19.0	40.0	100.9	225.7	180.4	366.6	647.4
Prec. Min.		99.2	178.0	111.6	108.9	17.6	1.2	0.0	0.0	76.9	102.5	97.9	66.9	0.0

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Metodología
¿Cuáles son las características geomorfológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco?	Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco.	las características geomorfológicas con pendientes empinadas y altas tasas de escurrimiento superficial de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los Centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención, Cusco, ocasionan altos caudales de avenidas máximas.	Características geomorfológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes • Fisiografía • Geomorfología • Parámetros morfométricos 	
¿Cuáles son las características geológicas y estructurales de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco?	Determinar las características geológicas y estructurales de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco.	las características geológicas altamente fracturadas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco, muestran varios sistemas de fallas que son favorables para la infiltración.	Características geológicas y estructurales	<ul style="list-style-type: none"> • litología • Estudio estructural 	
¿Cuáles son los parámetros geodinámicos de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco?	Determinar los parámetros geodinámicos de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco.	los parámetros geodinámicos de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco, tienen precedentes de movimientos sísmicos y presencia de deslizamiento, erosión y socavamiento.	Características geodinámicas	<ul style="list-style-type: none"> • Sismicidad • Deslizamiento • Flujo de detritos • Erosión • Socavación • Desborde 	
¿Cuáles son las características hidrológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco?	Determinar las características hidrológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco.	las características hidrológicas de la cuenca del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco, presentan precipitaciones que ocasionan un aumento de caudales en el área de estudio.	Características hidrológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Caudales máximos • Periodo de retorno • Escorrentía superficial 	
¿Cuáles son los parámetros geotécnicos de los suelos del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco?	Determinar los parámetros geotécnicos del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, la Convención – Cusco.	los parámetros geotécnicos de las riberas del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba de la provincia de la Convención, Cusco, muestran una presencia significativa de bloques de roca, grava, arena y material fino.	Parámetros geotécnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de suelos (granulometría, límites de consistencia, capacidad de carga) • Parámetro de canteras (% de desgaste de la roca) 	
¿Cuáles serían las alternativas de defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba de la provincia de la Convención – Cusco, de acuerdo al estudio geológico e hidrológico realizado?	Proponer alternativas de defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del distrito de Vilcabamba de la provincia de la Convención – Cusco, de acuerdo al estudio geológico e hidrológico realizado.	las alternativas más adecuadas de defensa ribereña del río Vilcabamba y sus afluentes de los centros poblados de Pucyura, Habaspata y Huancacalle del Distrito de Vilcabamba de la provincia de la Convención, Cusco, son los gaviones y enrocados.	Alternativas de defensa ribereña	<ul style="list-style-type: none"> • Gaviones • Enrocado 	