



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

---

***“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA EN EL FLUJO DE  
DETRITOS, DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO – A.P.V. FERROVIARIOS EN EL  
DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA DE CUSCO”***

---

**Presentado por:**

Br. Flor de María Ramírez Aranzábal

Br. Claudio Galeno Quintana Rodríguez

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

**Asesor:** Ing. Mag. Carlos Luna Loayza

**CUSCO – PERÚ**

**2021**



### ***Dedicatoria***

*Quisiera comenzar éste corto párrafo haciendo hincapié en las lecciones que el trabajo en equipo me ha dejado; atribuyo éste pequeño paso en mi carrera profesional a todas y cada una de las personas que durante éste tiempo me apoyaron y siempre me recordaron de cuánto era capaz.*

*Sin lugar a duda, debo dedicar éste trabajo, en primer lugar, a Dios, por siempre encaminar y guiar mi vida en su glorioso camino, y porque en los momentos de más angustia, nos ha dado a mí y mi familia la unión y fuerza necesaria para continuar.*

*Siempre he de recordar los momentos en los que, como muchos de nosotros, mi inconsciente dudaba de mi propia persona; así como los múltiples consejos de mi madre, que siempre será el pilar que guía mi vida. A ti te debo todo lo que soy, como persona y por brindarme siempre todo lo que estaba a tu alcance.*

***“El éxito en la vida no se mide por lo que logras sino por los obstáculos que superas”***

***Flor de Maria Ramírez Aranzábal***



### *Agradecimientos*

*Quiero expresar mi agradecimiento a cada uno de mis hermanos Hilda, Roberto y Joseph; por su incondicional apoyo para poder culminar este trabajo; así como sus sabios consejos que me ayudaron a siempre encaminar todas mis decisiones.*

*A mis amigos de toda la vida, quienes en todo momento me brindaron palabras de ánimo, aquellas que cada uno de nosotros necesitamos en momentos difíciles para superar las pruebas que nos da la vida.*

*A mi Asesor, el Ing. Carlos Luna Loayza, quien en todo momento me brindo su confianza, paciencia, consejos y experiencia para poder establecer las metas y el diseño del presente trabajo.*

*A mis docentes de la universidad, por haberme alentado a culminar con mis estudios universitarios en todo momento; y en especial a los ingenieros Eigner R. y José Humberto C., quienes tomaron parte de su tiempo para brindarme sus consejos y encaminar la tesis.*

***Flor de Maria Ramírez Aranzábal***



*Dedicatoria*

*Dedico esta tesis principalmente a Dios cual fue el creador de todas las cosas quien me ha dado fortaleza todo este tiempo, a mis padres quienes les debo toda la vida que siempre me apoyaron incondicionalmente durante toda la vida.*

*A mis hermanos por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.*

*Claudio Galeno Quintana Rodríguez*



### *Agradecimientos*

*Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres; por su apoyo incondicional y a mi hermano Christiaan por su constante apoyo.*

*A mi Asesor el Ing. Carlos Luna Loayza, del cual recibimos todo el apoyo necesario y ser pieza clave en la realización de este trabajo de investigación.*

*A mis docentes de la universidad por ser parte de mi formación como profesional especialmente al Ing. Jose Humberto C. y al Ing. Eigner Roman. Quienes fueron pieza clave en mi formación en la universidad.*

***Claudio Galeno Quintana Rodríguez***



## Resumen

El siguiente trabajo de investigación, denominado “Análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco – A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco”, tiene como objetivo principal analizar las características que influyen en el suceso de un flujo de detritos, lo que comúnmente se conoce con el nombre de huayco. Dentro de los principales factores influyentes en éste desastre natural, encontramos a factores hidrológicos, a través de las constantes precipitaciones pluviales que ocasionan erosión en el suelo, también encontramos los factores topográficos, que se refieren principalmente a la pendiente de la quebrada, y finalmente a los factores geológicos, que principalmente se enfoca en el tipo de suelo que hace susceptible a la caída del huayco.

La metodología utilizada tiene un enfoque de tipo cuantitativo, nivel descriptivo - correlacional y diseño metodológico experimental, lo cual, consiste en la realización de vuelos con un dron capaz de hacer levantamientos topográficos a detalle, dicha actividad se realizó en tres etapas, en la primera etapa, se realizó el levantamiento de la zona baja de la quebrada; en la segunda etapa, la zona intermedia, y finalmente la tercera etapa, la zona alta de la quebrada; una vez hecho el trabajo en campo, fue necesario procesar los datos en gabinete con el uso del software ARC-Gis, con la finalidad de obtener las curvas de nivel a una distancia de 0.5m.

Posteriormente, se hizo un estudio del software que sea capaz de realizar un modelamiento matemático del fenómeno en cuestión; que mediante profesionales del INGEMMET, pudimos dar con el software requerido denominado RAMMS DebrisFlow, del cual se hizo un estudio para observar los parámetros de suelo e hidrológicos requeridos. Se realizó el cálculo del hidrograma unitario para insertar los datos en el programa, el cual nos dio como resultado un caudal máximo de  $2.6\text{m}^3/\text{s}$  en un periodo de retorno de 100 años. Dentro de la clasificación de suelos SUCS, obtuvimos como resultado que el suelo en estudio se trata de una arena pobremente graduada (SP). Así mismo, dentro de los parámetros topográficos, se obtuvo una pendiente del tipo Muy escarpada y abrupta que se encuentra dentro de los rangos 80%-100%. Una vez encontrados y estudiados los parámetros requeridos, se modeló el huayco en el programa antes mencionado, dando como resultado, que parte de la población de la A.P.V. Ferroviarios, resulta afectada con un flujo de detritos de intensidad alta, con  $28\ 060.5\text{m}^3$ .

**Palabras clave:** Saylla, Hatun Huayco, quebrada, Flujo de detritos, huayco, RAMMS.



### Abstract

The following research work, called "Analysis of the characteristics of the basin in the debris flow of the Hatun Huayco stream - A.P.V. Ferroviarios in the District of Saylla, Province of Cusco", has as its main objective to analyze the characteristics that influence the occurrence of a debris flow, which is commonly known as huayco. Among the main factors influencing this natural disaster, we find hydrological factors, through the constant rainfall that causes soil erosion, we also find topographic factors, which mainly refer to the slope of the ravine, and finally geological factors, which mainly focuses on the type of soil that makes it susceptible to the fall of the huayco.

The methodology used has a quantitative approach, descriptive-correlational level and experimental methodological design, which consists of carrying out flights with a drone capable of making detailed topographic surveys, this activity was carried out in three stages, in the first stage, the survey of the lower zone of the ravine was carried out; In the second stage, the intermediate zone, and finally the third stage, the upper zone of the ravine; once the field work was done, it was necessary to process the data in the office with the use of ARC-Gis software, in order to obtain the contour lines at a distance of 0.5m.

Subsequently, a study was made of the software capable of performing a mathematical modeling of the phenomenon in question; by means of INGEMMET professionals, we were able to find the required software called RAMMS DebrisFlow, from which a study was made to observe the required soil and hydrological parameters. The calculation of the unit hydrograph was made to insert the data into the program, which gave us as a result a maximum flow of 2.6m<sup>3</sup>/s in a return period of 100 years. Within the SUCS soil classification, we obtained as a result that the soil under study is a poorly graded sand (SP). Likewise, within the topographic parameters, we obtained a very steep and abrupt slope within the 80%-100% range.

Once the required parameters were found and studied, the landslide was modeled in the aforementioned program, resulting in a debris flow of high intensity, with 28,060.5m<sup>3</sup>, affecting part of the population of the A.P.V. Ferroviarios.

**Key words:** Saylla, Hatun Huayco, stream, debris flow, huayco, RAMMS.



## Introducción

En la Tierra, existe aproximadamente 1 400 millones de  $\text{km}^3$  de agua, donde solo el 2.5%, es decir, 35 millones de  $\text{km}^3$  es agua dulce, la cual en su mayoría corresponde a nevados o hielos perennes, ubicados en la región de Antártida y Groenlandia, o incluso a acuíferos de aguas subterráneas. La parte aprovechable proveniente de dichas fuentes es aproximadamente de sólo 200 000  $\text{km}^3$  de agua, lo que representa menos del 1% del total de agua dulce y sólo el 0.01% de toda el agua del planeta. (Moura, 2005)

Perú cuenta con una oferta hídrica extraordinaria, se estima que los ríos de las vertientes (Pacífico, Titicaca y Atlántico) conducen anualmente un total de 2 millones de metros cúbicos de agua y poseen un caudal que alcanza los 65 mil metros cúbicos por segundo (Moura, 2005). Esto, sumado al hecho de que somos uno de los países más vulnerables al Cambio Climático, nos conlleva a tener una alta amenaza por efecto de los fenómenos hidrometeorológicos, lo cual, a su vez nos hace vulnerables a deslizamientos que aumentan su intensidad por la presencia de fenómenos climatológicos como por ejemplo el Fenómeno El Niño. La presencia de precipitaciones de alta intensidad en la costa, afecta de igual manera en distintas regiones del país, puesto que esto hace que se eleve significativamente la descarga de los ríos, cambien su curso, incrementen la erosión de los suelos de la cuenca y la capacidad de transporte de sedimentos en los ríos, superando la capacidad de conducción de sus cauces naturales y provocando eventos extremos como son los grandes flujo de detritos, lo cual afecta la infraestructura urbana, agrícola y vial además de poner en riesgo la vida de las personas cercanas al flujo de detritos.

El presente proyecto de investigación se enfoca en analizar el flujo de detritos presente en la Quebrada Hatun Huayco, ocasionado por precipitaciones, utilizando un programa de modelamiento numérico denominado RAMMS DebrisFlow y emprendiendo equipos de rendimiento alto, como son los vehículos aéreos no tripulados; dando mayor facilidad en el manejo, control, seguimiento e innovación constante.

El primer capítulo, trata sobre el planteamiento del problema en la Quebrada Hatun Huayco, en el cual, destaca la importancia de salvaguardar las vidas de las personas pertenecientes a la A.P.V. vecina denominada Ferroviarios, perteneciente al Distrito de Saylla, la cual se podría ver afectada debido al flujo de detritos ocasionados principalmente por las características hidrológicas, topográficas y geológicas de la zona, y de ésta forma, analizar las características antes mencionadas para modelar dicho fenómeno, a través de un software computacional.





El segundo capítulo, los antecedentes nacionales e internacionales encontrados, que servirán como sustento científico y base metodológica para ejecutar de forma exitosa la presente investigación; también se describen las bases teórico- científicas que explican conceptos relacionados al fenómeno de flujo de detritos, hidrología, geología y topografía, los cuales son imprescindibles para conocer la metodología de investigación que otorgue los resultados esperados y por lo tanto, ayude a conocer las variables dependientes e independientes.

El tercer capítulo, muestra la Metodología del proyecto de investigación, la cual da a conocer bajo qué premisas se realizó la tesis, tales como el enfoque, nivel y método de investigación; así mismo se define la población y muestra presentes en la investigación y finalmente los instrumentos utilizados para la recolección de datos y respectivo procedimiento.

El cuarto capítulo, hace referencia a los resultados obtenidos en la investigación, los cuales se obtuvieron bajo métodos explicados detalladamente para asegurar su exactitud.

El quinto capítulo, realizamos la discusión de los resultados, la cual explica el aporte a la A.P.V. Ferroviarios, los estudios ingenieriles necesarios para determinar si en dicha zona se puede suscitar un fenómeno de flujo de detritos y establecer sus medidas de mitigación.



## Índice General

<b>Capítulo I: Planteamiento del Problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Identificación del problema .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Descripción del problema .....	1
1.1.2 Formulación del problema .....	2
1.1.2.1 Formulación del problema general.....	2
1.1.2.2 Formulación de los problemas específicos .....	2
<b>1.2 Justificación e Importancia de la investigación.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Justificación técnica.....	3
1.2.2 Justificación social.....	3
1.2.3 Justificación por viabilidad .....	4
1.2.4 Justificación por relevancia .....	4
<b>1.3 Limitaciones de la investigación .....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Limitación de lugar.....	5
1.3.2 Limitación de software .....	5
1.3.3 Limitación de muestreo.....	5
<b>1.4 Objetivo de la investigación .....</b>	<b>6</b>
1.4.1 Objetivo general .....	6
1.4.2 Objetivos específicos .....	6
<b>Capítulo II: Marco Teórico.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Antecedentes de la tesis o investigación actual.....</b>	<b>6</b>
2.1.1.1 Antecedente Nacional 01 .....	6
2.1.1.2 Antecedente Nacional 02.....	7
2.1.1.3. Antecedente Nacional 03 .....	8
2.1.2.1. Antecedente Internacional 01 .....	10
2.1.2.2. Antecedente Internacional 02 .....	10
2.1.2.3. Antecedente Internacional 03 .....	11
2.2.1 Topografía.....	13
2.2.1.1 División básica de la topografía.....	13
2.2.1.2 Fotogrametría.....	14
<b>A. La cámara fotogramétrica.....</b>	<b>14</b>
<b>B. Distancia focal .....</b>	<b>15</b>



2.2.1.3 Fotogrametría aérea.....	15
2.2.1.4 Fotogrametría como método geodésico de medida.....	16
2.2.1.5. Puntos de control Geodésico.....	17
2.2.2 Hidrología .....	17
2.2.2.1 Cuenca hidrológica.....	18
2.2.2.1.1 Ciclo hidrológico .....	18
2.2.2.1.2 Tipos de cuencas hidrográficas.....	19
2.2.2.1.3 Elementos básicos de una cuenca hidrológica.....	20
2.2.2.1.4 Partes de una cuenca .....	22
2.2.2.1.5 Características de las cuencas y cauces.....	23
2.2.2.2 Régimen de lluvia en el Perú .....	25
2.2.2.3 La cuenca hidrográfica y la cuenca hidrológica.....	28
2.2.2.4 Características fisiográficas de una cuenca .....	29
2.2.2.5 Estudio de una tormenta .....	33
2.2.2.6 Curvas intensidad – duración – periodo de retorno.....	34
2.2.2.7 Hietograma.....	34
2.2.2.8 Hidrograma .....	35
2.2.2.8.1 Hidrograma unitario .....	35
2.2.2. Red de drenaje y aspectos geomorfológicos.....	36
2.2.3 Suelos.....	36
2.2.3.1 Composición del suelo .....	37
2.2.3.2 Talud.....	39
2.2.3.2.1 Partes de un Talud.....	40
2.2.3.2.2 Deslizamiento en Taludes .....	41
2.2.3.2.3 Causas de deslizamiento.....	43
2.2.3.3 Quebrada.....	45
2.2.3.3.1 Quebrada Hatun Huayco .....	45
<b>2.2.3.3.2 Estado Actual de la quebrada.....</b>	<b>46</b>
2.2.4 Flujo .....	49
2.2.4.1 Características generales de los flujos.....	50
2.2.4.1.1 Velocidad de los flujos.....	50
2.2.4.2 Flujo de detritos .....	51
<b>2.2.4.2.1 Medición del flujo de detritos .....</b>	<b>53</b>
2.2.4.2.2 Mecánica del movimiento .....	55



2.2.4.2.3	Deposición .....	56
2.2.4.4	Frecuencia de Huaycos en el tiempo .....	57
2.2.4.5	Sistema de drenaje .....	61
2.2.5	Software RAMMS: Debris Flow .....	62
<b>2.3</b>	<b>Hipótesis .....</b>	<b>63</b>
2.3.1	Hipótesis general .....	63
2.3.2	Sub hipótesis .....	64
<b>2.4</b>	<b>Definición de variables .....</b>	<b>64</b>
2.4.1	Variables independientes .....	64
2.4.2	Variables dependientes .....	65
2.4.3	Cuadro de operacionalización de variables .....	66
<b>Capítulo III:</b>	<b>Metodología de la Investigación .....</b>	<b>67</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodología de la Investigación .....</b>	<b>67</b>
3.1.1	Enfoque de la investigación .....	67
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación .....	67
3.1.3	Método de investigación .....	68
<b>3.2</b>	<b>Diseño de la investigación .....</b>	<b>68</b>
3.2.1	Diseño metodológico .....	68
3.2.2	Diseño de ingeniería .....	69
<b>3.3</b>	<b>Población y muestra .....</b>	<b>73</b>
3.3.1	Población .....	73
3.3.1.1	Descripción de la población .....	73
3.3.1.2	Cuantificación de la población .....	73
3.3.2	Muestra .....	73
3.3.2.1	Descripción de la muestra .....	73
3.3.2.2	Cuantificación de la muestra .....	73
3.3.2.3	Método de muestreo .....	74
3.3.2.4	Criterios de evaluación de muestra .....	74
3.3.3	Criterios de inclusión .....	75
<b>3.4</b>	<b>Instrumentos .....</b>	<b>75</b>
3.4.1	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos .....	75
3.4.2	Instrumentos de Ingeniería .....	81



<b>3.5 Procedimientos de Recolección de datos .....</b>	<b>81</b>
3.5.1 Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó para la recolección de datos .....	81
3.5.1.1 Proceso de fotogrametría .....	81
3.5.1.2 Muestreo de Suelo .....	101
3.5.1.3 Recolección de datos hidrológicos .....	103
3.5.1.4 Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos .....	106
<b>3.5.1.4.1 Granulometría</b> .....	<b>106</b>
<b>3.5.1.4.2 Contenido de humedad</b> .....	<b>111</b>
<b>3.5.1.4.3 Límites de Atterberg</b> .....	<b>112</b>
<b>3.5.1.4.4 Gravedad específica</b> .....	<b>115</b>
<b>3.5.1.4.5 Corte Directo</b> .....	<b>117</b>
<b>3.6 Procedimiento de análisis de datos .....</b>	<b>121</b>
3.6.1 Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó .....	121
3.6.1.1 Restitución fotogramétrica.....	121
3.6.1.2 Creación de Hidrograma Unitario .....	132
3.6.1.3 Granulometría .....	143
3.6.1.4 Contenido de Humedad .....	148
3.6.1.5 Límites de Atteberg .....	150
3.6.1.6 Gravedad Específica.....	152
3.6.1.7 Corte Directo.....	153
3.6.1.8 Procesamiento con el software RAMMS: Debris Flow .....	159
<b>3.6.1.8.1 Volumen del flujo de detritos</b> .....	<b>169</b>
<b>3.6.1.8.2 Alturas Máximas</b> .....	<b>170</b>
<b>3.6.1.8.3 Velocidad Máxima</b> .....	<b>170</b>
<b>3.6.1.8.5 Máximo Momento</b> .....	<b>171</b>
<b>3.6.1.8.6 Máximo Corte</b> .....	<b>172</b>
<b>3.6.1.8.7 Corte transversal del flujo modelado</b> .....	<b>172</b>
<b>Capítulo IV: Resultados .....</b>	<b>175</b>
<b>Capítulo V: Discusión.....</b>	<b>175</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>181</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>183</b>



<b>Recomendaciones.....</b>	<b>185</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>186</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>189</b>



## Índice de tablas

Tabla 1 Precipitación total mensual de varias estaciones 1991 .....	27
Tabla 2 Origen del material del suelo .....	39
Tabla 3 Parámetros que afectan el fenómeno de erosión .....	44
Tabla 4 Escala de velocidad de movimientos en masa.....	54
Tabla 5 Escala de Intensidad de Deslizamientos para diferentes procesos .....	55
Tabla 6 Ocurrencias de eventos de huaycos .....	57
Tabla 7 Metas antes eventos de huaycos .....	58
Tabla 8 Cuadro de operacionalización de variables .....	66
Tabla 9 Formato de recolección de datos Contenido de Humedad.....	78
Tabla 10 Formato de recolección de datos Granulometría .....	78
Tabla 11 Formato de recolección de datos Límite líquido .....	79
Tabla 12 Formato de recolección de datos Gravedad específica .....	79
Tabla 13 Formato de recolección de datos Corte Directo .....	80
Tabla 14 Programación de levantamiento fotogramétrico.....	86
Tabla 15 Datos de precipitación total (mm) Estación Kayra .....	103
Tabla 16 Precipitación máxima en 24hrs (mm) Estación Kayra.....	105
Tabla 17 Serie de tamices .....	108
Tabla 18 Toma de datos Granulometría .....	110
Tabla 19 Toma de datos Contenido de humedad .....	112
Tabla 20 Toma de datos de Limite plástico (MTC E 111, AASHTO T 90) .....	115
Tabla 21 Tabla 18 Toma de datos de Limite Liquido (MTC E 110, AASHTO T 89).....	115
Tabla 22 Toma de datos Gravedad específica .....	116
Tabla 23 Toma de datos generales C-3 .....	119
Tabla 24 Toma de datos de Corte Directo C-3 .....	120
Tabla 25 Hietograma periodo de retorno 100 años .....	138
Tabla 26 Hidrograma Unitario periodo de retorno 100 años.....	141
Tabla 27 Resultados ensayo de Granulometría C-1 .....	144
Tabla 28 Resultados ensayo de Granulometría C-2 .....	145
Tabla 29 Resultados ensayo de Granulometría C-3 .....	146
Tabla 30 Porcentaje de contenido .....	147
Tabla 31 Resultado de Diámetros Efectivos.....	147
Tabla 32 Resultados de Contenido de Humedad C-1.....	149



Tabla 33 Resultados de Contenido de Humedad C-2.....	149
Tabla 34 Resultados de Contenido de Humedad C-3.....	149
Tabla 35 Resultados Limite plástico C-3.....	150
Tabla 36 Resumen de Límites de Atteberg C-3 .....	151
Tabla 37 Resultados Limite líquido C-3.....	151
Tabla 38 Resultados de Gravedad específica C-3 .....	152
Tabla 39 Valores típicos de gravedad específica .....	153
Tabla 40 Resultados Generales Corte Directo C-3 .....	155
Tabla 41 Resultados corte directo C-3 .....	156
Tabla 42 Esfuerzo Cortante Crítico .....	158
Tabla 43 Resumen valores Corte Directo C-3 .....	158
Tabla 44 Resumen de resultados RAMMS.....	174





## Índice de figuras

Figura 1 Curvas de Nivel.....	14
Figura 2 Distancia focal y plano focal.....	15
Figura 3 Fotogrametría aérea.....	16
Figura 4 Ciclo Hidrológico.....	18
Figura 5 Cuencas arreicas.....	19
Figura 6 Cuencas endorreicas.....	20
Figura 7 Cuencas exorreicas.....	20
Figura 8 Elementos básicos de la cuenca.....	22
Figura 9 Partes de la cuenca.....	23
Figura 10 Acumulación de agua en el Perú.....	26
Figura 11 División hidrográfica e hidrológica de la cuenca.....	28
Figura 12 Curva IDF.....	34
Figura 13 Hietograma.....	35
Figura 14 Hidrograma Unitario.....	35
Figura 15 Patrones de drenaje en una cuenca.....	36
Figura 16 Fases del suelo.....	37
Figura 17 Fases de suelo: Volumen.....	38
Figura 18 Fases del suelo: Peso.....	38
Figura 19 Ladera Natural.....	40
Figura 20 Talud Artificial.....	40
Figura 21 Partes del deslizamiento.....	42
Figura 22 Quebrada Hatun Huayco, 2012.....	45
Figura 23 Quebrada Hatun Huayco.....	45
Figura 24 Situación actual de la quebrada.....	46
Figura 26 Grietas presentes.....	47
Figura 25 Grietas de 5cm.....	47
Figura 27 Grietas de 8cm.....	47
Figura 28 Grietas situación actual.....	47
Figura 29 Formación de grietas y material suelto.....	48
Figura 30 Material suelto.....	48
Figura 31 Material suelto.....	48
Figura 32 Pendiente pronunciada.....	48
Figura 33 Vista panorámica material aluvial.....	49



Figura 34 Material aluvial, parte baja.....	49
Figura 35 Flujo de detritos.....	49
Figura 36 Formación de flujo de detritos .....	50
Figura 37 Velocidad de los flujos .....	52
Figura 38 Modelo de flujo de detritos .....	53
Figura 39 Esquema de un flujo de detritos .....	55
Figura 40 Esquema de los procesos de acumulación de depósitos .....	56
Figura 41 Eventos de Huaycos: Mensual .....	57
Figura 42 Mapa de peligros geológicos del Cusco .....	59
Figura 43 Mapa de peligro geodinámico por aluvión Valle de Cusco -2010 .....	60
Figura 44 Sistema de drenaje en Hatun Huayco .....	62
Figura 45 Diseño de ingeniería de la investigación .....	72
Figura 46 Carta nacional 28S-IV-NE 1/25,000.....	75
Figura 47 Mapa geológico de cuadrángulo de Cusco .....	77
Figura 48 Vista Quebrada Hatun Huayco en Google Earth.....	82
Figura 49 Página Web Alos Palsar - Geospatial .....	83
Figura 50 Selección del modelo de elevación.....	83
Figura 51 DEM importado.....	84
Figura 52 Opciones de generación de la cuenca .....	84
Figura 53 Cuenca generada.....	85
Figura 54 Vista del área de levantamiento.....	87
Figura 55 Proceso de instalación del GPS Diferencial.....	87
Figura 56 Proceso de instalación del GPS Diferencial.....	88
Figura 57 Primer punto de control .....	89
Figura 58 Segundo punto de control .....	89
Figura 59 Cuarto punto de control .....	89
Figura 60 Tercer punto de control.....	89
Figura 61 Quinto punto de control .....	89
Figura 62 Aplicación UAV Forecast.....	90
Figura 63 Map Pilot.....	91
Figura 64 Proceso Map Pilot.....	91
Figura 65 Proceso del sentido de vuelo .....	92
Figura 66 Instalación del vehículo aéreo .....	92
Figura 67 Vuelo de vehículo.....	92



Figura 68 Vista del levantamiento.....	93
Figura 69 Instalación de GPS Diferencial .....	93
Figura 70 Equipo GPS Diferencial instalado.....	94
Figura 71 Colocación de puntos de control .....	94
Figura 72 Segundo punto de control .....	95
Figura 73 Primer punto de control .....	95
Figura 74 Tercer punto de control.....	95
Figura 75 Aplicación UAV Forecast.....	96
Figura 76 Selección del punto de partida y orientación del vuelo .....	97
<i>Figura 78 Aterrizaje del vehículo aéreo.....</i>	<i>97</i>
Figura 77 Montaje del vehículo aéreo .....	97
Figura 79 Levantamiento en Google Earth.....	98
Figura 80 Vista de la quebrada.....	98
Figura 81 Aplicación UAV Forecast.....	99
Figura 82 Fotografía del vuelo .....	100
Figura 83 Montaje del vehículo aéreo .....	100
Figura 84 Pilotaje del vehículo aéreo .....	100
Figura 85 Aterrizaje del vehículo aéreo.....	100
Figura 87 Realización de la calicata 01 .....	101
Figura 86 Vista de la quebrada desde la parte inferior.....	101
<i>Figura 88 Muestra 01.....</i>	<i>102</i>
Figura 89 Vista de la calicata 02 .....	102
Figura 90 Realización de la calicata 02 .....	102
Figura 91 Muestra 02.....	102
Figura 93 Realización de la calicata 03 .....	103
Figura 92 Vista de la quebrada, desde la parte superior.....	103
Figura 94 Cuarteo de la muestra de suelo.....	107
Figura 95 Lavado de suelo Malla 200 .....	107
<i>Figura 96 Muestra tomada para el ensayo de granulometría.....</i>	<i>107</i>
Figura 97 Materiales para la ejecución del ensayo de granulometría .....	108
Figura 98 Agitador eléctrico .....	109
Figura 100 Material retenido en respectivas mallas .....	109
Figura 99 Visualización de la textura del material.....	109
Figura 101 Materiales para realización de Contenido de Humedad .....	111



Figura 102 Preparación del equipo de corte directo .....	117
Figura 103 Realización del ensayo de corte directo .....	118
Figura 104 Ícono del software Agisoft Metashape .....	121
Figura 105 Ventana de inicio de Agisoft Metashape .....	121
Figura 106 Proceso de alineado de fotos .....	122
Figura 107 Vista de las imágenes alineadas .....	122
Figura 108 Creación DEM.....	123
Figura 109 Procesamiento de la nube de puntos dispersa .....	123
Figura 110 Creación de la nube de puntos dispersa .....	123
Figura 111 Nube de puntos dispersa .....	124
Figura 112 Creación de nube de puntos densa.....	124
Figura 113 Vista del DEM en 3D.....	125
Figura 114 Inicio de Global Mapper con el DEM .....	125
<i>Figura 115 Generación de subcuencas .....</i>	<i>126</i>
Figura 116 Visualización de las subcuencas.....	126
Figura 117 Exportación del DEM a SHAPEFILE .....	127
Figura 118 Visualización del SHAPEFILE en Arc GIS.....	127
Figura 119 Limpieza de polígonos .....	127
Figura 120 Selección de la red hídrica .....	128
Figura 121 Activación de la Extensión Spatial Analyst en Arc Map.....	129
Figura 122 Plano Ortomosaico a 50cm .....	130
<i>Figura 123 Plano de pendientes Hatun Huayco.....</i>	<i>131</i>
Figura 124 Inicio del software HEC HMS .....	132
Figura 125 Creación del Modelo de Cuenca.....	132
Figura 126 Ingreso de los elementos gráficos de la cuenca.....	133
Figura 127 Creación del punto de desfogue de la cuenca .....	133
Figura 128 Ingreso del área de la cuenca.....	134
Figura 129 Ingreso del número de curva .....	134
Figura 130 Ingreso del tiempo de retardo.....	135
Figura 131 Creación del hietograma .....	135
Figura 132 Ingreso del intervalo de tiempo .....	136
Figura 133 Ingreso de la fecha de la precipitación mayor .....	136
Figura 134 Ingreso del hietograma.....	137
Figura 135 Hietograma para 100 años de periodo de retorno.....	138



Figura 136 Creación del modelo meteorológico .....	139
Figura 137 Ingreso del hietograma.....	139
Figura 138 Ingreso del intervalo de la fecha, hora e intervalo de tiempo .....	140
Figura 139 Corrida de programa .....	140
Figura 140 Revisión de resultados .....	141
Figura 141 Hidrograma unitario.....	142
Figura 142 Resumen de resultados.....	143
Figura 143 Curva granulométrica 01.....	144
Figura 144 Curva granulométrica 02.....	145
Figura 145 Curva Granulométrica 03 .....	146
Figura 146 Clasificación de suelos SUCS .....	148
Figura 147 Límite líquido C-3 .....	151
Figura 148 Gravedad específica C-3 .....	153
Figura 149 Esfuerzos cortantes vs deformación .....	158
Figura 150 Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal .....	158
Figura 151 Ícono de inicio RAMMS.....	159
Figura 152 Interface del software RAMMS .....	159
Figura 153 Ejecución del software RAMMS.....	161
Figura 154 Ventana de entrada de datos.....	161
Figura 155 Entrada de archivo ASCII .....	162
Figura 156 Calculo de coordenadas .....	162
Figura 157 Modelo de flujo de detritos creado .....	162
Figura 158 Creación del Release Area .....	163
Figura 159 Ventana creación de dominio .....	163
Figura 160 Ventana creación de release area.....	163
Figura 161 Visualización de release area y dominio.....	164
Figura 162 Parámetros de release area .....	164
Figura 163 Visualización con los parámetros creados .....	165
Figura 164 Pestaña de datos Generales .....	165
Figura 165 Parámetros de modelación .....	166
Figura 166 Factores Mu y Xi .....	167
Figura 167 Datos hidrológicos.....	167
Figura 168 Ventana de procesamiento del modelo .....	168
Figura 169 Ventana de resumen del modelamiento .....	168



Figura 170 Modelo de flujo de detritos culminado .....	169
Figura 171 Ventana de volúmenes totales .....	169
Figura 172 Gráfico de alturas máximas.....	170
Figura 173 Gráfica de velocidades máximas .....	170
Figura 174 Gráfica de máxima presión .....	171
Figura 175 Gráfica de momento máximos momentos .....	171
Figura 176 Gráfica de máximo corte.....	172
Figura 177 Corte transversal del flujo .....	172
Figura 178 Vista en 3D del flujo modelado.....	173
Figura 179 Área ocupada por el flujo de detritos.....	173



## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1 Identificación del problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

El fenómeno de flujo de detritos, comúnmente conocido como “Huaycos”, es un problema que continúa causando pérdidas humanas y materiales en todo el mundo. En el año 2018, en el país vecino de Bolivia todos los medios registraban fuertes huaycos, que afectaron a siete regiones, a raíz de fuertes precipitaciones que dejaron 14 muertos desde que empezó la época de lluvias en noviembre del 2018, declarando en estado de emergencia por el presidente Evo Morales por dejar sin vivienda a al menos 50 000 personas y tener 33 000 cultivos dañados, según la oficina de Defensa Civil. (Balderrama, 2018)

Éste fenómeno natural, no distingue zonas geográficas como se suele pensar, sino que también zonas costeras son susceptibles a sufrir grandes catástrofes debido a la falta de prevención que existe dentro de la población, así lo muestra el Distrito de Chosica, ubicado en Lima, donde en el año 2017, el país entero se conmocionó con un evento extremo que arrasó con viviendas, puentes, obstruyó pistas, mató animales, según la Central de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) al 11 de abril la cifra total de personas afectadas y damnificadas por los huaycos, lluvias, inundaciones y desbordes de ríos en el departamento de Lima llegó a 40,701. Una de las víctimas de este fenómeno devastador, Evangelina Chamorro, describió la falta de prevención ante estos eventos, de la siguiente manera: *“Salí a ver y el lodo estaba a mi lado. Ya me estaba llevando cuando mi esposo me jaló y me hizo agarrar un tronco (...) pero el lodo me tapó y me resbalé de su mano”*. (15 de marzo, el día en que Lima sufrió la devastación de los huaicos, 2017)

En nuestra región, en el mes de enero del año 2011, se registraron huaycos en la provincia de Cusco, distrito de Saylla, debido a torrenciales precipitaciones, las cuales afectaron seriamente varias hectáreas de cultivos y arrasaron parte de la vía que une al distrito de Saylla. Además, cientos de personas tuvieron que trasladar sus pertenencias ante el colapso de sus viviendas, la mayoría hechas de adobe. (Sequeiros, 2011)

Como se observa, ninguna zona es excepción para presentar un evento de tal magnitud, es así que, en la zona de estudio, según los antecedentes históricos de la Quebrada de



Hatun Huayco, ésta se encuentra susceptible a sufrir numerosos riesgos causados en su mayoría por las precipitaciones, tales como deslizamientos de taludes, erosión de bordes, flujo de detritos, etc.

Es pertinente resaltar que anteriormente de dicha quebrada, se extraía material mineral que servía de base y sub base para carreteras de la zona, sin embargo, dicha cantera fue restringida por la Municipalidad de Saylla y el INDECI. (Ver ANEXO 01).

Según datos estadísticos, se sabe que el 40% de los riesgos mencionados ocurren a causa de fuertes lluvias que presenta la región de Cusco, y resulta sorprendente que dado dicho contexto no se haya dispuesto un plan de prevención tanto en el crecimiento urbano de la zona, como en un plan de mitigación para dichos fenómenos naturales, lo que conllevaría a pérdidas, no solo materiales, sino también intangibles, es así que nosotros analizando este escenario, nos lleva a resaltar la importancia de una investigación de ésta índole, ya que puede, si las autoridades competentes toman las medidas preventivas correspondientes, salvaguardar las vidas de personas que son vecinas al área en estudio.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Formulación del problema general**

¿Cuál será el análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?

### **1.1.2.2 Formulación de los problemas específicos**

- ¿Cuál será la precipitación máxima cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?
- ¿Cuáles serán las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?
- ¿Cuáles son los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?





## **1.2 Justificación e Importancia de la investigación**

### **1.2.1 Justificación técnica**

Alrededor del mundo, se han desarrollado metodologías que permiten prevenir fenómenos naturales; el presente trabajo analiza los parámetros hidrológicos, topográficos y geológicos de una quebrada que está susceptible a activarse, con el fin de prevenir el flujo de detritos y el posible daño que éste podría ocasionar.

Es así que profesionales del INGEMMET, desarrollaron una metodología para estudiar el flujo de detritos en función de los parámetros mencionados anteriormente, la cual se encuentra en el estudio que hicieron de la quebrada Supay Huayco del año 2018 en el informe técnico número A 6837 titulado “Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento activo Supay Huayco”

Los resultados de este estudio sirven de base para la elaboración de un proyecto de prevención, si es que fuera el caso, que evite pérdidas de vidas, asegure la continuidad de los servicios y minimice los daños en las estructuras aledañas.

Además, el presente trabajo de investigación, es importante para el sector de ingeniería civil debido a que, hace análisis de parámetros que requieren de nociones importantes para su adecuado cálculo, así mismo, la metodología usada es un importante precedente que ayuda a tener un registro de dichos parámetros, por otro lado, su confiabilidad permite que pueda ser aplicada en otros análisis o proyectos hidrológicos.

### **1.2.2 Justificación social**

Dada la envergadura de este proyecto de tesis, el primer grupo beneficiario, son los pobladores de la A.P.V. Ferroviarios, puesto que se analizan las características que hacen susceptible a la quebrada Hatun Huayco en el flujo de detritos, para brindar asistencia y prevenir un evento desastroso. Así mismo, dicho proyecto busca crear medidas de reforzamiento, creando un importante antecedente en lo que refiere a la prevención y protección de taludes, por lo tanto, se considera como segundo grupo beneficiario a toda la Comunidad Universitaria, que tiene acceso a la investigación realizada, con el objetivo de propagar la importancia de realizar éste tipo de investigación.

Finalmente, los resultados de ésta investigación ayudan a que las autoridades competentes en Defensa Civil, tomen las decisiones más convenientes para salvaguardar



la vida de las personas que viven en la comunidad vecina a la Quebrada Hatun Huayco, denominada APV Ferroviarios.

### **1.2.3 Justificación por viabilidad**

Los ensayos y procesos computacionales requeridos en esta investigación, están normados y basados en las normas y/o manuales correspondientes a INGEMMET, ASTM, AASHTO y fueron realizados en la Universidad Andina del Cusco, haciendo uso de sus equipos, así mismo, fue necesario el uso de equipos externos para el levantamiento topográfico, por lo que se contó con el auspicio de la empresa cusqueña ITD C&C S.A.C. dedicada a la implementación de equipos topográficos de última generación.

Por otro lado, la accesibilidad a la zona, se realizó a través de camioneta con el consentimiento de la Municipalidad de Saylla, que tiene la jurisdicción de la zona, esto debido a que la accesibilidad a la quebrada es bastante accidentada y se consideró importante salvaguardar los equipos utilizados, así como el bienestar del personal involucrado en el estudio. Los procesos restantes se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil, en lo que respecta al trabajo de gabinete se requirió de programas conocidos como RAMMS, cuya licencia fue adquirida mediante una solicitud estudiantil a la empresa, ArcGIS, Civil 3D, y Microsoft Excel, que son fácilmente adquiridos.

### **1.2.4 Justificación por relevancia**

La importancia de esta investigación recae en el análisis de los parámetros de la cuenca, que hacen susceptible a la Quebrada Hatun Huayco, de sufrir el fenómeno de flujo de detritos, lo cual perjudicaría de manera sustancial a la calidad de vida de las personas que viven cerca de dicha zona, teniendo en consideración los principios indicados en la norma, los cuales garantizan el bienestar de las personas ante cualquier tipo de fenómeno natural.

Así mismo, un punto importante a resaltar, son los resultados de este estudio, que sirven de base para la elaboración de un proyecto de prevención o mitigación ante éste tipo de desastres naturales, si es que fuese el caso, que evite pérdidas de vidas, asegure la continuidad de los servicios y minimice los daños en las estructuras cercanas.



Además, ésta investigación es integradora, ya que cuenta con una rama académica principal de acción que es la Hidrología, sin embargo, coordina y se complementa con otras ramas de la ingeniería civil (Topografía y Suelos), así mismo, también es una investigación que muestra el uso y adaptación de teorías y metodologías de la ingeniería a nuevas tecnologías con el uso de V.A.N.T y distintos softwares especializados en el tema (Map Pilot, Agisoft Metashape, Hec HMS, ARC Gis, ARC Map, RAMMS, etc).

### **1.3 Limitaciones de la investigación**

#### **1.3.1 Limitación de lugar**

La accesibilidad a la zona, es una de las principales razones, por las que no fue posible realizar más de tres muestras de suelo. Las muestras analizadas en laboratorio, corresponden al nivel inferior, medio y alto de la quebrada, que, según el levantamiento topográfico, tiene una pendiente mayor al 80%. Además, realizar calicatas adyacentes a la quebrada, puede ser considerado como un método muy invasivo, capaz de afectar su estabilidad y poner en riesgo a toda la zona de Hatun Huayco.

#### **1.3.2 Limitación de software**

Para la obtención del software que realizó el modelo matemático del huayco, se analizó un amplio listado de softwares utilizados internacionalmente en este tipo de investigación, tales como FLO2D, FLO3D, OpenFOAM, etc. Sin embargo, todos éstos si bien ofrecen buenos resultados, tienen un costo por su concepto de licencia, lo cual estuvo fuera del alcance presupuestal de la investigación, por lo cual se hizo uso del software RAMMS Debris Flow, que también cuenta con un historial de estudio internacional y que además podía brindarnos la opción de una licencia periódica estudiantil con fines netamente académicos, lo cual fue sustentado y analizado por los propios miembros de la organización y fue otorgada para nuestra investigación por seis meses.

#### **1.3.3 Limitación de muestreo**

Esta investigación, trabajó conjuntamente con el área de Prevención de desastres naturales, perteneciente a la Municipalidad Distrital de Saylla, para poder obtener todos los permisos necesarios para estudiar la quebrada Hatun Huayco, la cual está



bajo su jurisdicción; es por ello que el número máximo de muestreo de suelos fue de 03 unidades, permiso otorgado por dicha área. Esta cantidad de calicatas fue dada debido a la constante preocupación de los pequeños huaycos que sufre ésta quebrada, siendo un potencial riesgo para los investigadores.

## **1.4 Objetivo de la investigación**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar la precipitación máxima cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.
- Determinar las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.
- Evaluar los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.

## **Capítulo II: Marco Teórico**

### **2.1 Antecedentes de la tesis o investigación actual**

#### **2.1.1 Antecedentes a nivel nacional**

##### **2.1.1.1 Antecedente Nacional 01**

Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco realizado por Benavente Velasquez, Baca Vidal y Gomez Noblega mediante INDECI en el año 2004 en la ciudad del Cusco.

Según los ingenieros Benavente Velasquez, Baca Vidal y Gomez Noblega (Velasquez, Fernandez Baca Vidal, & Gomez Noblega, 2004) en su estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco, se pretende estudiar el mapa de peligros del Cusco, donde serán beneficiada, una población calculada de 304 494 habitantes. Esta es la población del área urbana que ocupa áreas en los distritos de Cusco, Santiago, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.



Sin embargo, haciendo un énfasis, en el suroeste del Distrito de Saylla, donde se encuentra un deslizamiento activo que ha tenido etapas críticas, afectando en varias oportunidades la infraestructura de la escuela, puente y la carretera 3S Cusco – Arequipa, por tal motivo, en épocas de lluvias, la quebrada Hatun Huayco podría reactivarse principalmente por el grado de alteración por meteorización de las laderas y la pendiente de la quebrada, el contenido de humedad, el desarrollo natural de valle la constitución del terreno y las fuertes precipitaciones pluviales; todo ello unido a los factores antrópicos, producen movimientos de masas de tierras saturadas por efecto de la gravedad.

Para saber, en qué nivel de peligro se encuentran los habitantes de la zona urbana del Cusco, se instauró la siguiente metodología de estudio:

- a) Recopilación Bibliográfica
- b) Elaboración del plano topográfico base a escala 1:25000
- c) Reconocimiento Geológico, Geotécnico y Topográfico del área de estudio
- d) Mapeo y cartografiado de suelos y unidades estratigráficas
- e) Procesamiento de datos de informes existentes.
- f) Elaboración del plano Geológico Local.
- g) Estudio Geofísico. - Método de Refracción Sísmica
- h) Presentación de planos temáticos. - Elaboración del plano de Fenómenos Climáticos. - Elaboración del plano Geodinámico. - Tipos de Suelos. - Capacidad Portante.

Bajo éstos criterios, se llega a la conclusión, que la ciudad del Cusco está ubicada en un valle donde convergen varias cuencas hidrográficas, por lo que su principal causa de susceptibilidad, está dada por inundaciones y deslizamientos de tierra, así como su efecto en masa (suelo y agua) en la forma de flujo de detritos fruto del embalse y consiguiente desembalse violento.

#### **2.1.1.2 Antecedente Nacional 02**

Evaluación del peligro de inundación ocasionado por el río Vilcanota en el Centro Poblado de Pisac, Cusco, realizado por Carlos Luna Loayza; Marisol Almanza Ascue y Rosa Nina Mamani; en la Universidad Andina del Cusco el año 2018, en la ciudad del Cusco.



Según Luna C. y Almanza M. (Loayza, Almanza Ascue , & Nina Mamani, 2018) en su trabajo de investigación: “Evaluación del peligro de inundación ocasionado por el río Vilcanota en el centro poblado de Pisac” elaborado en la Universidad Andina del Cusco, tienen como objetivo principal fue evaluar el Peligro de Inundación, ocasionado por la crecida del Río Vilcanota, a causa de las precipitaciones pluviales en el centro poblado de Pisac, donde se tiene varios antecedentes históricos de desbordes del río Vilcanota que ocasionan erosión constante en las márgenes del río, haciendo que se pierdan áreas de terreno de cultivo y siendo un riesgo para las poblaciones adyacentes.

Así mismo, se observa que la muestra evaluada corresponde a la cuenca del río Vilcanota, donde, los principales beneficiados con ésta investigación, serán los habitantes de Pisac con un aproximado de 9 796, según el INEI.

La metodología usada en esta investigación fue la del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED en el año 2018, la cual, ayudó a establecer factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la determinación de los niveles de peligro, ya sean aquellos peligros generados por fenómenos de origen natural como es el caso de la inundación; así mismo, mediante el proceso de análisis jerárquico (método multi criterio) se creó una escala de SAATY que muestra los valores de peligrosidad ante una inundación en el Centro poblado de Pisac.

Dentro de las conclusiones se obtuvo la regionalización de las precipitaciones máximas en 24 horas de la cuenca de estudio, que muestran que para un periodo de retorno de 50 años se obtiene 604.58 m<sup>3</sup>/s de caudal y un área de inundación de 1,147 hec.; para un periodo de retorno de 100 años se obtiene 740.11 m<sup>3</sup>/s de caudal y un área de inundación de 12.14 hec. y, por último, para un periodo de retorno de 500 años se obtiene un caudal de 1101.08 m<sup>3</sup>/s y un área de inundación de 23.18 hec.; por lo que la valoración del peligro en síntesis es alta.

### **2.1.1.3. Antecedente Nacional 03**

Movimientos en masa en la quebrada Canto Grande, Lima, realizado por Jenny Marina Vásquez Acuña, Antonio Guzmán M. en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos año 2009, en la ciudad de Lima.



Según Vasquez, J. y Guzmán, A. (Vásquez Acuña & Guzmán M., 2009) en su investigación: “Movimientos en masa en la quebrada Canto Grande, Lima” , tiene como objetivo, identificar las áreas afectadas en caso de movimiento de masas en la quebrada Canto Grande, para apoyar la gestión de riesgos, dentro de la planificación y el ordenamiento territorial, afianzando el papel de la geología en el Diseño Urbano. Dicho estudio se realiza en la Quebrada Canto Grande, que comprende al distrito más poblado del Perú, San Juan de Lurigancho, en la provincia de Lima, que tiene una población que supera los 900 000 habitantes.

El problema principal confluye en que la mayoría de las viviendas ubicadas en las laderas de la quebrada Canto Grande, están sujetas a peligros principalmente de caídas de rocas, esta situación no solo está en función a los aspectos físicos sino también a la precariedad de las viviendas, por lo que se insta a planificar la ocupación del territorio de acuerdo a las necesidades de una gran urbe, teniendo en consideración que la población ocupa los bordes que limitan las zonas planas de la ciudad, la cual es sensible a fenómenos de movimiento de masas.

La metodología utilizada, consiste en la zonificación de la susceptibilidad, para lo cual se desarrolló un mapa en donde se enfocan las áreas susceptibles a experimentar fenómenos de remoción en masa.

En esta investigación logró determinar e identificar 205 peligros diferenciados en 5 tipos:

- a) Caídas de rocas
- b) Flujo de detritos
- c) Vuelcos
- d) Erosión de laderas
- e) Erosión fluvial

Es preciso señalar, que los fenómenos mencionados, se localizan especialmente en las laderas de los cerros, tanto en zonas con pendientes medias y bajas que son afectadas por la meteorización.



## 2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

### 2.1.2.1. Antecedente Internacional 01

Estudio titulado “Flujos de detritos y aluviones históricos en la cuenca del Rio Blanco (32°55'-33°10' y 69°10'-69°25'), Mendoza”, realizado por Páez, M. S., Moreira, S. M., y Brenning, A, para la Revista de la Asociación Geológica Argentina en el año 2013. El objetivo de este proyecto de investigación es analizar la cuenca del rio blanco la cual está sometida a un clima árido con precipitaciones medias anuales de 400mm.

El problema que causan las lluvias intensas y de corta duración están concentradas en los tres meses de verano actuando frecuentemente como disparadoras de flujos de detritos y aluviones en el Cordón del Plata y generando variaciones en el caudal del rio Blanco por aportes extraordinario de precipitaciones.

La metodología que se utilizó en la investigación consistió en buscar información sobre la ocurrencia de flujos de detritos y aluviones reportados entre 1942 y 2001 en la cuenca del rio Blanco, dicha información fue recopilada y analizada a partir de crónicas periodísticas, datos aportados por los pobladores, registro pluviométrico de la zona y años de anomalías climáticas, tratando de establecer la precipitación mínima requerida para desestabilizar estas pendientes.

Se concluye que durante el periodo mencionado se registraron varios flujos de detritos y aluviones, de los cuales, los más importantes ocurrieron en 1960, 1967, 1970 y 1982; asimismo se produjeron dos eventos durante los años 1954, 1967, 1982 y 1993. Por lo tanto, se observa que la intensidad de los eventos de flujos de detritos y aluviones se incrementa durante los años de anomalías climáticas correspondientes a la fase cálida del fenómeno ENOS “El niño”

### 2.1.2.2. Antecedente Internacional 02

Estudio denominado “Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la quebrada Doña María”, realizada por Luis Javier Montoya J. para la Universidad de Medellín, Colombia en el año 2009.

El objetivo de dicha investigación es analizar la Cuenca del rio Doña María, que es una cuenca con gran extensión y tiene una gran área tributaria, lo cual, en épocas de





lluvia logra acumular gran cantidad de precipitaciones pluviales, las cuales ocasionan desbordes e inundaciones.

En la investigación, la metodología usada es netamente cualitativa, la cual se utiliza para evaluar avenidas torrenciales en función de las características morfológicas, geomorfológicas y topográficas; asimismo, completan su investigación con el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS), donde se identificó puntos críticos, se determinaron puntos de equilibrio y umbrales además de identificar procesos existentes, tendencias y determinación de dinámica.

Se concluye en la investigación realizada a la quebrada Doña Maria, lo siguiente: Existen corrientes rápidas en la parte alta y alineamiento sinuoso en la parte media y baja además se identificó 5 tramos de acuerdo a la pendiente, con valores de 40%, 12.8%, 4% y 1.9%.

En las riberas se puede ver explotación artesanal de aluviales, se identificaron 5 zonas. En la parte alta, gran cantidad de producción de sedimentos, en la parte media desembocan gran cantidad de vertientes además de poseer gran capacidad de transporte de aluviales.

### **2.1.2.3. Antecedente Internacional 03**

Estudio denominado "Modelo de flujo de escombros y lodo aplicando flo-2d, caso sub cuenca del Río Shullcas" realizado por Gamión F. y Muñiz A. para la Universidad Central de Quito, Ecuador en el año 2014. En dicha investigación, se evalúa el estudio de la cuenca del río Shullcas, cuyo objetivo principal fue evaluar el flujo de escombros originado por descargas de agua con sedimentos en zonas influencia glaciar o morrénica.

El problema radica en el desembalse de las lagunas glaciares, que generalmente ocurren como consecuencia de la caída de bloques de hielo o la ruptura del dique morrénico que contiene a la laguna. Durante un evento de este tipo, el aluvión generado, se caracteriza por tener procesos de flujo que varían entre un flujo de escombros, un flujo hiperconcentrado y/o un flujo normal (inundación). Estas variaciones se deben principalmente a cambios en la concentración de sedimentos, cuando estos son transportados e incorporados dentro del flujo o depositados y diluidos por corrientes de agua adicionales al flujo.



La metodología usada fue el modelo numérico cuadrático reológico propuesta por O'Brien y Julien, el cual posteriormente es usado para elaborar un modelo numérico computacional que estime las zonas vulnerables al transporte de flujo de escombros y lodo ante un evento de avenidas críticas, la cual se asemeja a la realidad física e hidrológica en la Sub Cuenca del río Shullcas. Asimismo, se elaboró un modelo numérico que estime las zonas vulnerables al transporte de flujo de escombros y lodo ante un evento de avenidas máximas, con tal fin, se realizó un modelo hidráulico bidimensional en el software computacional FLO-2D que recrea las condiciones en las que se produce el transporte del flujo de escombros y lodo.

Para determinar los parámetros geomorfológicos y para la elaboración de los modelos digitales de elevación (DEM), se siguió los procedimientos de medición directa con equipo en campo y fotos satelitales LandSat7. (Gamion, 2014)

El volumen total que predice el modelo numérico fue de 1.03 millones de  $m^3$  y el volumen de escombros con sedimentos 1.39 millones de  $m^3$ , la profundidad máxima varía en 1.70 y 2.30 m con velocidades máximas de 5 m/s en el cauce del Río Shullcas.



## 2.2 Aspectos teóricos pertinentes

### 2.2.1 Topografía

Se denomina topografía a una parte importante de la ingeniería, la cual plantea investigar la determinación de la posición relativa de las coordenadas terrestres, mediante la compilación y procesamiento de la información, que se obtiene del estudio de las partes físicas del geoide, considerando el punto de observación como una superficie plana horizontal.

“La topografía se encarga de realizar mediciones en una porción de tierra relativamente pequeña. Las informaciones se obtienen de instituciones especializadas en cartografía y/o a través de las mediciones realizadas sobre el terreno, complementando a ésta información con la aplicación de elementales procedimientos matemáticos.” (Dueñas, 2010)

#### 2.2.1.1 División básica de la topografía

##### A. Planimetría

“Se encarga de representar gráficamente una porción de tierra, sin tener en cuenta los desniveles o diferentes alturas que pueda tener el mencionado terreno.” (Dueñas, 2010)  
Para esto es importante proyectar a la horizontal todas las longitudes inclinadas que hayan de intervenir en la determinación del plano.

##### B. Altimetría

“Se encarga de representar gráficamente las diferentes altitudes de los puntos de la superficie terrestre respecto a una superficie de referencia.” (Dueñas, 2010)

Superficie de nivel. - Es la superficie perpendicular a la dirección de la vertical.

Plano horizontal. - Es aquel plano perpendicular a la dirección de la vertical y tangente a una superficie de nivel en un solo plano. (Dueñas, 2010)

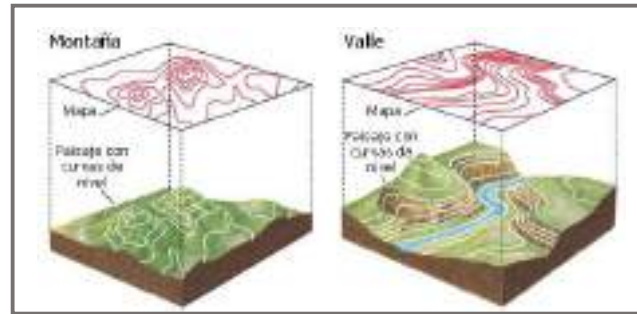
Nivelación. – Procedimiento en el cual se busca determinar la diferencia de altitudes de un punto fijo en relación a un plano horizontal.

##### C. Topografía integral

“Se encarga de representar gráficamente los diferentes puntos sobre la superficie terrestre, teniendo presente su posición planimétrica y su altitud” (Dueñas, 2010)



Figura 1 Curvas de Nivel



Fuente: (Dueñas, 2010)

### 2.2.1.2 Fotogrametría

La fotogrametría es la medida de un objeto cualquiera, tanto en lo que se refiere a su forma como a su situación, ejecutada por medio de fotografías del mismo objeto.

Frecuentemente el uso de las fotografías, especialmente tomadas desde el aire, no tienen como fin la medida, sino la investigación y la significación del contenido de las vistas, constituyendo la foto interpretación. (Lehmann, 1975)

Los trabajos fotogramétricos deben apoyarse sobre puntos visibles y localizados por métodos de triangulación topográfica o geodésicos que sirven de control tanto planimétrico como altimétrico.

Tiene las ventajas de la rapidez con que se realiza el trabajo, la profusión de los detalles y su empleo en lugares de difícil o imposible acceso desde el propio terreno. Ésta disciplina se emplea tanto para fines militares, como para los levantamientos topográficos generales, anteproyecto de carreteras, canales y usos agrícolas catastrales, estudio de tránsito, puertos, urbanismo, etc. (CANEDO ROJAS, LAZCANO LAREDO, & ZABALAGA MONTAÑO, 2006)

#### A. La cámara fotogramétrica

Un objetivo fotográfico es un sistema óptico centrado, formado por una serie de dioptrios con sus centros alineados, sin embargo, no existe objetivo fotográfico ideal, no transforma un haz cónico de rayos que entran en el sistema en otro de salida en sentido estricto. Es por esta razón que se dice que el sistema no es estigmático, la imagen de un punto formado sobre el plano focal o plano imagen se formara sobre el plano focal o plano imagen se formara en una zona de estigmatismo aproximado. En general toda deformación en la imagen se llamará aberración.

En una cámara fotogramétrica el objetivo es el elemento más importante libre de imperfecciones, asimismo el conjunto de lentes debe estar en perfecta alineación para



formar un sistema óptico centrado, el cual forma una imagen perfecta en el plano focal haciendo una imagen nítida y geoméricamente correcta

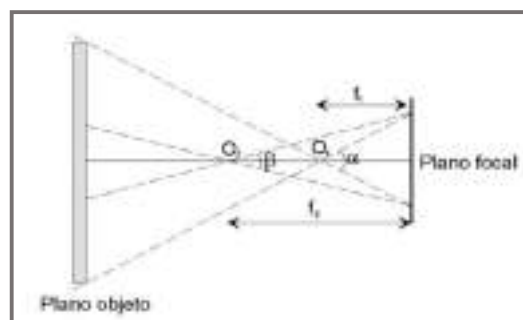
Según la inclinación del eje de la cámara los tipos de fotografías son:

- Verticales: Cuando el eje óptico de la cámara forma con la vertical, un ángulo no mayor de  $3^\circ$ .
- Oblicuas: Cuando el eje óptico de la cámara forma con la vertical, un ángulo supera que supera los  $3^\circ$ .
- Panorámicas: En este tipo de fotografía, emerge el horizonte.

### B. Distancia focal

Se le denomina distancia focal  $f$  de un sistema óptico, a la distancia entre el centro de proyección y el plano imagen o focal. La variación de  $f$  nos da la escala de la fotografía además del campo de imagen que se va a fotografiar. (Sánchez Sobrino, 2006 - 2007)

Figura 2 Distancia focal y plano focal



Fuente: (Sánchez Sobrino, 2006 - 2007)

Se le llama centro de proyección al punto O y punto principal a la intersección del eje principal y el plano focal. El campo de imagen se mide como el ángulo bajo el cual se ve nítida la imagen en cada distancia focal. (Sánchez Sobrino, 2006 - 2007)

#### 2.2.1.3 Fotogrametría aérea

La fotogrametría aérea se basa en fotografías tomadas desde aviones equipados para el trabajo, en combinación de las técnicas de aero triangulación analítica para establecer posiciones de control para la obtención de proyecciones reales del terreno y para hacer comprobaciones con una menor precisión que la obtenida en las redes primarias de



control geodésico. (CANEDO ROJAS, LAZCANO LAREDO, & ZABALAGA MONTAÑO, 2006)

Para la fotogrametría aérea las fotografías son tomadas de manera vertical, para lo cual se usa una cámara aérea calibrada. Son cámaras cuyos elementos internos son estables y se conoce perfectamente los procesos de calibración. (Sánchez Sobrino, 2006 - 2007)

#### 2.2.1.4 Fotogrametría como método geodésico de medida

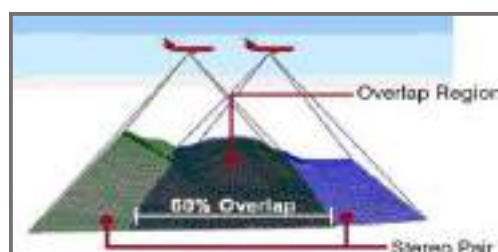
La fotogrametría se emplea principalmente en la medición de la superficie terrestre y en la representación de la misma mediante planos y cartas topográficas.

Las operaciones corrientes en un levantamiento fotogramétrico en general son las siguientes:

- Estudios sobre planos disponibles de la región para planificar el trabajo, determinar las líneas de vuelo, la escala de la fotografía, la superposición o traslapes de las fotografías, la altura de vuelo, etc.
- Reconocimiento de terreno a fotografiar.
- Fijación de puntos de control terrestre básico, tanto planimétricos como altimétricos, para realizar la correcta orientación y localización de los puntos sobre la fotografía.
- Toma, desarrollo, clasificación, y numeración de las fotografías.
- Ensamble de mosaicos o disposición secuencial de las fotografías en conjunto.
- Elaboración de los planos obtenidos por el sistema de restitución fotogramétrica y sus aplicaciones para proyectos de ingeniería.

(CANEDO ROJAS, LAZCANO LAREDO, & ZABALAGA MONTAÑO, 2006)

Figura 3 Fotogrametría aérea



Fuente: (CANEDO ROJAS, LAZCANO LAREDO, & ZABALAGA MONTAÑO, 2006)



### 2.2.1.5. Puntos de control Geodésico

Los puntos de control geodésico, como su nombre lo indica, son puntos geodésicos de los cuales, se realiza su medición para que éste se encuentre señalado, lo cual indica una posición geográfica exacta.

El número mínimo de puntos para poder efectuar esta operación es de tres, dos puntos en X, Y, Z (Planimétrico-Altimétrico) para poder llevar a cabo el ajuste de la escala del modelo y un tercero en Z (Altimétrico) de manera que sumados a los dos anteriores, hacen un total de tres puntos de coordenadas altimétricas conocidas, para poder efectuar la nivelación del modelo.

La determinación de las coordenadas planimétricas (control horizontal) y altimétrica (control vertical) de estos puntos se conoce con el nombre de puntos de control de campo. La realización de los trabajos topográficos y geodésicos que lleva consigo la fotogrametría, es necesario utilizar unos métodos y unos instrumentos que agilicen al máximo el levantamiento de los puntos de control. (Pérez Álvarez, 2001)

### 2.2.2 Hidrología

La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos. (Villon, M (2002) *Hidrología*, Lima – Perú, Editorial Villon).

La hidrología juega un papel muy importante en la operación efectiva de estructuras hidráulicas, especialmente aquellas que se destinan al control de avenidas, donde se requiere con frecuencia de pronóstico de avenidas y sequías.

La hidrología se delimita en Ingeniería Hidrológica o Hidrología Aplicada, su valor como tal está en el uso de Análisis Hidrológicos Cuantitativos, para el diseño de diferentes obras como puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertederos, sistemas de drenaje para población, carreteras, autopistas, sistemas de abastecimiento de agua potable. Sin excepción estos requieren un análisis hidrológico cuantitativo para la selección del evento de diseño necesario. El objetivo fundamental de la Hidrología Aplicada es la determinación de los eventos que guardan relación con la infraestructura que se desarrollara. (Aparicio, J. (1992) *Fundamentos de Hidrología de superficie*, México D.F. – México, Editorial Limusa)



### 2.2.2.1 Cuenca hidrológica

Es un término usado para definir un área delimitada por el divortium acusarium donde todas las precipitaciones pluviales caen para formar un solo curso de agua. (Villon, M (2002) *Hidrología*, Lima – Perú, Editorial Villon).

Una cuenca es un área en caso esta fuera impermeable las gotas de lluvia de las precipitaciones pluviales tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

Fundamentalmente existe dos tipos de cuencas: Endorreicas y Exorreicas, en la primera el punto de salida esta generalmente dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (Aparicio, J. (1992) *Fundamentos de Hidrología de superficie*, Mexico D.F. – Mexico, Editorial Limusa.)

La cuenca hidrográfica es un territorio que se encuentra entre la divisoria geográfica principal de las aguas superficiales, el cual conforma un sistema interconectado entre cauces secundarios que convergen en un cauce principal el cual a su vez desemboca en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (Cuencas hidrográficas. Fortalecimiento de la Política de Educación Ambiental en el Departamento del Huila)

#### 2.2.2.1.1 Ciclo hidrológico

Es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, ya sea en sus estado líquido, sólido y gaseoso, como su forma agua superficial, agua subterránea, etc.

Figura 4 Ciclo Hidrológico



Fuente: (Ciclo del agua, 2020)





El ciclo hidrológico es completamente irregular y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el hombre.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin ya que su descripción puede empezar en cualquier punto, por ejemplo, el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre, en ríos, riachuelos, mares, lagos, lagunas, etc., se evapora por efecto del calor y el viento. Este vapor de agua es transportado por los movimientos de masas de aire la cual es condensada en las nubes que a su vez pueden ocasionar precipitaciones. El agua precipitada durante su trayecto a la superficie una parte puede ser evaporada, interceptada por plantas, construcciones y la otra fluye a por la superficie terrestre a corrientes de agua o se infiltra. Una parte del agua en las corrientes se evapora hasta regresar a la atmosfera, otra parte se infiltra al subsuelo y abastece a depósitos subterráneos, de donde puede fluir a corrientes, lagos, océanos o quedarse confinada. (Villón Béjar, 2002)

#### 2.2.2.1.2 Tipos de cuencas hidrográficas

##### a. Cuencas arreicas

Las cuencas arreicas son aquellas que no tienen desembocadura, debido a que no fluyen hacia ningún lugar, dando paso a que se filtren en el suelo o se evaporen a la atmósfera.

Figura 5 Cuencas arreicas



Fuente: Página web

##### b. Cuencas endorreicas

Las cuencas endorreicas, son aquellas que no tienen salida al mar, su escorrentía es nula; por lo tanto,  $V/Q = \infty$ ; es decir, toda la precipitación es convertida a vaporización, las cuencas endorreicas poseen lagos y drenan hacia el centro, sin ninguna salida. (Ponce)



Figura 6 Cuencas endorreicas



Fuente: Página web

### c. Cuencas exorreicas

Las cuencas exorreicas, son aquellas que tienen salida al mar, al contrario de las endorreicas, éstas tienen valores finitos de  $V/Q$ , con un valor medio global de 2, las cuencas exorreicas tienen ríos que drenan hacia el mar. (Ponce)

Figura 7 Cuencas exorreicas



Fuente: Página web

#### 2.2.2.1.3 Elementos básicos de una cuenca hidrológica

Una cuenca hidrológica tiene elementos identificables, por un lado, los recursos naturales: agua, suelo, cobertura vegetal, fauna, recursos ictiológicos, recursos mineros; y, por otro lado, el factor antrópico (acción humana), que comprende a los reservorios, canales de riego, relaves contaminantes, plantaciones forestales, cultivos, pastizales cultivados, etc. Asimismo, dentro del factor antrópico se considera a la organización institucional, la coordinación interinstitucional y el marco normativo que se pueda tener o dar para el manejo o tratamientos de las cuencas hidrológicas.

Los elementos más importantes de una cuenca son:

- A. **El agua:** Elemento fundamental de la cuenca y de la vida, ya que permite potenciar o disminuir la capacidad productiva de los suelos. La forma como ocurre y se traslada dentro de la cuenca puede producir grandes beneficios (riego, agua potable, pesca,



electricidad, insumo industrial, navegación, etc.) o grandes desastres (erosión, huaycos, inundaciones, etc.).

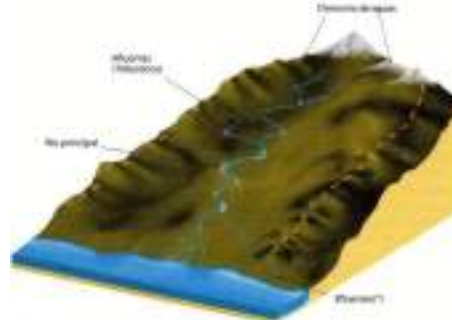
- B. El suelo:** Otro de los elementos importantes de una cuenca, ya que, si se relaciona adecuadamente con el agua de buena calidad, favorece la vida humana, animal y vegetal; en caso contrario pueden producirse fenómenos nocivos como la erosión, huaycos, contaminación, deslizamientos, sedimentación, de reservorios, salinización, problemas de drenaje, etc.
- C. El clima:** Otro elemento que actúa en la cuenca y que define el nivel de la temperatura, precipitación, nubosidad y otros fenómenos favorables o adversos para la actividad biológica.
- D. La vegetación:** Muy importante en el ciclo hidrológico debido a la evapotranspiración que origina y a la acción de amortiguamiento y protección del impacto directo del agua sobre el suelo.
- E. La topografía:** La pendiente y la topografía de la superficie del terreno permiten que el agua, al discurrir, adquiera determinadas velocidades. Para lograr un aprovechamiento racional del agua y el suelo es indispensable la aplicación de prácticas conservacionistas adecuadas, ya sea tanto en zonas planas como en laderas.
- F. La fauna:** La población animal que habita en una cuenca no sólo proporciona posibilidades a la vida humana, sino que otorga condiciones para que la cuenca mantenga un equilibrio con respecto a sus recursos naturales. En casos excepcionales de sobrepoblación (“sobrecarga”), puede ocasionar el deterioro de la misma por la excesiva utilización de los pastizales o sobrepastoreo.
- G. Recursos naturales que sirven para la actividad no agropecuaria:** Existen diversos recursos naturales que no necesariamente sirven a la actividad agropecuaria y que son parte significativa de las cuencas. El agua sirve para generar electricidad para las ciudades, se puede convertir en agua potable para el consumo poblacional o para sustentar la pesca. El suelo sirve como parte del hábitat de las ciudades, construcción de carreteras y centros de recreación.
- H. El hombre:** Es el elemento más importante de la cuenca, porque es el único que puede planificar el uso racional de los recursos naturales para su aprovechamiento y conservación.



Otra forma de clasificar estos componentes, es la siguiente:

- A. Los naturales o vírgenes:** Como el agua, el suelo, los animales salvajes, las tierras de protección, las laderas, los nevados, las planicies, los ríos, los torrentes, la escorrentía, etc.
- B. Los producidos por el factor antrópico en forma espontánea e inmediata (acción humana):** Como son los canales de riego, las presas, los relaves, los contaminantes, las plantaciones, los cultivos, los pastizales, etc.
- C. Los producidos por la organización social:** Ve la forma cómo se usa y distribuyen los recursos de las cuencas.
- D. Los que son resulta de un plan maestro de cuencas o de un plan de manejo concertado:** Las diferentes medidas que toman los actores sociales en relación a sus recursos naturales, que no son otra cosa que las acciones conscientemente planificadas de las micro sociedades. (Vásquez Villanueva, 2000)

Figura 8 Elementos básicos de la cuenca



Fuente: (Vásquez Villanueva, 2000)

#### 2.2.2.1.4 Partes de una cuenca

Las cuencas alto andinas normalmente constan de tres partes:

- A. Partes Altas:** Éstas comprenden altitudes superiores a los 3000 msnm, llegando en algunos casos hasta los 6000 msnm. En tales áreas se concentra el mayor volumen de agua, dado que allí la precipitación pluvial es intensa y abundante; es frecuente así mismo la formación de nevados. La topografía de éstas zonas es sumamente accidentada y escarpada; en consecuencia, su potencial erosivo es sumamente alto. La precipitación total anual promedio alcanza los 1000 – 2000 mm/año. En esta parte, es frecuente observar lagos y lagunas con abundante actividad biológica. Aquí se ubican los pastores y campesinos pobres de una economía de autoconsumo.



- B. Partes Medias:** Son las comprendidas entre los 800 y 3000 msnm. Las precipitaciones promedio que caen en estas zonas varían entre los 100 – 1 000 mm/año. En éstas zonas están los valles interandinos, caracterizados por su clima benigno y variado. La función de éste sector de la cuenca está relacionada fundamentalmente con el escurrimiento de agua, siendo frecuente en dicho ámbito la presencia de pequeñas ciudades que circundan, dándose además como característica, una gran actividad económica.
- C. Partes Bajas:** Abarcan desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. La precipitación promedio que cae en la zona es muy escasa (<100 mm/año), su pendiente es igualmente baja. En este ámbito están los amplios valles costeros, donde se desarrolla una intensa actividad agropecuaria, así como las medianas y grandes ciudades consumidoras. Allí también se ubican los grandes proyectos de irrigación con importantes sistemas de embalse. El potencial de aguas subterráneas de estas zonas es alto. (Vásquez Villanueva, 2000)

Figura 9 Partes de la cuenca



Fuente: (Vásquez Villanueva, 2000)

#### 2.2.2.1.5 Características de las cuencas y cauces

##### A. Precipitaciones

Se define como precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación.

Debido al aumento de la temperatura en la superficie, generalmente motivado por la radiación, las masas de aire ascienden hasta las alturas de enfriamiento suficientes para llegar a la saturación.



Suponiendo que el aire está saturado se requiere núcleos de condensación o de congelamiento.

Los núcleos de condensación consisten en productos de combustión, óxidos de nitrógeno y minúsculas partículas de sal. Asimismo, los núcleos de congelamiento consisten en minerales arcillosos, siendo el caolín el más frecuente.

Después de la nucleación se forman finísimas gotitas de diámetro medio de aproximadamente de 0.02mm las cuales se unen hasta formar el tamaño promedio de gotitas de lluvia de 2mm. Las diferentes razones por las cuales se unen son detalladas a continuación.

- La atracción electrostática entre las gotitas que conforman las nubes.
- Las micro turbulencias dentro de la masa de la nube.
- El barrido de las gotitas más finas por las gotas mayores.
- La diferencia de temperaturas: las gotas más frías se engrosan a expensas de las más calientes.

Tipos de precipitaciones:

Se clasifican en tres grupos según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación.

- a) **Precipitaciones convectivas:** Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación conectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.
- b) **Precipitaciones orográficas:** Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias," puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de don de ellas provienen. Es el caso de la Selva Alta de nuestro país, la región más lluviosa, donde las nubes provienen de la Selva Baja.
- c) **Precipitaciones ciclónicas:** Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan. (Chereque Morán)



## B. Escorrentía

Se define como escorrentía a el agua proveniente de la precipitación que circula sobre y bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente que finalmente discurre al final de la cuenca.

El agua de las precipitaciones llega a la superficie terrestre, considerando el agua que ha sido interceptada y evaporada, sigue diferentes caminos hasta llegar a la salida de la cuenca.

Ciclo de escorrentía es el término que se emplea para describir aquella parte del ciclo hidrológico entre la precipitación que cae sobre un área y la descarga subsiguiente de esa agua a través de cauces o bien por evapotranspiración.

Las aguas procedentes de las precipitaciones llegan al cauce del río por diferentes vías:

- Escorrentía superficial.
- Escorrentía sub superficial.
- Agua subterránea
- Lluvia que cae en el espejo de agua.

La precipitación sobre el cauce es el único incremento del flujo en el cauce que ocurre durante el periodo inicial de la lluvia. A medida que aumenta la corriente aumenta su espejo de agua y por lo tanto aumenta también el volumen de la precipitación sobre el cauce. (Chereque Morán)

### 2.2.2.2 Régimen de lluvia en el Perú

Se conoce como régimen de lluvia de cualquier lugar de la Tierra, a la distribución de la magnitud de la lluvia anual durante el año. En el mundo, existen diversos regímenes de lluvia, desde el régimen de zona desértica donde se registran lluvias anuales muy pequeñas pudiendo llegar a CERO, hasta el régimen de la zona ecuatorial como en algunas zonas de África donde ocurren lluvias anuales de hasta 4 500 mm.

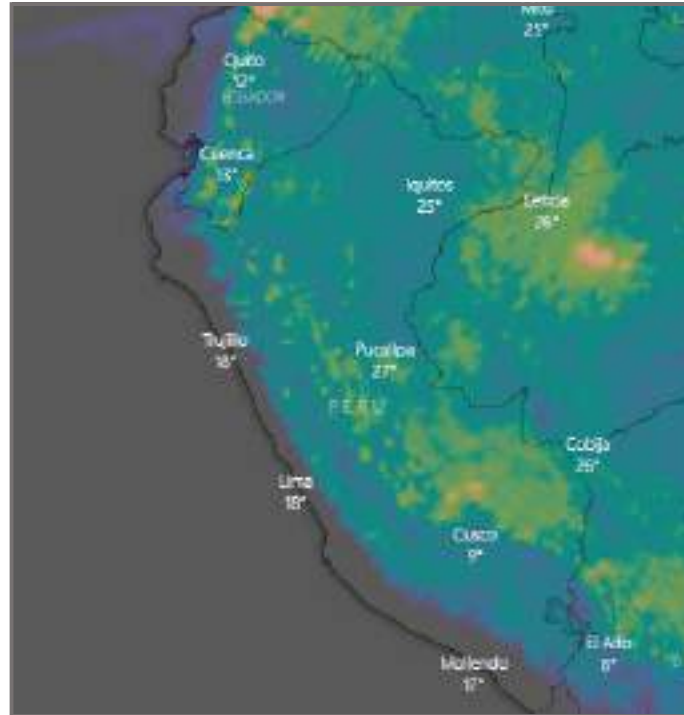
En el Perú se tienen dos regímenes de lluvia:

**Régimen Tropical:** Propio de la Sierra y de la Costa, donde se presenta un solo periodo de lluvia durante el año, como se observa en el cuadro N° 01.



**Régimen Ecuatorial:** Este régimen se observa en la Selva, donde se presentan dos periodos de lluvia, que ocurren en promedio durante los meses de febrero y noviembre. (Cuadro N° 01). (Vásquez Villanueva, 2000)

*Figura 10 Acumulación de agua en el Perú*



*Fuente: Software Windy*





Tabla 1 Precipitación total mensual de varias estaciones 1991

**A) COSTA**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Piura	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0	6.0
Chiclayo	0.0	0.1	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.2
Chimbote	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.7
Lima	0.1	0.0	0.1	0.1	3.2	3.2	0.0	1.2	1.8	1.4	0.6	1.8	13.9
Tacna	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.1	0.9

**B) SIERRA**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Ancash	52.8	59.5	211.0	34.5	21.5	0.0	0.0	0.0	7.5	88.6	41.5	63.6	580.5
Ayacucho	53.2	57.9	86.5	17.5	5.6	30.3	10.5	0.0	21.6	41.9	42.1	24.6	391.7
Cusco	77.0	139.5	87.0	45.8	7.5	6.2	2.6	0.0	19.2	47.1	100.7	35.0	567.6
Huánuco	28.0	29.0	68.0	19.0	5.0	30.0	0.0	0.0	0.8	32.0	44.3	35.0	291.1

**C) SELVA**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Chachapoyas	88.0	186.0	174.0	116.0	53.0	13.0	0.0	23.5	47.0	91.0	183.0	36.0	1 010.6
Tarapoto	41.3	110.0	157.0	37.4	35.7	71.0	30.0	33.0	36.8	95.8	167.0	5.0	850.7
Tingo Maria	455.0	157.0	379.9	274.0	157.0	145.0	12.0	74.0	108.0	206.0	461.0	254.0	2 682.0
Iquitos	221.0	255.0	59.0	253.0	297.0	186.9	39.0	218.2	118.4	75.4	267.0	80.0	2 069.9

Fuente: (Vásquez Villanueva, 2000)



### 2.2.2.3 La cuenca hidrográfica y la cuenca hidrológica

Según el concepto de ciclo hidrológico, toda gota de lluvia que cae al suelo, continua en forma de escurrimiento e infiltración, luego va a lugares de concentración, allí parte se evapora y vuelve al espacio para formar el ciclo. Luego que la gota de lluvia se infiltra, satura el suelo, pasa a percolación profunda y recarga los acuíferos. En este desplazamiento vertical, el agua se puede encontrar con estratos impermeables (rocas duras) que movilizarán las partículas de agua dependiendo de la forma y tipo de rasgos geológicos.

Cuando el relieve y fisiografía, tienen una forma y simetría diferente a la configuración geológica de la cuenca, se puede decir que existe una cuenca subterránea, que cambia la dirección del flujo sub superficial para alimentar a otra cuenca hidrográfica. A ésta configuración se denomina cuenca hidrológica, la cual adquiere importancia cuando se tenga que realizar el balance hidrológico, como se puede apreciar en la imagen 11. (**World Vision Canada**)

*Figura 11 División hidrográfica e hidrológica de la cuenca*



*Fuente: Manejo de Cuencas Altoandinas, World Vision.*

Es así como se presentan los flujos sub superficiales y el movimiento del agua del suelo cuando la divisoria de la cuenca hidrográfica es diferente de la divisoria de la cuenca hidrológica.

Es muy importante conocer esta característica interna de la cuenca, porque en algunos casos se realiza el balance hidrológico sin considerar los aportes o fugas de una cuenca vecina a otra. Un caso particular son las cuencas ubicadas en terrenos cársticos. (**World Vision Canada**)



#### 2.2.2.4 Características fisiográficas de una cuenca

##### a) Área de la cuenca

El área es quizás el parámetro más importante influyendo directamente en la cantidad de agua que ella puede producir y consecuentemente en la magnitud de los caudales. Es la proyección horizontal de la superficie de la misma, se puede determinar directamente en un plano topográfico:

- Utilizando software.
- Utilizando planímetro.
- Descomposición geométrica.
- Por pesadas.

(Valdieso, 2005)

##### b) Corriente principal

“Es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

##### c) Corrientes tributarias

“Serie de corrientes tributarias con diferente grado de bifurcación.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

##### d) Orden de corrientes

“Se determina a partir del grado de bifurcación de las corrientes tributarias:

- Corriente del orden 1 es un tributario sin ramificaciones
- Corriente del orden 2 sólo tiene corrientes del orden uno y así sucesivamente dos corrientes de orden 1 forma una de orden 2, dos corrientes del orden 2 forman una de orden 3, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, y así sucesivamente”. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

##### e) Longitud del eje mayor de la cuenca

“Es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano de la cuenca. Este parámetro es importante, ya que da idea de la forma de la cuenca. Los procesos hidrológicos, por ejemplo, el escurrimiento superficial, responden de manera diferente de una cuenca alargada que a la que se aproxima a una forma circular.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

##### f) Ancho de la cuenca

“Es la longitud perpendicular a la longitud del eje mayor de la cuenca y para su estimación se miden las longitudes perpendiculares representativas de cada parte de la cuenca,



tomando como referencia la recta que se ha trazado para la longitud del eje mayor.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

#### **g) Orientación de la cuenca**

“Es el ángulo de orientación a partir del norte geográfico y para su determinación se toma como punto de referencia a la descarga o salida de la cuenca y utilizando la recta que representa a la longitud del eje mayor, se determina el ángulo de la orientación a partir del norte geográfico. Este parámetro es importante, ya que los sistemas de circulación atmosférica son fundamentales en lo que respecta al régimen pluviométrico de una cuenca.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

#### **h) Índice de forma**

“Es la relación del perímetro de la cuenca entre el perímetro que tendría un círculo con el mismo valor de área. Con este parámetro se determina cuánto se aleja la forma de la cuenca de un círculo.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

#### **i) Forma de la cuenca**

“La forma de la cuenca interviene de manera importante y las características de descarga de un río, en especial en los eventos de avenidas máximas.

Para caracterizar este parámetro se utiliza el coeficiente de compacidad ( $K_c$ ), la relación de circularidad ( $R_{ci}$ ) y la relación de elongación que son definidos a continuación:

Coeficiente de compacidad ( $K_c$ )

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie de la cuenca. Su magnitud se obtiene con la expresión:

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

Donde:

$K_c$  es el coeficiente de compacidad, adimensional;

$P$  es el perímetro de la cuenca, en m;

$A$  es la superficie de la cuenca, en  $m^2$ .

#### **j) Relación de circularidad ( $R_{ci}$ )**

Es el cociente entre el área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca, la expresión mediante la que se calcula es:



$$R_{ci} = \frac{4A}{P^2}$$

Donde:

$R_{ci}$  es la relación de circularidad, adimensional;

P es el perímetro de la cuenca, en m;

A es la superficie de la cuenca, en  $m^2$ .

De acuerdo a los análisis realizados (Summerfield, 1991) en diversas cuencas se ha determinado que sí:

**$R_{ci} = 1.0$ , la cuenca es circular**

**$R_{ci} = 0.785$ , la cuenca es cuadrada**

### k) Relación de elongación ( $R_e$ )

Es la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tenga la misma síntesis y de la cuenca y la longitud máxima ( $L_m$ ) de la cuenca. La variable  $L_m$  se define como la más grande dimensión de la cuenca a lo largo de una línea recta trazada desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo el divortium aquarum y de manera paralela al río principal.

Para estimar su magnitud se aplica la expresión:

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

Dónde:

$R_e$  es la relación de elongación, adimensional;

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

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

A partir de estudios realizados (Sumerfield, 1991) un gran número de cuencas, si:

$R_e = 1.0$ , la cuenca es plana.

$0.6 \leq R_e \leq 0.8$ , la cuenca es de relieve pronunciado.”

(Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

### l) Perfil y pendiente del cauce

Según (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006) se definen como:

- **Perfil del cauce**

Es la representación gráfica en un plano vertical de la curva de variaciones a lo largo del desarrollo del cauce principal de una Cuenca hidrológica.



- **Pendiente media del cauce**

La pendiente de un tramo del río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo.

- **Pendiente de la corriente principal**

Representa un valor medio, ya que cada tramo del río tiene una pendiente propia.

En consecuencia, la pendiente media del cauce principal se aproximará más al real, mientras mayor sea el número de tramos seleccionados a lo largo del cauce.

La pendiente media para tramos de igual longitud se determina con la expresión:

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Dónde:

S es la pendiente media del cauce;

n es el número de tramos de igual longitud;

S<sub>n</sub> es la pendiente del tramo n.

La pendiente media para tramos de longitud variable se calcula con la ecuación:

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

(Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

### m) Curva hipsométrica

“Es una curva que representa la relación entre la altitud y la superficie que queda sobre diferentes alturas de una cuenca. Esta se representa en un eje de coordenadas.” (World Vision Canada)

“La distribución espacial de la altitud en la cuenca es fundamental para caracterizar su condición morfológica, es decir; saber qué porcentaje de la cuenca corresponde a zonas de montaña, lomeríos, planicies, entre otros. Primero se requiere obtener un diagrama de frecuencias que asocie área-altitud; es decir, determinar el valor del área correspondiente a un intervalo de altitud, abarcando el rango comprendido entre las



elevaciones del terreno mínima y máxima. La marca de clase, por intervalo de la altitud, se define a partir de las condiciones topográficas de cada cuenca.

Una vez obtenida la relación área-altitud se puede obtener la curva hipsometría de la cuenca, que no es otra cosa que una curva acumulada que parte de la elevación mínima del terreno localizada en la descarga o salida de la cuenca hidrológica del análisis (Remenieras, 1974).” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

#### 2.2.2.5 Estudio de una tormenta

Se entiende por tormenta o borrasca, al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas, una tormenta puede durar desde minutos, horas y días y puede abarcar extensiones muy variables de terreno. Su utilización es importante para el cálculo, estudios y diseños de ingeniería hidráulica, tales como:

- Determinación de caudales máximos
- Determinación de la luz de un puente
- Estudio de drenaje
- Conservación de suelos
- Cálculo de diámetro de alcantarillas, etc.

Los elementos fundamentales para el análisis de una tormenta son:

- a) La intensidad: Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta, es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto la intensidad se expresa así:

$$imax = P/t$$

Donde:

imax: intensidad máxima, en mm/hora.

P: precipitación en altura de agua, en mm

t: tiempo en horas

- b) La duración: Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Aquí conviene definir el periodo de duración, que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. Tiene mucha importancia en la determinación de las intensidades máximas



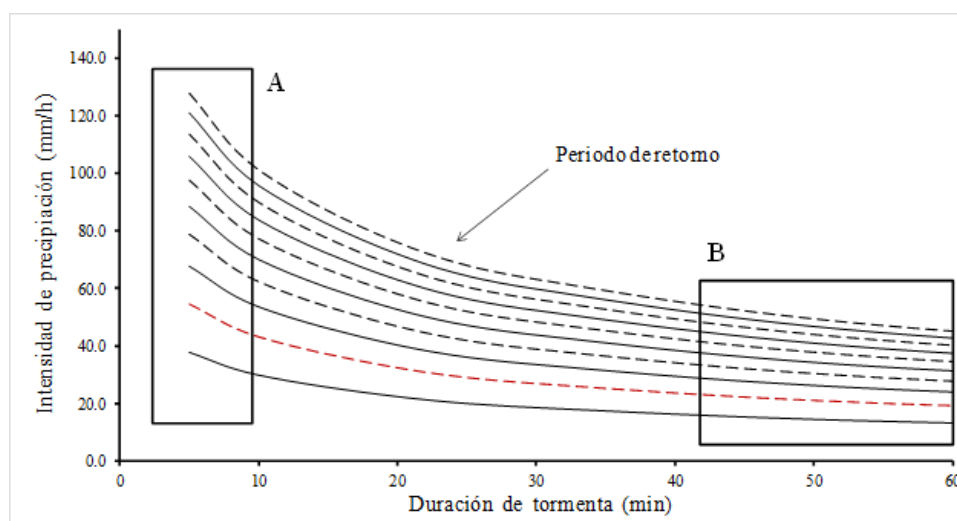
- c) La frecuencia: Es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración definidas en un periodo más o menos largo, tomado generalmente en años.
- d) Periodo de retorno: Intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud  $x$ , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el intervalo de la frecuencia, es decir:  $T: 1/f$

### 2.2.2.6 Curvas intensidad – duración – periodo de retorno

Vahrson Wilhelm y Alfaro Marvin (1992), desarrollaron una investigación sobre las intensidades máximas para los principales centros urbanos de Costa Rica; el estudio lo realizaron para las ciudades de: San José, Cartago, Alajuela, Puntarenas, Limón, y Liberia.

De este estudio, se obtuvieron para cada ciudad, las ecuaciones, tablas y gráficos, que relacionan la intensidad máxima en mm/hr, con la duración en min, y el periodo de retorno en años.

Figura 12 Curva IDF



Fuente: (Villón Béjar, 2002)

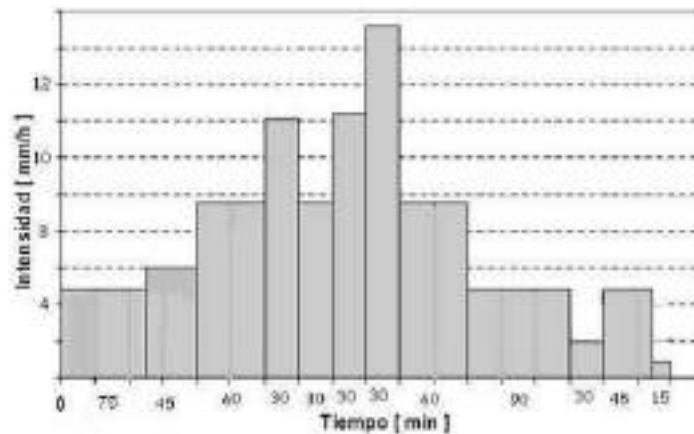
### 2.2.2.7 Hietograma

Es un gráfico de forma de forma escalonada que representa la variación de la intensidad expresada en mm/hr de la tormenta en el transcurso de la misma expresada en minutos u horas.

Mediante el hietograma es muy fácil decir a qué hora, la precipitación adquiere su máxima intensidad y cuál es su valor.



Figura 13 Hietograma



Fuente: (Villón Béjar, 2002)

### 2.2.2.8 Hidrograma

El hidrograma de una corriente es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico, en un lugar dado de la corriente.

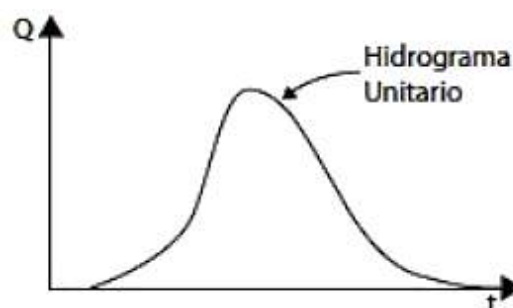
El área bajo el hidrograma, es el volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo, en el intervalo de tiempo expresado en el Hidrograma.

#### 2.2.2.8.1 Hidrograma unitario

Se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso unitaria (un mm, un cm, una pulg, etc), repartida uniformemente sobre la cuenca, con una intensidad constante durante un periodo específico de tiempo.

El hidrograma unitario es un hidrograma típico de la cuenca.

Figura 14 Hidrograma Unitario



Fuente: (Villón Béjar, 2002)



### 2.2.2. Red de drenaje y aspectos geomorfológicos

“La red de drenaje de una cuenca es el sistema interconectado de cauces, a través del cual, el agua captada en las partes altas se recolecta y es conducida hacia las partes bajas.

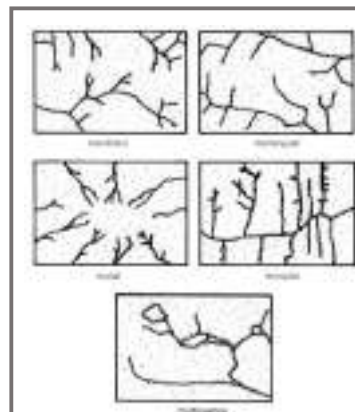
En algunos tramos de los cauces, los bordes o riberas estarán asociados a grandes extensiones planas adyacentes que serán inundadas en la época de avenidas que se les conoce con el nombre de planicies de inundación.

Si la planicie de inundación se ha creado a través de la erosión lateral y retroceso gradual de las paredes del valle, formando una delgada capa de sedimentos, entonces recibe el nombre de erosional.

Si el espesor de la capa de sedimentos ha alcanzado valores de una centena de metros (o más) en el transcurso del tiempo, entonces se dice que la planicie es de agradación.

Es conveniente indicar que el sistema de cauces que drena una cuenca se clasifican en: dendrítico, rectangular, radial, enrejado y multicuenca.” (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

*Figura 15 Patrones de drenaje en una cuenca*



*Fuente: Principios y Fundamentos de la Hidrología de Superficie, Breña, 2006*

### 2.2.3 Suelos

El suelo está definido como “un ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre)”. (Jordán López, 2005-2006)

El edafólogo francés Philippe Duchaufour definió en 1956 el suelo como una “colección de cuerpos naturales de la superficie terrestre que soporta plantas, que llega desde los materiales no consolidados e inorgánicos que yacen en la zona de las raíces de plantas nativas perennes a donde se han desarrollado horizontes impermeables a las raíces o los dos metros más



superficiales de propiedades distintas al material rocoso subyacente, como resultado de la acción de organismos vivos, clima, roca madre y relieve”.

En la definición de suelo que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2006), el suelo es un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural.

Los límites superiores del suelo son la atmósfera, las aguas superficiales poco profundas (es decir, que pueden soportar el crecimiento de raíces), las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2.5 m), materiales estériles, rocas o hielo. El límite inferior está constituido por la roca dura y continua. De manera arbitraria, la profundidad máxima del suelo se establece en 2 m. (Jordán López, 2005-2006)

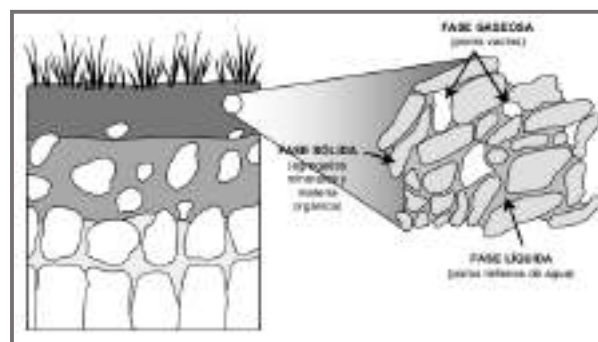
### 2.2.3.1 Composición del suelo

El suelo puede ser considerado como un sistema disperso en el que pueden diferenciarse tres fases:

- Fase sólida: agregados minerales y orgánicos.
- Fase líquida: agua de la solución del suelo.
- Fase gaseosa: atmósfera del suelo contenida en el espacio poroso.

En volumen, la fase sólida ocupa aproximadamente el 50% del total, mientras que las fases gaseosa y líquida se reparten el resto del espacio disponible. (Jordán López, 2005-2006)

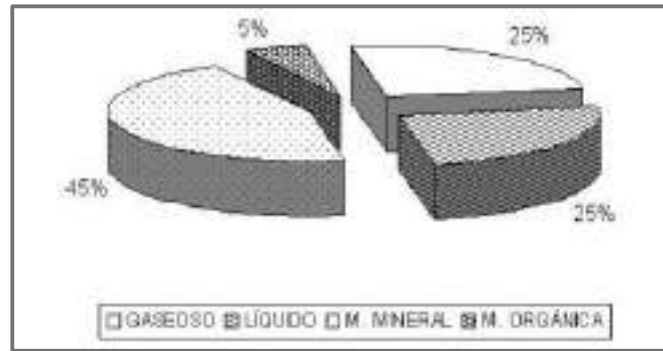
Figura 16 Fases del suelo



Fuente: (Jordán López, 2005-2006)

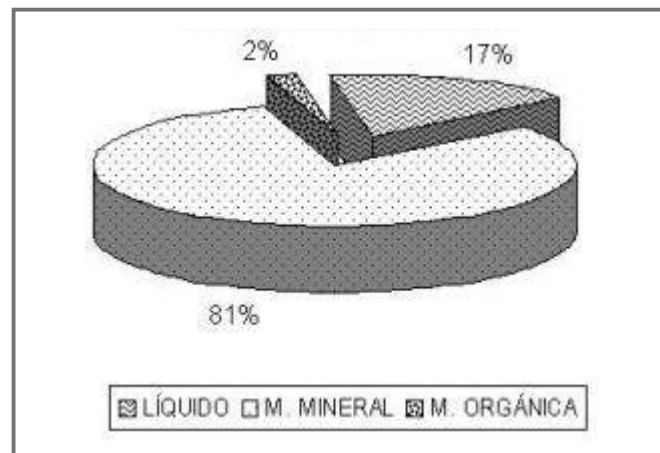


Figura 17 Fases de suelo: Volumen



Fuente: (Jordán López, 2005-2006)

Figura 18 Fases del suelo: Peso



Fuente: (Jordán López, 2005-2006)

La fase sólida representa la fase más estable del suelo y por tanto es la más representativa y la más ampliamente estudiada. Es una fase muy heterogénea, formada por constituyentes inorgánicos y orgánicos. La fase sólida constituye el esqueleto o matriz del suelo. La disposición de las partículas del esqueleto permite la existencia de una cantidad variable de poros. Como promedio, un suelo cultivado contiene, aproximadamente un 45% de materia mineral, un 5% de materia orgánica, un 15-35% de agua y el resto, de aire.

La fase sólida del suelo proviene de la descomposición de las rocas y de los residuos vegetales, y es relativamente estable en cuanto a su composición y organización. Dicha estabilidad suele servir para la caracterización de un suelo.

Las fases gaseosa y líquida son más variables. La solución del suelo está sometida a cambios debidos a procesos de evaporación, absorción por las raíces, lluvia, riego, etc. La fase gaseosa



sufre fluctuaciones en función de los procesos de difusión de gases y desplazamiento de aire por el suelo. La disposición y acomodación de las partículas de la fase sólida del suelo determina una serie de características físicas del suelo, como: (Jordán López, 2005-2006)

- Estructura
- Porosidad
- Permeabilidad
- Densidad

Tabla 2 Origen del material del suelo

Roca	Rocas ígneas	Efusivas (lavas)	
		Plutónicas	Granitos Gabros Basaltos Peridotitas
	Rocas metamórficas	Gneisses Pizarras Esquistos Mármoles	
	Rocas sedimentarias	Calizas Areniscas	
Material aluvial: material depositado por un río.			
Material lacustre: material depositado en lagos y depresiones, principalmente en climas glaciales.			
Material marino: sedimento transportado por los ríos hacia el mar, y posteriormente expuesto.			
Material eólico: sedimentos transportados por el viento.			
Material coluvial: materiales transportados por las laderas de las montañas por acción de la gravedad.			

Fuente: (Jordán López, 2005-2006)

### 2.2.3.2 Talud

“Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén”. (American Geological Institute, 1950)

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como Ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y Talud cuando se conformó artificialmente. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención.

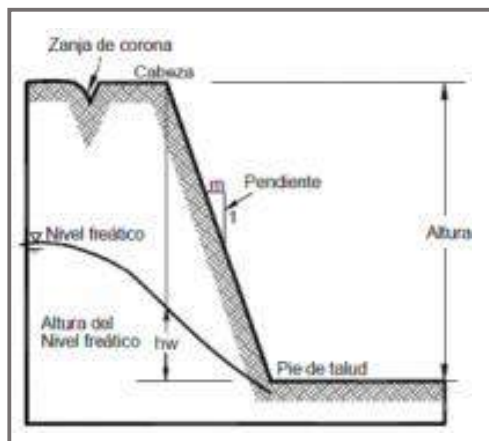
Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del

suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un deslizamiento. (Suarez Diaz, 1998)

### 2.2.3.2.1 Partes de un Talud

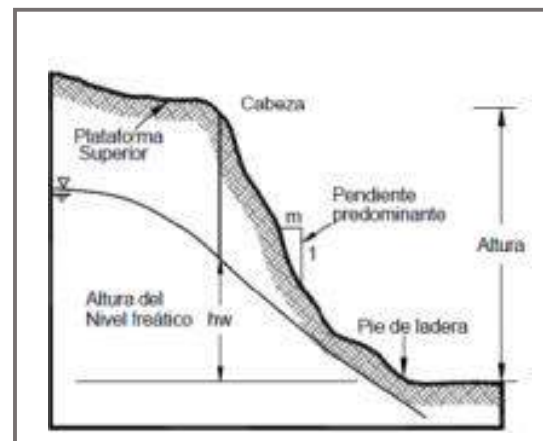
Existen algunos términos para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación. (Suarez Diaz, 1998)

Figura 20 Talud Artificial



Fuente: (Suarez Diaz, 1998)

Figura 19 Ladera Natural



Fuente: (Suarez Diaz, 1998)

#### a. **Pie, pata o base**

El pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

#### b. **Cabeza, cresta, cima o escarpe**

Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi- vertical o de alta pendiente, se le denomina Escarpe. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa.



c. **Altura**

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

d. **Altura de nivel freático**

Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

e. **Pendiente**

Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m:1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo:  $45^\circ = 100\% = 1H:1V$ . Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente. (Suarez Diaz, 1998)

### 2.2.3.2.2 Deslizamiento en Taludes

Los problemas que pueden presentar los taludes son, en su gran mayoría, los deslizamientos, meteorización, erosión y hundimiento, siendo el problema de deslizamiento el más grave de todos. (Cepeda Medina, Leal Leal, & García Cerezo, 2009).

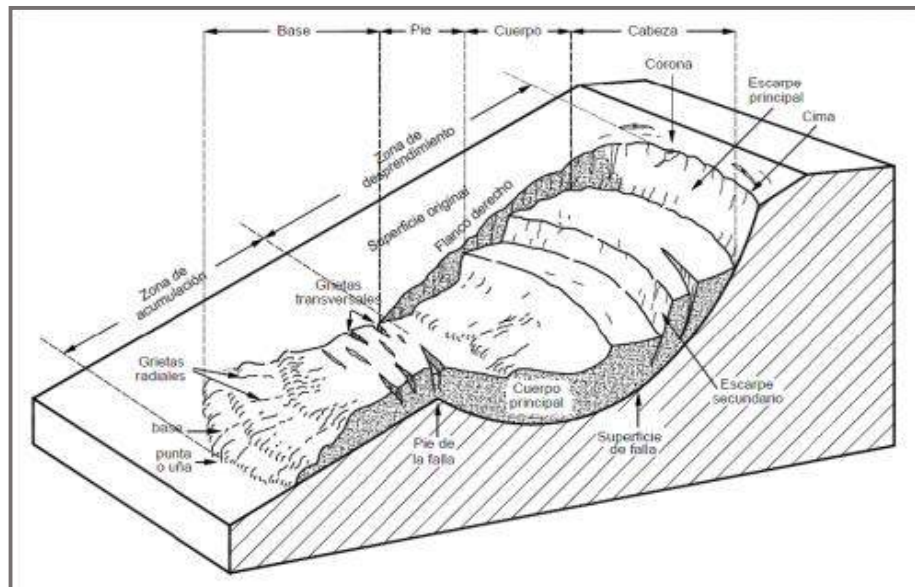
Los taludes artificiales no presentan muchos problemas de deslizamiento, esto es da gracias a la posibilidad de escoger el suelo idóneo para estas estructuras, es decir, se tiene un total control de los materiales junto con sus propiedades para su construcción; en cambio, en los taludes naturales, los problemas existentes son mayores, dados por las fallas del terreno, los tipos de suelos, la inclinación de su pendiente natural, la napa freática y el clima de la zona. Hablando sobre vidas humanas y pérdidas económicas, los deslizamientos de taludes son los hechos más costosos para un proyecto

Las fallas en los taludes se presentan cuando los esfuerzos que tienen que actuar sobre ellos sobrepasan la resistencia de los materiales que la compone, esto puede ser producido por la gravedad, presión de poros, el movimiento de las placas tectónicas, entre otros.



La resistencia de los taludes puede ser modificada por diversos factores como los vegetales, el clima y los procesos hidrológicos que ocurren en la zona donde se encuentra ubicado el talud. (Suarez Diaz, 1998)

Figura 21 Partes del deslizamiento



Fuente: (Suarez Diaz, 1998)

a. **Cabeza**

Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

b. **Cima**

El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

c. **Corona**

El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

d. **Escarpe principal**

Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material.

e. **Escarpe secundario**

Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

f. **Superficie de falla**





Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de esta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

g. **Pie de la superficie de falla**

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

h. **Base**

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

i. **Punta o uña**

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

j. **Cuerpo principal del deslizamiento**

El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

k. **Superficie original del terreno**

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

l. **Costado o flanco**

Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

m. **Derecha e izquierda**

Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie. (Suarez Diaz, 1998)

### 2.2.3.2.3 Causas de deslizamiento

Según datos estadísticos se sabe que el 40 % de deslizamientos ocurren a causa de fuertes lluvias. El estudio de los deslizamientos ocurridos se hace mediante los métodos tradicionales de análisis de estabilidad tomando como ingreso que el suelo se encuentra saturado.

Actualmente, existen otros métodos como el de tomar un modelo de corte del talud con su estado de esfuerzos actual, sin modificar sus propiedades como tomarlo saturado o con la presión de poros actuando en compresión.; este último modelo se hace debido a que



existen estudios que demuestran que existen deslizamientos ocurriendo en las zonas no saturadas del talud.

Existe una fuerte relación entre lo que dura una intensa precipitación de lluvia y la variación de la presión de poros en el suelo. El estudio de suelos no saturados aplicado en la agricultura es de gran ayuda y sus modelos son utilizados para analizar la responsabilidad de la hidrología en la estabilidad de taludes. (Montoya, 2013)

Tabla 3 Parámetros que afectan el fenómeno de erosión

<b>Principales parámetros que afectan el fenómeno de erosión, por lluvia</b>		
<i>Acciones, directa o indirectamente erosivas</i>	<i>Parámetros inherentes a la lluvia o al clima</i>	<i>Parámetros inherentes al terreno o a la geometría del talud</i>
Impacto de las gotas.	Intensidad de la lluvia (hasta un límite). Velocidad del viento durante la tormenta.	Orientación del talud respecto a los vientos.
Escorrimento superficial.	Intensidad de la lluvia y su duración.	Inclinación del talud. Área en la superficie expuesta del talud. Numero de surcos y torrentes que se formen. Coeficiente de escurrimiento. Velocidad del agua. Concentración de arrastre de sólidos.
Infiltración.	Duración de la lluvia.	Inclinación del talud. Porosidad, permeabilidad.
Humedecimiento y secado.	Alternancia de estaciones: seca y lluviosa. Intensidad de la acción solar. Pluviosidad.	Condiciones para la filtración (protección, permeabilidad, inclinación) y para la evaporación (orientación al sol, protecciones, etc.).

Fuente: (Suarez Diaz, 1998)



### 2.2.3.3 Quebrada

Según el Diccionario de términos geológicos, una quebrada se define como “Un valle relativamente estrecho y de corto recorrido” (Burga, 2011)

*Figura 22 Quebrada Hatun Huayco, 2012*



*Fuente: (Suarez Diaz, 1998)*

#### 2.2.3.3.1 Quebrada Hatun Huayco

La quebrada Hatun Huayco presenta un deslizamiento activo de 800 m por 200 m en una ladera muy empinada, desarrollada en areniscas muy fracturadas de la Formación Chilca.

*Figura 23 Quebrada Hatun Huayco*



*Fuente: (Caillaux & Cárdenas Roque, Geología del Cuadrángulo del Cusco, 2011)*



Es importante mencionar que la Urbanización Ferroviarios fue construida en la zona de mayor peligro que corresponde a la desembocadura del cauce artificial, que se realizó para desviar las aguas de lluvias y los aluviones que se generarían y afectarían la población de Saylla. El deslizamiento activo de Hatun Huayco se reactiva cada año, pero con caída de material en pequeñas proporciones que producen huaycos pequeños, sin embargo, hay grietas en la parte superior que pueden ocasionar deslizamientos mayores.

*Figura 24 Situación actual de la quebrada*



*Fuente: Propia*

#### **2.2.3.3.2 Estado Actual de la quebrada**

La accesibilidad a la quebrada es sumamente difícil, no se encuentra ningún camino directo para poder acceder a ella, sin embargo, en el camino pudimos observar a muchos caminantes que hacían su curso hacia la cúspide de la quebrada, donde existe una cruz, y las personas dejan sus muestras de fe en ella. La caminata es aproximadamente de 2hrs. Desde la base de la quebrada, la pendiente es bastante alta y se puede observar suelo granular suelto en sus bordes y en el cauce principal. Así mismo, queremos recalcar la existencia de grietas bastante visibles en todo el borde de la parte superior de la quebrada, cada grieta de unos 5 a 10cm de espesor. Fue muy importante la visita de campo dado que todas las fuentes consultadas, incluso de la municipalidad de Saylla, la información relacionada a Hatun Huayco, es bastante limitada.





*Figura 26 Grietas presentes*



Fuente: Propia

*Figura 25 Grietas de 5cm*



Fuente: Propia

*Figura 28 Grietas situación actual*



Fuente: Propia

*Figura 27 Grietas de 8cm*



Fuente: Propia



*Figura 29 Formación de grietas y material suelto*



*Fuente: Propia*

*Figura 30 Material suelto*



*Fuente: Propia*

Como se observa en las figuras 26 y 27, es bastante visible la presencia de material suelto en la zona, lo cual es un peligro muy alto, ya que resulta susceptible a deslizamientos por diversas causas, entre ellas, la precipitación. Así mismo, en la figura 28, podemos observar la pendiente pronunciada de la quebrada.

*Figura 32 Pendiente pronunciada*



*Fuente: Propia*

*Figura 31 Material suelto*



*Fuente: Propia*

Figura 34 Material aluvial, parte baja



Fuente: Propia

Figura 33 Vista panorámica material aluvial



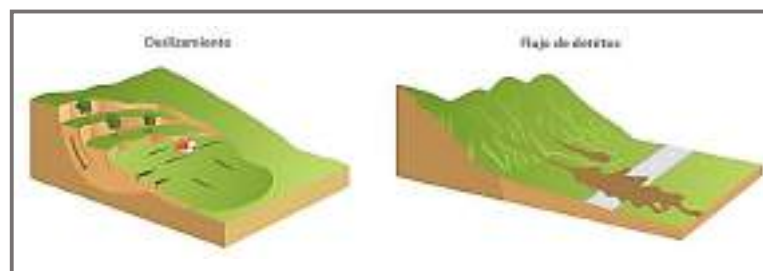
Fuente: Propia

En las figuras 30 y 31, podemos observar la parte baja de la quebrada, donde se observa en material de antiguos huaycos pequeños que han atravesado la zona, dicho material se encuentra distribuidos por todo el cauce, dando a conocer, que éste es un fenómeno frecuente que se da en la zona.

#### 2.2.4 Flujo

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída. (GEMMA, 2007)

Figura 35 Flujo de detritos



Fuente: (Suarez Diaz, 1998)





### 2.2.4.1 Características generales de los flujos

Según (Suarez Diaz, 1998) en un flujo ocurren movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre un cauce o canal. La ocurrencia de un flujo está relacionada con la saturación de los materiales sub superficiales, ya que algunos suelos absorben agua fácilmente y su saturación conduce a la formación de un

flujo. Los flujos son ocasionados por índices pluviométricos excepcionales muy latos, deshielos de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y aunque la ausencia de vegetación es un factor influyente no es prerequisite para que ocurran.

Los flujos son identificados con diferentes nombres, por ejemplo “lahares” es el término que se usa en Indonesia para caracterizar los flujos de lodos provenientes del deshielo de conos volcánicos.

“Huaycos” es el término usado en nuestro país para determinar los flujos rápidos turbulentos cargados de sólidos rocas, piedras y material orgánico de todo tamaño con corta duración. (Colegio de ingenieros del Perú, 1998)

“Riadas” es utilizado en Bolivia para identificar los flujos torrenciales cargados de sedimentos, flujos de tierra, flujos de lodo, flujos de lodo rocoso, flujos de escombros, aluviones, flujos de residuos, debris flows, flujos hiperconcentrados de sedimentos, flujos torrenciales etc. Es importante precisar que los flujos de residuos pueden tener entre 70 a 90 % de concentración de sedimentos en peso, mientras que los flujos hiperconcentrados poseen concentraciones entre 5 a 70% y las inundaciones menores al 5%. El depósito de los flujos es de forma de abanico y diques. (Suarez, Deslizamientos)

#### 2.2.4.1.1 Velocidad de los flujos

Los flujos pueden ser rápido o lentos, húmedos o secos, contienen rocas, tierra, material orgánico. Los flujos descienden en forma de “ríos de roca o suelos”. Pueden alcanzar velocidades de 70km/hora.

Figura 36 Formación de flujo de detritos



Fuente: (Suarez Diaz, 1998)





Los flujos rápidos son generados a partir de grandes aportes de material o deslizamientos combinados involucrando grandes cantidades de material con un volumen importante de agua.

Estos forman una masa de comportamiento hidráulico complejo que pueden lograr velocidades muy altas con un gran poder destructivo. Afectan generalmente áreas relativamente grandes de una cuenca de drenaje. (Suarez, Deslizamientos, Analisis Geotecnico)

#### **2.2.4.2 Flujo de detritos**

Según Oldrich Hungr, el flujo de detritos, como su nombre indica es un flujo muy rápido y extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor a 5%) que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de materiales saturados en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de u, trenes de boques rocosos y grandes bloques individuales.

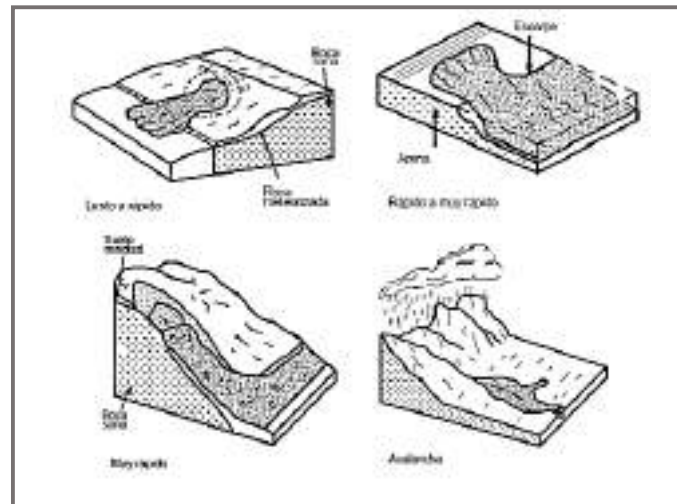
Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo. (Hungr et al., 2011)

Otra definición, la podemos encontrar en el Proyecto Multinacional Andino (GEMMA, 2007), que indica que es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurren principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce empinado. Este tipo de evento se distingue también porque el agua del cauce se incorpora al cuerpo del flujo de detritos, incrementando su contenido de agua. Además, el confinamiento lateral ayuda a mantener la profundidad del flujo, facilitando un cierto tipo de ordenamiento de las partículas sólidas y el desarrollo de oleaje. El ordenamiento se refiere a que los clastos más grandes tienden a quedar cerca de la superficie del flujo, lo que se conoce como gradación inversa. Por otra parte, el caudal pico que presentan estos



flujos pueden ser hasta 40 veces mayor que aquellos que causan una inundación. Otra característica que distingue a estos flujos es la forma de la depositación del material sólido: cuando el flujo de detritos alcanza el ápice del abanico de depositación, el canal se amplia y los clastos más gruesos son expulsados hacia los lados para formar una especie de jarillones o albardones y el frente es sobrepasado por el material fino que viajaba tras ellos hasta detenerse tomando una forma lobulada gruesa (Hungar et al., 2001).

Figura 37 Velocidad de los flujos



Fuente: (Suarez Diaz, 1998)

En los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación, la velocidad del movimiento disminuye al profundizar en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura. (Suarez Diaz, 1998)

Los flujos de detritos corresponden a una masa de agua o popular arcillosa definida, donde las partículas son dispersadas en su interior y que se movilizan a velocidades de entre 0.5 y 200 m/s, siendo capaces de recorrer distancias de 200m a 10 km. (Takahashi, 1991)

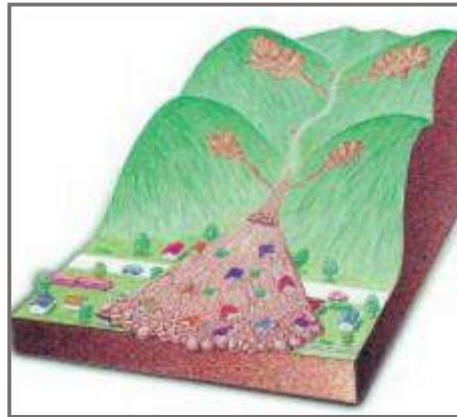
Las pendientes iguales o superiores a 25°, la escasez de vegetación, hoyas compatibles con la posibilidad de producir la saturación de los detritos y rocas expuestas a un equilibrio límite son factores condicionantes para la generación de flujos de detritos, mientras que la lluvia sería un factor detonante. (Hauser, 1985).

Según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), los huaycos o flujos de detritos son movimientos rápidos de rocas, escombros y suelos saturados de agua, que ocurren en las laderas (no canalizado) y cauces de quebradas (canalizado) cuando ocurren



lluvias intensas y prolongadas. Usualmente en su trayecto se desbordan lateralmente depositándose en su parte final en forma de abanicos o cono. Por lo general, se componen de agua y material, principalmente arena, grava y piedras, pero también pueden incluir árboles y materiales fabricados por el ser humano (muebles, automóviles, casas destruidas, etc.). Usualmente, los huaycos tienen la consistencia del concreto húmedo y se mueven a velocidades superiores a los 50 Kilómetros por hora. (INGEMMET, 2005)

*Figura 38 Modelo de flujo de detritos*



*Fuente:* (INGEMMET, 2005)

En los flujos de detritos los sedimentos controlan totalmente el flujo. El movimiento de los flujos de detritos se le relaciona con un flujo turbulento de granos. Están compuesto por dos fases, una líquida llamada “slurry” compuesta por agua y partículas finas, y la parte sólida propiamente dicha que son las partículas gruesas, estas últimas ruedan con velocidades inferiores a las del slurry, además que es posible escuchar el sonido del golpeo entre estas partículas provocando ondas superficiales y salpicaduras, es así que se observa un flujo turbulento. (Suarez, Deslizamientos Tomo I : Análisis Geotécnico)

#### **2.2.4.2.1 Medición del flujo de detritos**

##### **a) Magnitud**

La mayoría de los autores emplean el término magnitud de un movimiento en masa para referirse al tamaño, ya sea en volumen o en área. En ambos casos debe indicarse cuando se trata de volumen (o área) del movimiento inicial, de la zona de depósito, o el total. Frecuentemente se emplea como medida de magnitud el área total, la cual se estima aproximadamente con base en el análisis de productos de sensores remotos. Para el



cálculo de volumen, se estima el área y espesor de la zona de arranque o se emplean formulas empíricas que relacionan el área de la zona de arranque con el volumen, Picarelli et al. (2005).

Sin embargo, otros autores consideran que la magnitud en general debe involucrar otros parámetros que se refieren al tamaño y potencial destructivo de los movimientos en masa. Ojeda-Moncayo et al. (2004), presentan algunas consideraciones para el establecimiento de una escala de magnitudes para los movimientos en masa, teniendo en cuenta dichos parámetros. (SUB GERENCIA DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, 2016)

Tabla 4 Escala de velocidad de movimientos en masa

CLASES DE VELOCIDAD	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (MM/S)	VELOCIDAD TÍPICA	PROBABLE IMPORTANCIA DESTRUCTIVA
7	Extremadamente rápido.	$5 \times 10^3$	5 m/s	Catástrofe de mayor violencia, los edificios expuestos son totalmente destruidos por el impacto del material desplazado, muchas muertes.
6	Muy rápido	$5 \times 10^2$	3 m/min	Algunas pedidas de vidas humanas, velocidad demasiado grande, destrucción importante.
5	Rápido	$5 \times 10^1$	1.8 m/h	Evacuación es posible: estructuras, bienes y equipos son destruidos.
4	Moderada	$5 \times 10^0$	13 m/mes	Algunas estructuras pueden mantenerse, si se encuentran a corta distancia frente a la masa desplazada, las estructuras localizadas en la masa desplazada son extensamente dañadas
3	Lenta	$5 \times 10^{-1}$	1.6 m/año	Correctivos pueden llevarse a cabo durante el movimiento, algunas estructuras se pueden mantener con trabajos frecuentes, si el movimiento total no es grande durante la fase de aceleración.
2	Muy lenta	$5 \times 10^{-2}$	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes sin daños por el movimiento, si hay grietas se pueden reparar.
1	Extremadamente lenta	$5 \times 10^{-3}$		Imperceptible sin instrumentación.

Fuente: SNL- CENEPRED de: Chávez, M.A. (2014)

## b) Intensidad

Para referirse al potencial destructivo de un movimiento en masa, o intensidad, se emplean parámetros tales como la velocidad, las fuerzas de impacto, el espesor o la altura. La intensidad varía de acuerdo con la localización. Cruden y Varnes (1996) establecen una escala de velocidades para movimientos en masa en 7 categorías, desde extremadamente lenta ( $5 \times 10^{-10}$  mm/s) a extremadamente rápida (mayor a 5 m/s). Sin

embargo, algunos movimientos en masa importantes por su potencial destructivo, como son los flujos de detritos, se encuentran todos por encima de la categoría “extremadamente rápido”. A este tipo de movimiento en masa se le categoriza como catastrófico por su potencial de causar pérdida de vidas humanas. Se han desarrollado varios métodos empíricos para el cálculo de velocidad y distancia de viaje, sobre la base de observaciones de campo y el análisis de características de los movimientos en masa tales como el volumen, y del recorrido y la distancia de viaje de fragmentos (Hung et al., 2005). (SUB GERENCIA DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, 2016)

Tabla 5 Escala de Intensidad de Deslizamientos para diferentes procesos

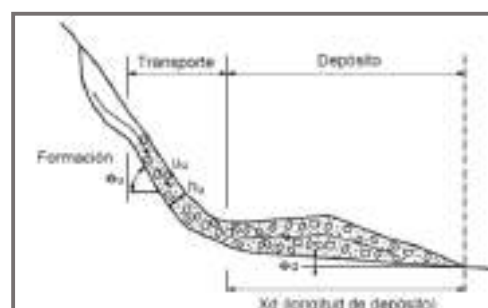
VOLUMEN ESTIMADO (M <sup>3</sup> )	VELOCIDAD DEL DESLIZAMIENTO ESPERADA		
	Deslizamiento rápido (caída de roca).	Movimiento rápido (flujo de detritos).	Movimiento lento (deslizamiento reactivado)
<0.001	Baja	Baja	Baja
<0.5	Media	Baja	Baja
>0.5	Alta	Baja	Baja
<500	Alta	Baja	Baja
500 - 10,000	Alta	Media	Baja
10,000 - 50,000	Muy Alta	Alta	Media
>500,000	Muy Alta	Muy Alta	Alta
>>500,000	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: Cardinali et al. (2002)

#### 2.2.4.2.2 Mecánica del movimiento

El flujo de residuos generalmente ocurre en zonas de alta pendiente e involucra concentraciones altas de material sólido, principalmente de partículas gruesas y bloques (Figura inferior). Debido a las altas pendientes del flujo de residuos se pueden transportar fácilmente partículas o bloques de gran tamaño a alta velocidad. Los flujos de detritos son extremadamente destructivos, debido a las fuerzas de impacto de los grandes bloques. (Suarez, Deslizamientos Tomo I : Análisis Geotécnico)

Figura 39 Esquema de un flujo de detritos



Fuente: (Suarez, Deslizamientos Tomo I : Análisis



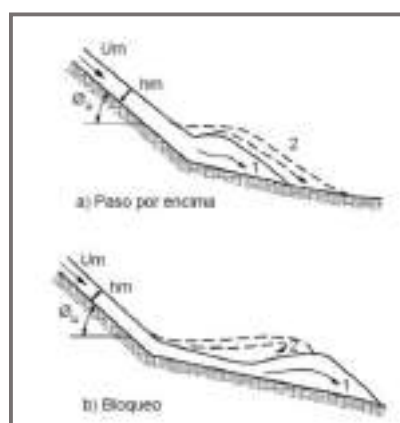
La según estudios realizados en China los flujos de detritos llegan a velocidades de 13.4 m/seg, además existen reportes de velocidades de 20 m/s. En algunos trabajos se mencionan velocidades (no medidas) hasta de 36 m/s. La velocidad es mayor al aumentar la pendiente del canal y la velocidad disminuye al aumentar la concentración de sólidos. Aunque los flujos de detritos contienen partículas más gruesas, mayores concentraciones, mayores pesos específicos y menores cantidades de agua, la mecánica del movimiento, en algunos aspectos es similar a los de los flujos hiper concentrados.

### 2.2.4.2.3 Depositación

Los flujos al disminuir su velocidad, la avalancha desacelera, aumenta de espesor y finalmente para. La deposición ocurre por la disminución de la pendiente, aumento del ancho del canal o la presencia de obstáculos que aumenten la resistencia al flujo. A medida que el número de flujos aumenta en el cauce estos se van depositando en el cauce formando diques que hacen levantar el flujo, aumentándose el proceso de deposición.

Cuando el cambio en el ancho del cauce es abrupto o se presenta una disminución fuerte de la pendiente, la velocidad disminuye abruptamente y se deposita la mayoría del material sólido, formando abanicos o barras de grandes bloques. En primer lugar, se depositan las partículas de mayor tamaño, mientras las partículas finas tratan de recorrer una distancia mayor antes de producirse la sedimentación y puede ocurrir que las partículas en suspensión, recorran caminos de muchos kilómetros después de que las partículas grandes se han depositado. Generalmente, los flujos de residuos corren a lo largo de quebradas estrechas y cuando encuentran un área más amplia, tratan de detenerse, formando abanicos de deposición, los cuales pueden sepultar áreas relativamente extensas. (Suarez, Deslizamientos Tomo I : Análisis Geotécnico)

Figura 40 Esquema de los procesos de acumulación de depósitos



Fuente: (Suarez, Deslizamientos Tomo I : Análisis





### 2.2.4.4 Frecuencia de Huaycos en el tiempo

Se han reportado un total de 66 eventos de deslizamiento, los cuales ocurren con distinta frecuencia siendo el de mayor número de frecuencia anual y las comprendidas mayor o igual a 10 años con 32 eventos y 17 eventos respectivamente. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

La mayor cantidad de eventos reportados corresponden a los ocurridos en el año 2010 con 25 ocurridos y los ocurridos entre el año 2000 al 2008 con 30 eventos, como se muestra en el cuadro siguiente:

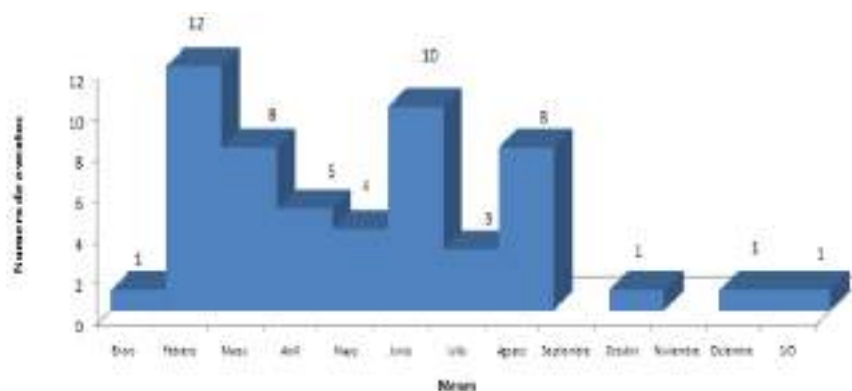
Tabla 6 Ocurrencias de eventos de huaycos

Frecuencia	Años de Ocurrencia				Total
	Antes del 2000	Entre el 2000 y 2008	2009	2010	
Anual		7	2	23	32
Bi-anual		1			1
Entre 3 y 9 años		2		1	3
Igual - mayor a 10 años	3	13		1	17
Única vez		0			0
Fenómeno del Niño	6				6
S/D		7			7
Total	9	30	2	25	66

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

De los eventos de huaycos que se reportaron, la mayor cantidad de éstas se reportan en el mes de febrero con 12 eventos, seguidos del mes de junio con 10 eventos y marzo y agosto con 8 eventos, los resultados se muestran en la siguiente figura:

Figura 41 Eventos de Huaycos: Mensual



Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2010)



Tabla 7 Metas antes eventos de huaycos

Evento	Actividad	Unidad	Cantidad	Nº de proyectos
Huayco	1 Construcción de dique	Km.	1	1
	2 Construcción de Gavión	Km.	0.388	2
	3 Construcción de muro de contención	Km.	3.09	14
	4 Descolmatación	Km.	8.82	16
	5 Enrocado	Km.	2.95	4
	6 Reforestación	g/b	2	2
		ha.	10	1
	7 Compuerta Metálica de evacuación	Und.	3	1
	8 Construcción de obras de arte de protección	Und.	1	1
9 Rehabilitación de infraestructura de riego	Km.	0.09	3	
Total				43*

\*. No corresponde a la suma porque hay proyectos que tienen mayor a una meta

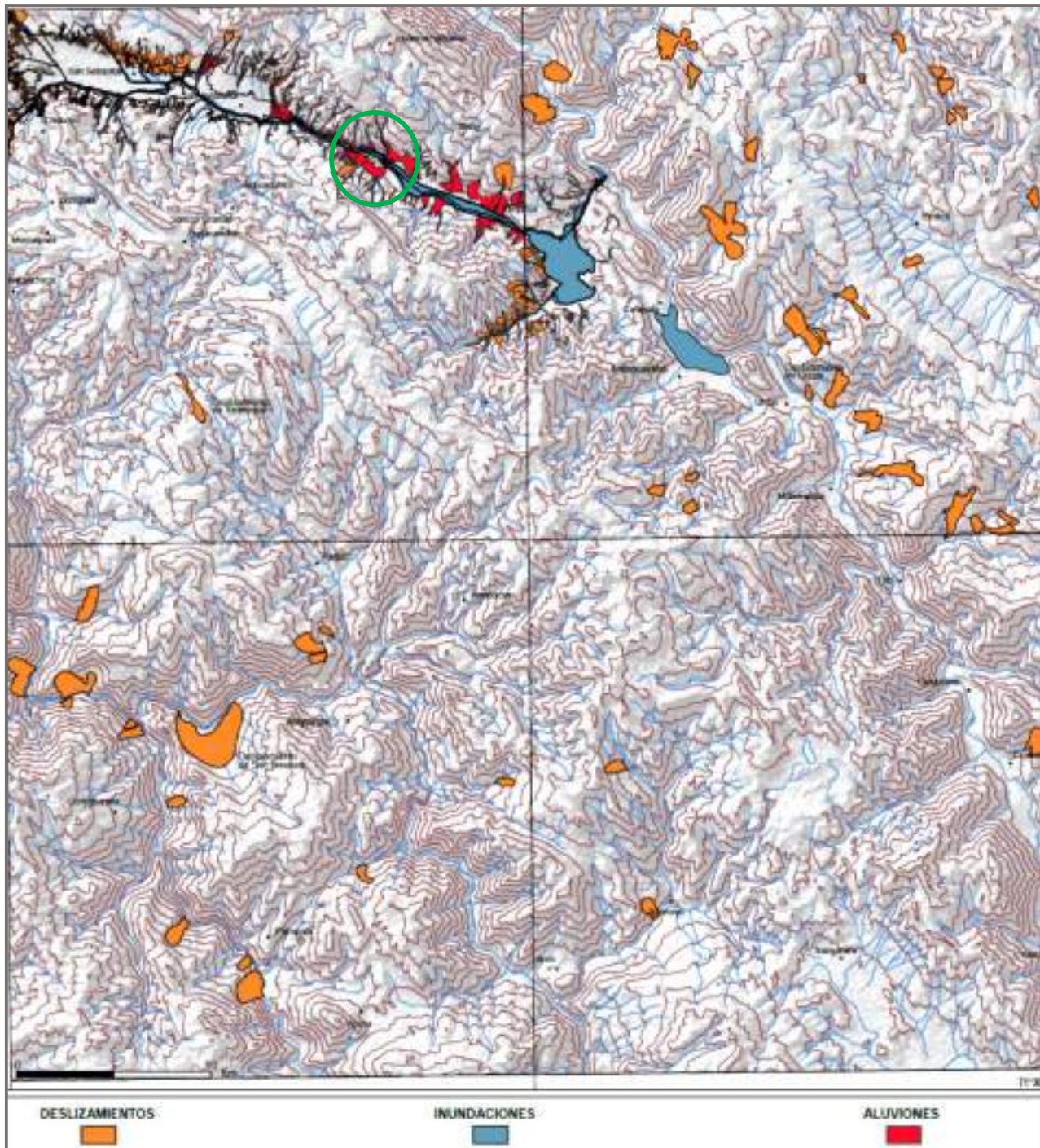
Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

En la tabla, podemos observar las alternativas que son usualmente construidas para mitigar o prevenir los huaycos, en nuestro medio. La alternativa más utilizada es la descolmatación del cauce, es decir, que consiste en quitar el residuo acumulado provenientes del deslizamiento de suelo.





Figura 42 Mapa de peligros geológicos del Cusco

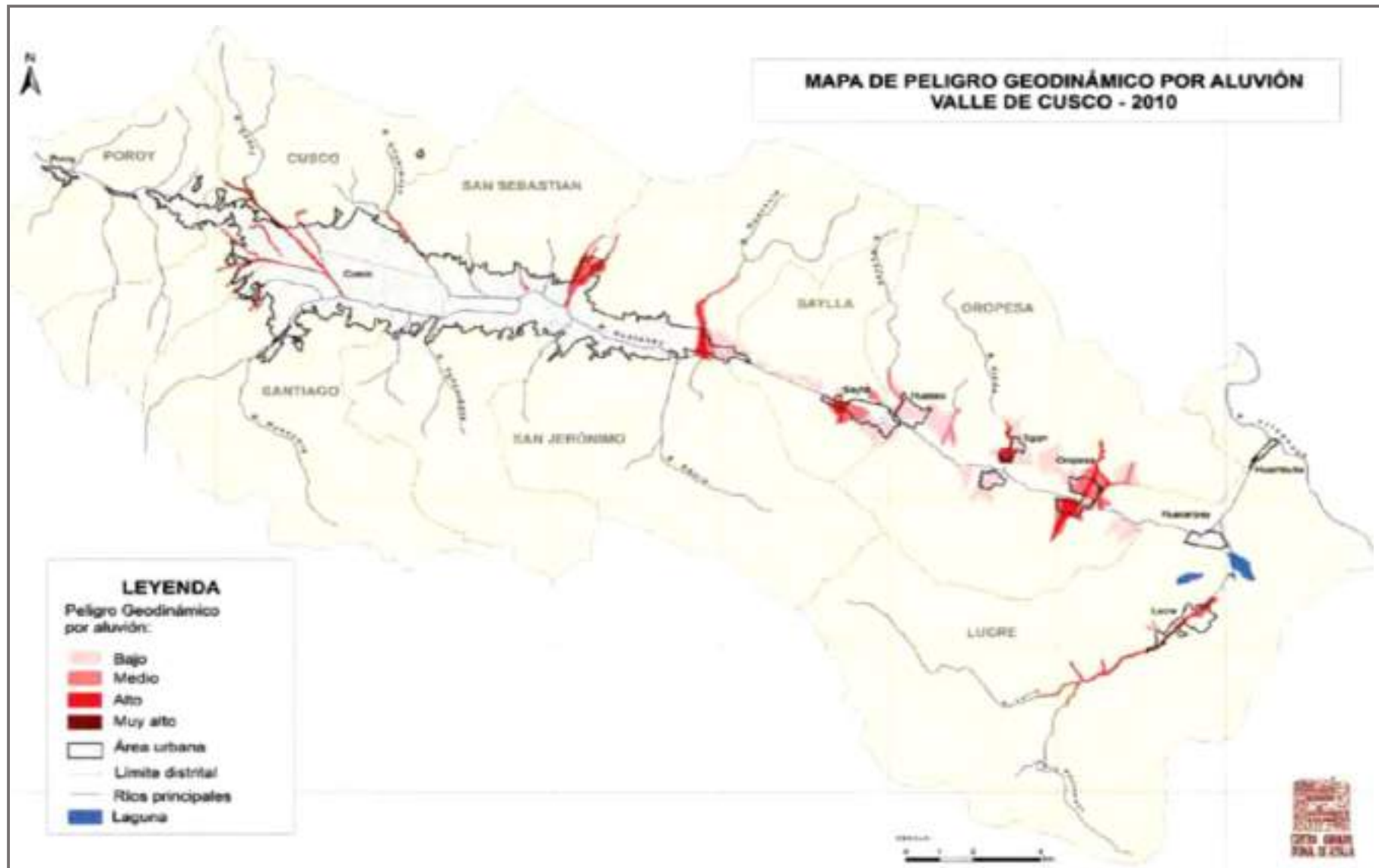


Fuente: (Caillaux & Cárdenas Roque, Geología del Cuadrángulo del Cusco, 2011)

En la figura 39 y 40, mostramos el mapa de peligros geológicos del Cusco, en el cual, se muestra gráficamente, que la zona de la quebrada Hatun Huayco está pintada de color rojo, lo cual, según la leyenda mostrada es una zona donde se presentan huaycos.



Figura 43 Mapa de peligro geodinámico por aluvión Valle de Cusco -2010



Fuente: (Caillaux & Cárdenas Roque, Geología del Cuadrángulo del Cusco, 2011)





#### 2.2.4.5 Sistema de drenaje

Según el Sistema Nacional de Defensa Civil, existen varios fenómenos naturales en el Perú que causan desastres; sin embargo, considera a 4 de ellos como los de mayor incidencia y los que más daño han provocado, estos son los terremotos, las inundaciones, los deslizamientos y los más frecuentes los huaycos.

El agua es el factor más importante en el análisis de susceptibilidad por flujo de escombros y otros peligros asociados. Es por éste motivo que se debe analizar las zonas de acumulación de aguas para realizar obras de prevención, principalmente la realización de sistemas de drenajes que eviten la filtración de agua en zonas vulnerables a caída, colapso o deslizamientos.

Como bien sabemos, el agua estancada o en movimiento es el peor enemigo de los suelos, el agua cuando se encuentra estancada provoca el ablandamiento por saturación del suelo, y ésta en movimiento presenta el fenómeno de la erosión, hacen que ella sea la causa principal de la mayor parte de las fallas, deslizamientos, avalanchas y huaycos en las quebradas.

Este fundamento se basa aplicando los conocimientos sobre la formación y mecánica del huayco, así como de las recomendaciones realizadas por el Ing. Geólogo Oscar Vásquez Huamaní, quien propone soluciones enmarcadas dentro del concepto, construyendo en las laderas de los cerros, un sistema de canales drenadores disipadores que le den la dirección, aquietamiento y dosifiquen el drenaje de las aguas torrenciales que caen sobre las laderas, denominándolo a este como el Método de Corrección de Drenaje.

Por éstas razones, consideramos necesario adoptar sistemas que permitan conducir las aguas, acopiarlas, extraerlas y eliminarlas. Para conseguir esta finalidad es indispensable utilizar el drenaje, el cual se define como el conjunto de elementos capaces de controlar el movimiento de las aguas superficiales principalmente, con el fin de eliminar el exceso de agua absorbida por el suelo, cuando esta no se puede realizar por el sub – suelo. Es así, que el drenaje se constituye en un factor de importancia para reducir los gastos de conservación de suelo.

El agua que debe ser drenada proviene principalmente de la precipitación pluviométrica, pero, además, puede provenir de los deshielos, de los desbordes de las quebradas y de las obras de regadío en general. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)



El sistema de drenaje tiene como premisa fundamental la de interceptar y conducir convenientemente las aguas, de modo que la erosión natural se reduzca, sin producir erosión acelerada y la posible ocurrencia de una avalancha o un huayco. (GARCIA CHACA, 2016)

*Figura 44 Sistema de drenaje en Hatun Huayco*



*Fuente: Propia*

### **2.2.5 Software RAMMS: Debris Flow**

La mitigación de los peligros naturales se basa cada vez más en modelos de procesos numéricos para predecir el área inundado por rápidos movimientos de masas. Estos movimientos incluyen:

- Avalanchas de nieve
- Flujos de escombros basados en torrentes y flujos de escombros en laderas
- Deslizamientos de tierra
- Avalanchas de hielo y brotes de lagos glaciares
- Desprendimientos y avalanchas de rocas

Los ingenieros utilizan los modelos de proceso para predecir la velocidad y el alcance de estos movimientos peligrosos en terreno complejo. Los modelos son especialmente útiles a la hora de proponer medidas técnicas de mitigación.

RAMMS fue desarrollado por el equipo del programa RAMMS en el WSL Institute for Snow and Avalanche SLF. La página web de RAMMS <http://ramms.slf.ch> proporciona



información útil, como un foro de debate moderado, preguntas frecuentes (FAQ) o actualizaciones de software recientes.

El sistema de software RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) contiene tres módulos de proceso:

- RAMMS AVALANCHE
- RAMMS DEBRISFLOW
- RAMMS ROCKFALL

Los módulos RAMMS AVALANCHE y RAMMS DEBRISFLOW están diseñados para fenómenos de flujo que contiene partículas de nieve y rocas que se mueven rápidamente, en el módulo de flujo de detritos, el fluido intersticial es lodo.

Los modelos utilizan ecuaciones promediadas en profundidad y predicen las velocidades de pendiente paralela y alturas de flujo. Esta información es suficiente para la mayoría de las aplicaciones de ingeniería.

Los ingenieros especifican las condiciones iniciales (ubicación y tamaño de la masa de liberación) y fricción parámetros, dependiendo del terreno (por ejemplo, rugosidad, vegetación) y material (por ejemplo, nieve, hielo o barro contenido del flujo de escombros).

En todos los módulos RAMMS se han desarrollado e implementado nuevos modelos constitutivos, gracias a la calibración y verificación en sitios de prueba a gran escala como St. Léonard / Walenstadt (caída de rocas, medidas de mitigación), Vallée de la Sionne (avalanchas de nieve) e Illgraben (flujo de escombros).

## **2.3 Hipótesis**

### **2.3.1 Hipótesis general**

El análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, muestra que es susceptible a la ocurrencia de un flujo de detritos de Intensidad Alta.



### 2.3.2 Sub hipótesis

- La precipitación máxima cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco es mayor a 5.6 mm.
- Las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, nos muestran que se trataría de un suelo gravoso con bajo contenido de arcillas.
- Los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, serían principalmente una pendiente mayor a 50% y topografía irregular de la zona.

## 2.4 Definición de variables

### 2.4.1 Variables independientes

#### a) Precipitación

Se define como precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. (Chereque Morán)

#### b) Suelo

El suelo está definido como “un ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre)”. El tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus características físicas: textura, estructura, capacidad de drenaje del agua, etc. (Jordán López, 2005-2006)

#### c) Topografía

Se denomina topografía a una rama de la ingeniería que propone determinar la posición relativa de los puntos, mediante la recopilación y procesamiento de las informaciones de las partes físicas del geoide, considerando que la superficie terrestre de observación es una superficie plana horizontal. (Dueñas, 2010)



### 2.4.2 Variables dependientes

#### a) Flujo de detritos

Según Oldrich Hungr, el flujo de detritos, como su nombre indica es un flujo muy rápido y extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.



### 2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 8 Cuadro de operacionalización de variables

TIPO	VARIABLES	DIMENSIONES	OPERACIONALIZACIÓN		
			INDICADORES	NIVEL	UNIDAD
INDEPENDIENTE	CARACTERISTICAS HIDROLÓGICAS, GEOLOGICAS Y TOPOGRÁFICAS DE LA QUEBRADA	Precipitación	Intensidad	Numérica	mm/hr
		Características de Suelo	Clasificación del suelo	Nominal	Grava (G)
					Arena (S)
					Limo (M)
					Arcilla (C)
					Orgánico (O)
		Parámetros Topográficos	Pendiente	Ordinal	Llano (< 1°, muy baja)
					Pendiente suave (1-5°, baja)
					Pend. moderada (5-15°, media)
					Pend. fuerte (15-25°)
					Pend. muy escarpada (>45°, abrupta)
	Longitud	Numérica	m		
	Área	Numérica	m <sup>2</sup>		
	Volumen	Numérica	m <sup>3</sup>		
DEPENDIENTE	FLUJO DE DETRITOS	-	Área de Afectación	Numérica	m <sup>2</sup>
			Intensidad	Ordinal	Muy Alta Alta Media Baja

Fuente: Elaboración propia





## Capítulo III: Metodología de la Investigación

### 3.1 Metodología de la Investigación

#### 3.1.1 Enfoque de la investigación

Ésta investigación consiste en el análisis y procesamiento de datos obtenidos en campo (tiempo de concentración, topografía, tipo de suelo, etc.), dando lugar al estudio del efecto producido por la acción de una o más variables independientes sobre la variable dependiente, que en éste caso es el flujo de detritos; así mismo, permite recabar y analizar datos numéricos en relación a unas determinadas variables, que han sido previamente establecidas. Este tipo de investigación estudia la relación entre todos los datos cuantificados, para conseguir una interpretación precisa de los resultados correspondientes. Lo cual, nos muestra que tiene un enfoque Cuantitativo. (Romero, 1990) Sin embargo, aplicamos un método de investigación que consiste en medir un fenómeno a través de un intervalo temporal determinado, lo cual nos sirve para analizar y observar de manera secuenciada la evolución de un fenómeno o de sus elementos, haciendo posible el uso de datos cuantificados en el pasado y proyectarlos al futuro. De ésta forma, tenemos un enfoque Cuantitativo, con tipología Longitudinal.

#### 3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

Ésta investigación tiene un análisis predominantemente descriptivo, sin embargo, va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; está dirigida a responder a las causas de los eventos físicos y se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas.

Las investigaciones explicativas son más estructuradas que las demás clases de estudios y de hecho implican los propósitos de ellas (exploración, descripción y correlación), además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia.

Según Sampieri (Sampieri, 1997) éste tipo de investigación, busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986). Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir, dando lugar a un nivel de investigación Descriptivo con alcance Explicativo.



### 3.1.3 Método de investigación

En ésta investigación, tendremos la posibilidad de estudiar exhaustivamente las relaciones entre determinados aspectos del proceso que conlleva a caracterizar una zona susceptible a riesgos o no; y poner de manifiesto las causas condicionantes de la necesidad de dicho fenómeno.

De ésta forma, el método de investigación será Hipotético Deductivo, siendo el más complejo y eficaz. En este método, las hipótesis son puntos de partida para nuevas deducciones. Se parte de una hipótesis inferida de principios o leyes o sugerida por los datos empíricos, y aplicando las reglas de la deducción, se arriba a predicciones que se someten a verificación empírica, y si hay correspondencia con los hechos, se comprueba la veracidad o no de la hipótesis de partida. (Jiménez, 2017)

## 3.2 Diseño de la investigación

### 3.2.1 Diseño metodológico

En ésta investigación, crearemos varias situaciones de flujo de detritos, para luego analizar sus posibles consecuencias o implicaciones sobre una realidad específica. (Jiménez, 2017). La investigación cuasi experimental es un tipo de estudio que se caracteriza porque el sujeto de estudio no se selecciona de forma aleatoria, sino que se encuentra o establece previamente. La metodología de este tipo de investigación se caracteriza por ser descriptiva, la cual consiste en observar el comportamiento de los individuos y de las diferentes variables sociales y registrar datos cualitativos y cuantitativos; además se ubica entre la investigación experimental y el estudio observacional. Este tipo de investigación se enfoca en identificar la forma en la que se relacionan variables independientes (Precipitación, Topografía y Suelo) sobre la variable dependiente (Flujo de detritos) y qué es lo que esto produce. Sin embargo, no tiene el control de variables o de los elementos que intervienen en el contexto del sujeto de estudio. Dentro de la definición del diseño Cuasi experimental, tenemos que tendrá carácter Longitudinal, ya que, tiene el objetivo de estudiar los cambios por los que atraviesa la quebrada en un período de tiempo continuo. Dándonos un Diseño Metodológico Cuasi Experimental.



### 3.2.2 Diseño de ingeniería

#### **PRIMERO: Búsqueda de antecedentes en la zona**

Se realizó la búsqueda y revisión de documentos relacionados al estudio de la Quebrada Hatun Huayco, además se entrevistó a profesionales de la ingeniería involucrados en temas relacionados al análisis de flujo de detritos.

En esta etapa se realizó el análisis de la información secundaria, la cual consiste en los estudios que se han realizado en cuanto al tema en distintos lugares y diferentes aspectos, con el fin de obtener conclusiones acerca de los diferentes proyectos de investigación. De esta manera se pretendió conocer más acerca de la Quebrada Hatun Huayco en el Distrito de Saylla.

#### **SEGUNDO: Análisis de la Susceptibilidad**

Se recomienda, analizar la susceptibilidad a los deslizamientos en las quebradas de alta pendiente, con condiciones morfológicas para producir iniciación de flujos.

Para que ocurra un flujo de detritos, se deben cumplir tres condiciones a un mismo tiempo:

- Susceptibilidad Geológica: Deben existir los materiales susceptibles a desprenderse y moverse.
- Susceptibilidad Topográfica: Deben existir las condiciones de pendiente, ancho y propiedades del canal, que permitan la ocurrencia de un huayco.
- Posibilidad de un evento activador: Deben existir las condiciones para que se pueda producir un evento activador del huayco, lluvias extraordinarias, sismos, etc.

#### **TERCERO: Levantamiento topográfico**

Es necesario realizar el levantamiento topográfico con un VANT, para conocer la situación actual de la quebrada, y confirmar los tres tipos de susceptibilidades que influyen en el flujo de detritos. Éste paso, se realizó en tres etapas, que fueron planeadas cuidadosamente, para no dañar los equipos por factores climatológicos de radiación solar, empezando por la parte superior de la quebrada, hasta llegar a la parte inferior de la misma. Se aprovechó ésta etapa para hacer una inspección visual de la quebrada, pudiendo verificar los factores de riesgo que posee, y sean considerados en la investigación.



#### **CUARTO: Procesamiento Fotogramétrico**

En ésta etapa, nos adentramos, en el uso de softwares necesarios para procesar toda la información levantada en campo, siendo necesario el uso de ArcGIS, Civil 3D, para obtener diferentes datos, como son:

- Modelos digitales de elevación. Mapeo del terreno y de los sitios susceptibles a flujo de detritos.
- Mapa de pendientes.

#### **QUINTO: Cálculo de los Caudales de Agua**

Se deben definir los caudales de agua disponible, la forma y las características del probable hidrograma, (para la precipitación de máxima esperada), suponiendo solamente los aportes de agua sin tener en cuenta los sólidos. Este análisis requiere de información sobre la precipitación y la morfología de la cuenca.

#### **SEXTO: Selección del Software**

La selección del programa de software y los parámetros para el análisis, deben tener en cuenta el tipo de fluido y las características esperadas de comportamiento.

#### **SEPTIMO: Realización de sondeos al suelo**

Así mismo, incluimos en la investigación, la realización de tres calicatas en lugares estratégicos, con el fin de estudiarlas en laboratorio para saber qué tipo de suelo estamos tratando y comprobar si los estudios realizados por el INGEMMET, coinciden con nuestros resultados. Se consideró la norma AASHTO T86-70 “Recolección de muestras de suelo en el terreno”.

#### **OCTAVO: Análisis en el laboratorio de Mecánica de Suelos**

Se procedió a realizar el análisis de las muestras inalteradas en el laboratorio, considerando éstos ensayos: Contenido de Humedad (ASTM Parte 19), Límite Líquido (ASTM 423-66), Límite Plástico (D424-59), Análisis Granulométrico Método Mecánico (AASHTO T87-70), Corte Directo (ASTM D3080-72), y Gravedad específica (ASTM 0854-58).

#### **NOVENO: Corrida del Programa**

La modelación incluye:

- Predecir el comportamiento o las características del movimiento de los flujos de detritos, utilizando un software reconocido por distintas instituciones, que



brinde resultados suficientemente exactos para poder predecir eventos de este tipo.

- Análisis de resultados de software, cálculo de velocidades, profundidad de flujo y distancia del recorrido, entre otros elementos.

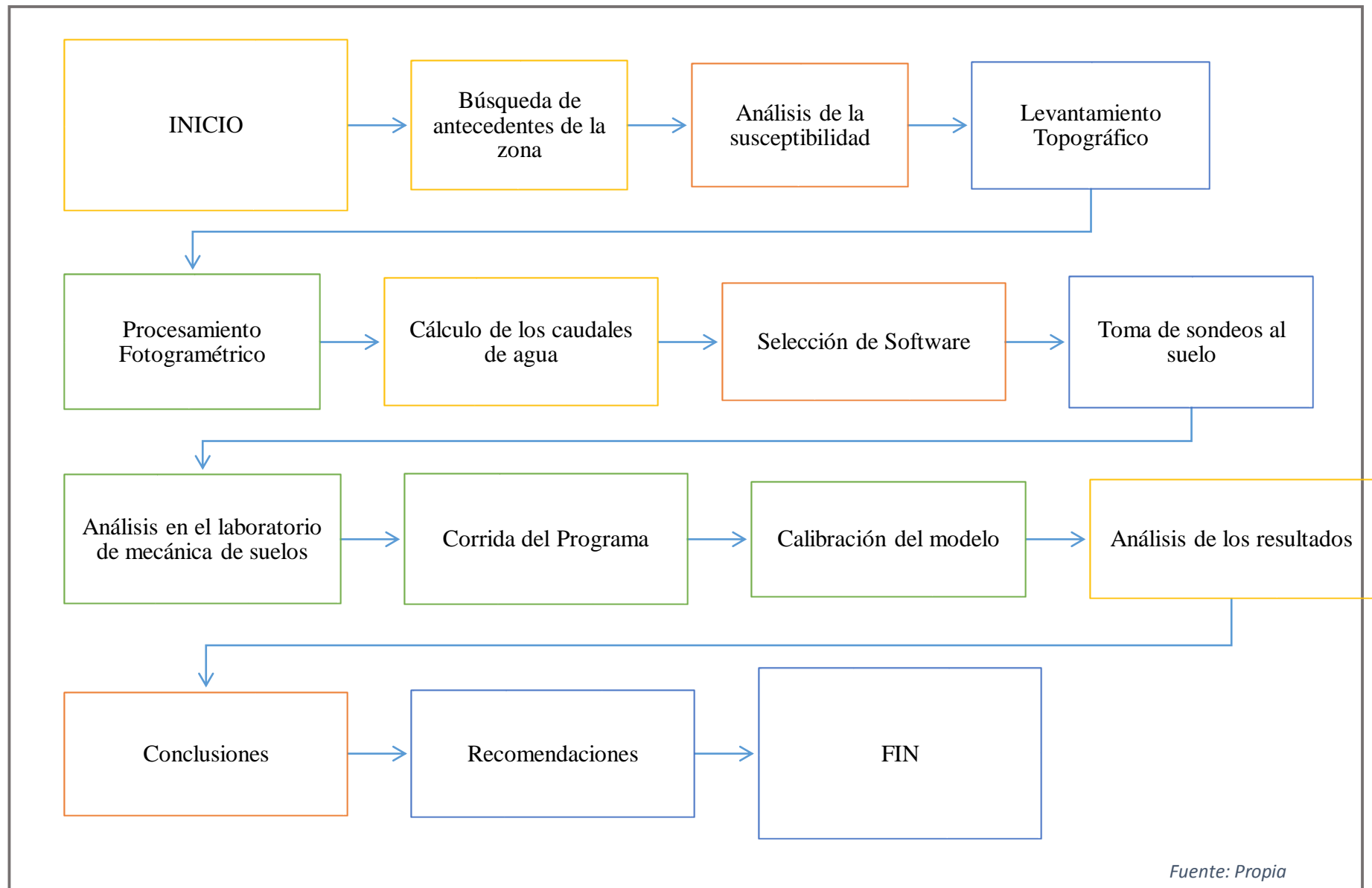
Identificar las distancias máximas del recorrido, los volúmenes, las velocidades y la distribución de los depósitos de estos flujos, etc.

### **DECIMO: Calibración del Modelo**

Es posible que se requiera corregir el modelo o correrlo de nuevo por inconsistencias con la realidad geomorfológica del terreno. El modelamiento solamente es una herramienta cuyos resultados dependen, en gran parte, de los criterios utilizados para determinar los parámetros o datos para correr los programas matemáticos.



Figura 45 Diseño de ingeniería de la investigación





### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

##### **3.3.1.1 Descripción de la población**

Se entiende por población como el “Conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (Arias, 2006. p. 81)

La población del estudio, se encuentra comprendida por la cuenca delimitada, perteneciente a la quebrada de Hatun Huayco, que presentará acumulación de flujo de detritos en zonas de alta susceptibilidad a desprender material, ubicada en el distrito de Saylla, provincia de Cusco.

##### **3.3.1.2 Cuantificación de la población**

La presente tesis, contempla 01 población:

- La cuenca perteneciente a la quebrada Hatun Huayco, cuyas características a analizar, serán de ámbito hidrológico, geológico y morfométrico.

#### **3.3.2 Muestra**

##### **3.3.2.1 Descripción de la muestra**

Se entiende por muestra al "subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible" (Ob. cit. p. 83). Es decir, representa una parte de la población objeto de estudio. De allí es importante asegurarse que los elementos de la muestra sean lo suficientemente representativos de la población que permita hacer generalizaciones.

Por su parte Hernández citado en Castro (2003), expresa que "Si la población es menor a cincuenta 50 individuos, la población es igual a la muestra".

Por lo tanto, la muestra en éste estudio, será igual a la población, la cual es la cuenca delimitada, perteneciente a la quebrada Hatun Huayco.

##### **3.3.2.2 Cuantificación de la muestra**

La presente tesis, contempla 01 muestra:

- La cuenca perteneciente a la quebrada Hatun Huayco, cuyas características a analizar, serán de ámbito hidrológico, geológico y morfométrico.



### 3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo, puede ser probabilístico y no probabilístico. El método probabilístico, es aquel donde todos los miembros de la población tienen la misma opción de conformarla, a su vez pueden ser: Muestra aleatoria simple, muestra de azar sistemático, muestra estratificada o por conglomerado o áreas. En el método de muestreo no probabilístico, la elección de los miembros para el estudio dependerá de un criterio específico del investigador, lo que significa que no todos los miembros de la población tienen igualdad de oportunidad de conformarla.

El método de muestreo que se utilizó en la investigación fue No Probabilístico, debido a que se eligieron las muestras en función a los propósitos de la investigación, que en éste caso lo conformarían las características hidrológicas, geológicas y topográficas.

### 3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Éste tema de investigación, se compone de tres ramas fundamentales, las cuales resumimos de la siguiente manera:

En primer lugar, las características hidrológicas de la cuenca en estudio, lo cual nos conlleva a obtener datos históricos de precipitaciones, provenientes de la estación seleccionada: Kayra. Éstos datos, fueron recogidos desde el SENAMHI CUSCO, para posteriormente, poder realizar un hidrograma, que nos dé la precipitación máxima.

En segundo lugar, las características geológicas de la zona, que se desarrollan básicamente en el tipo de suelo que estamos tratando. Dicho proceso, se hizo mediante la conformación de tres calicatas, siguiendo la norma AASHTO T86-70 “Recolección de muestras de suelo en el terreno”, de donde se extrajo suelo inalterado para su posterior evaluación en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Andina del Cusco, mediante los ensayos: Contenido de Humedad (ASTM Parte 19), Límite Líquido (ASTM 423-66), Límite Plástico (D424-59), Análisis Granulométrico Método Mecánico (AASHTO T87-70), Corte Directo (ASTM D3080-72), y Gravedad específica (ASTM 0854-58).

En tercer lugar, las características topográficas de la zona, que principalmente hace referencia a la accidentalidad topográfica, para lo cual, se realizó el vuelo del V.A.N.T. Phantom 4 Pro, mediante el software disponible en dispositivos IOS Map Pilot, que posteriormente fue





procesado en gabinete mediante el uso de software conocidos como son Agisoft Photo Scan, Global Mapper, Arc Gis, Civil 3D, y Microsoft Excel.

### 3.3.3 Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión de la muestra, fueron basados en estudios de la misma índole, realizados por INGEMMET, en distintas quebradas susceptibles a reactivarse, en Cusco. Las cuales sugieren, de la misma forma, analizar los tres principales parámetros mencionados (precipitaciones, tipo de suelo y topografía), además, ésta investigación añade a los estudios hechos por INGEMMET, el uso de un software nuevo en la región del Cusco, como es el modelador de flujo de detritos “RAMMS”.

## 3.4 Instrumentos

### 3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

#### a. Carta nacional 28S-IV-NE 1/25,000

Son 501 cartas nacionales del Perú en escala 1:100 000 en formato shapefile, consta de la información topográfica de todo el Perú

*Figura 46 Carta nacional 28S-IV-NE 1/25,000*



*Fuente: INGEMMET*



## **b. Planes de vuelo**

La correcta planificación del vuelo del VANT es el proceso que tiene mayor influencia en la calidad de los resultados que generan los procesadores de imágenes. Es importante la calidad, la resolución, el número de imágenes, la altura a la que se toman, pues los aspectos más importantes son:

- Suficiente solape entre imágenes.
- Adecuada localización y orientación de las fotos

(Martines, 2019)

## **c. Inspección visual (registro fotográfico)**

El ensayo de inspección visual es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades que afectan a la superficie visualmente accesible.

La inspección visual es el método no destructivo por excelencia, siendo su alcance de aplicación extremadamente extenso:

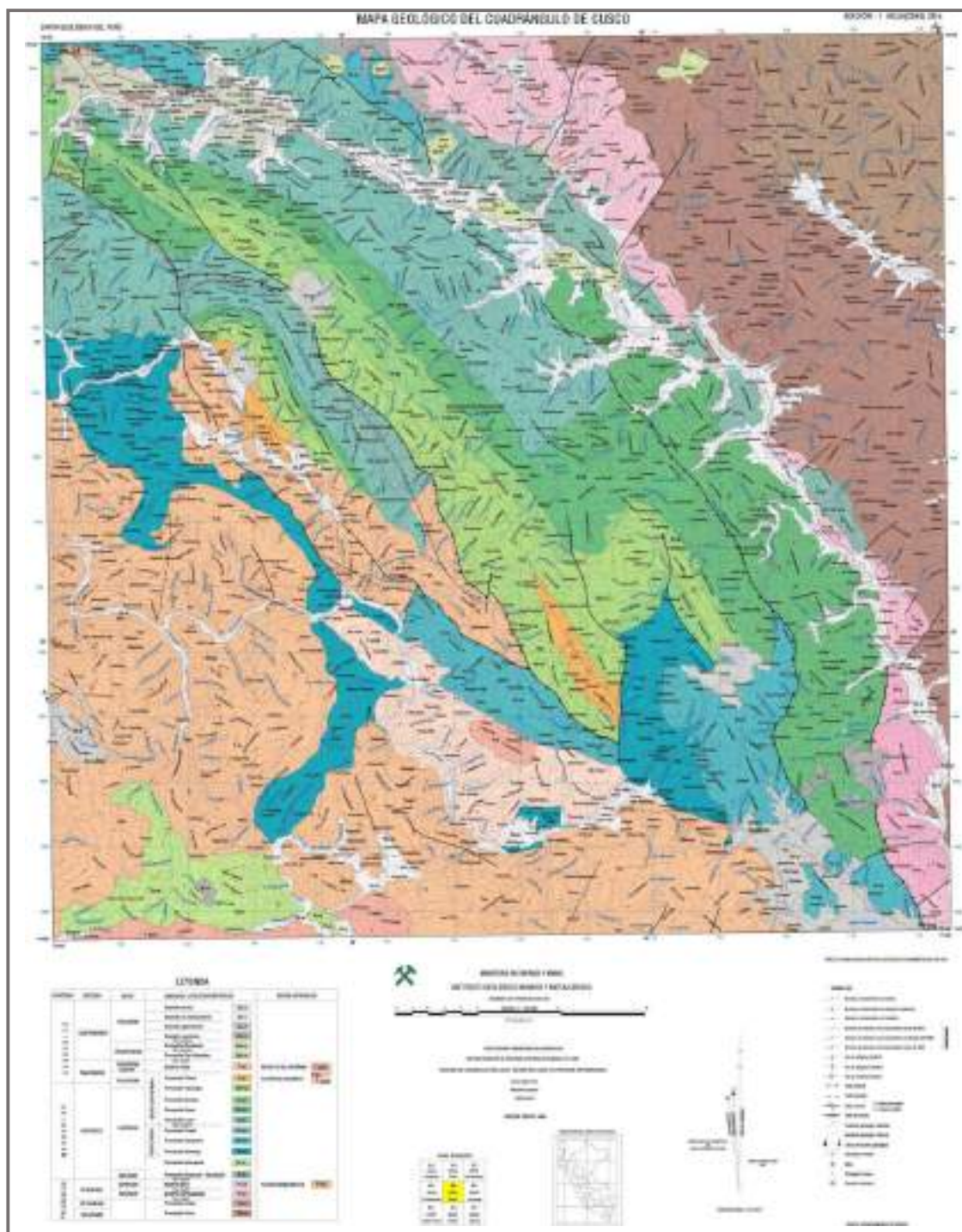
- Identificar materiales respecto a su especificación y composición química.
- Detección de formas, grietas en las zonas de estudio.
- La inspección visual no solo es importante como método de ensayo en sí mismo, sino que es esencial como ensayo previo y preliminar en la ejecución de cualquier otro. Ya que debe realizarse siempre, incluso cuando esté prevista la ejecución de otro tipo de ensayos. (ipunto., 2019).

## **d. Mapa geológico del cuadrángulo del Cusco**

Los mapas geológicos integrados a escala 1:100,000 se desarrollaron entre los años 2014 y 2016. El objetivo de la integración fue empalmar digitalmente los polígonos y generar tablas básicas de atributos para cada unidad litoestratigráfica, características estructurales (fallas, pliegues, rumbos y buzamientos) y secciones geológicas. Basado en estándares nacionales e internacionales de cartografiado geológico digital (Ingenment, 2016).



Figura 47 Mapa geológico de cuadrángulo de Cusco



Fuente: (Caillaux & Cardenas Roque, Geología del Cuadrángulo de Cusco, 2011)



e. Formato de recolección de datos de laboratorio de suelos

Tabla 9 Formato de recolección de datos Contenido de Humedad

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CARACTERISTICAS EN EL FLUJO DE DETRITOS DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO DE LA A.P.V. FERROVIARIOS DISTRITO DE SAYLLA PROVINCIA DEL CUSCO".					
TÍTULO DEL ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD					
RESPONSABLE: F.R.A y C.Q.R.					
FECHA: 10/12/2019					
LUGAR: U.A.C.					
<b>CALICATA N° 01</b>					
Numero lata					
Peso lata (g)					
Peso suelo húmedo + Lata (g)					
Peso suelo seco + Lata (g)					
Peso del agua (g)					
Peso del suelo seco (g)					
% de humedad					
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Formato de recolección de datos Granulometría

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CARACTERISTICAS EN EL FLUJO DE DETRITOS DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO DE LA A.P.V. FERROVIARIOS DISTRITO DE SAYLLA PROVINCIA DEL CUSCO".					
TÍTULO DEL ENSAYO: GRANULOMETRÍA					
RESPONSABLE: F.R.A y C.Q.R.					
FECHA: 10/12/2019					
LUGAR: U.A.C.					
<b>CALICATA N° 01</b>					
Tamiz N°	Díámetro	Peso retenido	% Retenido	% Pasa	
4	4.750				
10	2.000				
16	1.180				
40	0.425				
60	0.250				
100	0.150				
200	0.075				
Fondo					

Fuente: Elaboración propia





Tabla 11 Formato de recolección de datos Límite líquido

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS : "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CARACTERISTICAS EN EL FLUJO DE DETRITOS DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO DE LA A.P.V. FERROVIARIOS DISTRITO DE SAYLLA PROVINCIA DEL CUSCO".						
TÍTULO DEL ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO						
RESPONSABLE: F.R.A y C.Q.R.						
FECHA: 03/08/2020						
LUGAR: Urb. San Francisco B-2B Wanchaq						
<b>LIMITE LIQUIDO (MTC E 110. AASHTO T89)</b>						
Numero de Golpes						
Peso del Contenedor (gr.)						
Peso del Contenedor + Suelo húmedo (gr.)						
Peso del Contenedor + Suelo seco (gr.)						
Peso del agua (gr.)						
Peso del suelo seco (gr.)						
Contenido de Humedad (%)						

Fuente: Laboratorio Allpa



Tabla 12 Formato de recolección de datos Gravedad específica

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS : "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CARACTERISTICAS EN EL FLUJO DE DETRITOS DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO DE LA A.P.V. FERROVIARIOS DISTRITO DE SAYLLA PROVINCIA DEL CUSCO".						
TÍTULO DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA						
RESPONSABLE: F.R.A y C.Q.R.						
FECHA: 03/08/2020						
LUGAR: Urb. San Francisco B-2B Wanchaq						
<b>MUESTRA C - 3</b>						
Número de Picnómetro		M1		M2		
Volumen del Picnómetro (ml)						
Peso del contenedor (gr.)						
Peso del contenedor + Muestra Seca (gr.)						
Peso de la Muestra Seca (gr.)						
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr.)						
Temperatura del Agua (°C)						
Peso del Picnómetro + Agua (gr.)						
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)						
Peso del Agua desplazada (gr.)						
Gravedad específica a temperatura de ensayo (gr./cm3)						
Factor de corrección por temperatura						
Peso específico (gr./cm3)						
Rango de los resultados* (gr./cm3)						

Fuente: Laboratorio Allpa



Tabla 13 Formato de recolección de datos Corte Directo

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>TESIS : "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CARACTERISTICAS EN EL FLUJO DE DETRITOS DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO DE LA A.P.V. FERROVIARIOS DISTRITO DE SAYLLA PROVINCIA DEL CUSCO".</b>			
<b>TÍTULO DEL ENSAYO: CORTE DIRECTO</b> <b>RESPONSABLE: F.R.A y C.Q.R.</b> <b>FECHA: 03/08/2020</b> <b>LUGAR: Urb. San Francisco B-2B Wanchaq</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>M01</b>	<b>M02</b>	<b>M03</b>
<b>Características Iniciales de la Muestra</b>			
Número de anillo			
Altura de la Muestra (cm)			
Diámetro de la Muestra (cm)			
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )			
Peso de la Muestra Húmeda (gr.)			
<b>Características después de la Consolidación</b>			
Asentamiento (mm)			
Altura de la Muestra (cm)			
Diámetro o lado de la Muestra (cm)			
Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> )			
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )			
<b>Características después del Ensayo de Corte Directo</b>			
Asentamiento (mm)			
Altura de la Muestra (cm)			
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )			
<b>Contenido de Humedad</b>			
Peso del Contenedor (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)			
Peso del Agua (gr.)			
Peso del Suelo Seco (gr.)			
Contenido de Agua Final (%)			
Densidad Humeda Final (gr/cm <sup>3</sup> )			
Densidad Seca Final (gr/cm <sup>3</sup> )			
Gravedad Especifica (gr/cm <sup>3</sup> )			
Relación de Vacios Inicial			
Grado de Saturación Inicial (%)			
Relación de Vacios luego de consolidarse			
Relación de Vacios Final			
Grado de Saturación Final (%)			

<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO</b>								
Deformación Horizontal (%)	Área Correg. (cm)	Área Correg. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)			Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )		
			M01	M02	M03	M01	M02	M03

Fuente: Laboratorio Allpa



### 3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

Los instrumentos utilizados para el procesamiento de los datos recolectados en el trabajo de campo son:

- a) Vehículo aéreo no tripulado (VANT)
- b) APP JVL
- c) GPS diferencial
- d) Computadora portátil
- e) ARC- Gis
- f) Agisoft Metashape Professional.
- g) Civil 3D
- h) Microsoft Word 2016
- i) Microsoft Excel 2016
- j) RAMMS DebrisFlow

## 3.5 Procedimientos de Recolección de datos

### 3.5.1 Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó para la recolección de datos

#### 3.5.1.1 Proceso de fotogrametría

##### a) Equipos utilizados en la prueba

- GPS diferencial Trimble R7 Geodésico
- Ipad 2 Mini
- V.A.N.T Phantom 4 Pro
- Ordenador Alienware

##### b) Procedimiento

Para que sea viable el uso de la fotogrametría para fines topográficos, primero debe tomarse en cuenta, la extensión, y accesibilidad a la zona de estudio, por lo tanto, el primer paso a considerar es identificar el área de estudio, que posea características que la hagan vulnerable a generar flujo de detritos. En éste caso, se realizó una primera investigación de las zonas vulnerables de la ciudad de Cusco frente a fenómenos naturales, entre las que se identificaron numerosas zonas que son

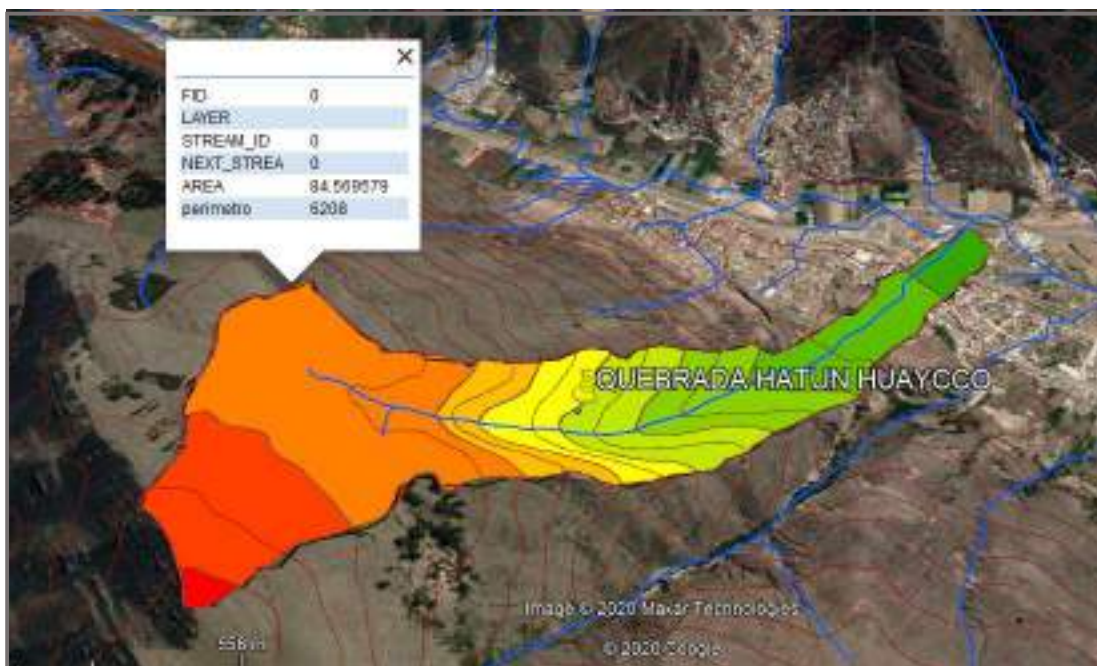




representativas, sin embargo, también se debe considerar la accesibilidad a la zona, y la relevancia social que presenta. Dándonos como una importante zona a evaluar, la quebrada Hatun Huayco, que tiene antecedentes históricos de haberse activado y es considerada por la Municipalidad Provincial de Cusco, como una Zona de peligro alto. (Plan de Desarrollo Urbano Cusco al 2023, pág. 143)

Una vez identificada la zona, debemos evaluar si es posible hacer uso de vehículos aéreos no tripulados, sobre todo, si el área es lo suficientemente grande para hacer uso de un instrumento que permite tener rendimiento alto con una precisión adecuada. En nuestro caso, el área aproximada es de 84.57 hectáreas, lo cual hace que sea necesario el uso del V.A.N.T.

Figura 48 Vista Quebrada Hatun Huayco en Google Earth



Fuente: Google Earth

Posteriormente, se recomienda delimitar la cuenca con mayor precisión, a través de imágenes satelitales en forma de DEM, otorgadas por Alos Palsar, cuya resolución es de 12.5m. Esto se puede realizar ingresando a la página web [www.searchasf.alaska.edu.com](http://www.searchasf.alaska.edu.com) donde, introduciendo las coordenadas del lugar de estudio, ofrece la descarga gratuita del DEM.



Figura 49 Página Web Alos Palsar - Geospacial



Fuente: Página Web Alos Palsar

Para delimitar la cuenca, y tener conocimiento del área a volar, se hizo uso del programa Global Mapper V 15.0, el cual es un programa SIG que funciona solo bajo la plataforma de Windows, y tiene compatibilidad con casi todos los softwares SIG que existen en el mercado, su procedimiento de uso es mucho más simple, pero esto limita la toma de decisiones al momento de realizar la delimitación de las cuencas.

### Importación del DEM

El programa Global Mapper en su versión 15 puede importar directamente los modelos SRTM y ASTER, con una conexión a internet.

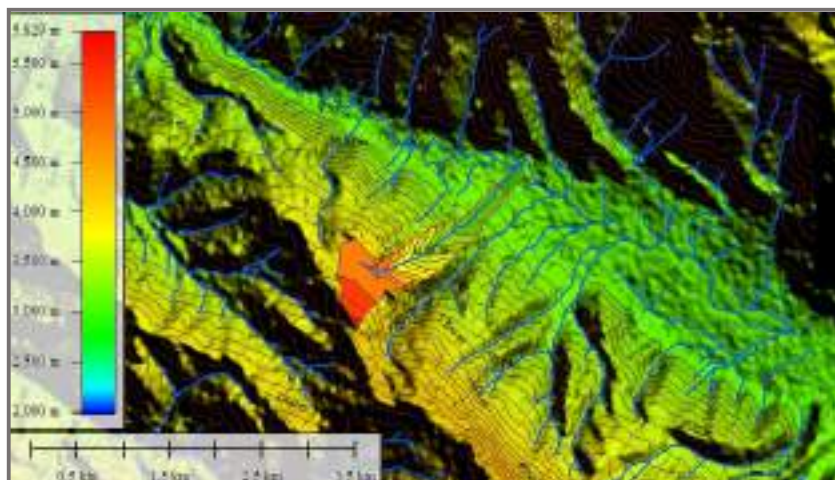
Figura 50 Selección del modelo de elevación



Fuente: Captura del Proceso en Global Mapper



Figura 51 DEM importado



Fuente: Captura del Proceso en Global Mapper

a. **Delimitación de la cuenca:** El programa utiliza un solo menú de opciones el cual se abre utilizando la herramienta: Analysis > Generate Watershed

Figura 52 Opciones de generación de la cuenca



Fuente: Captura del Proceso en Global Mapper

Utilizamos las opciones:

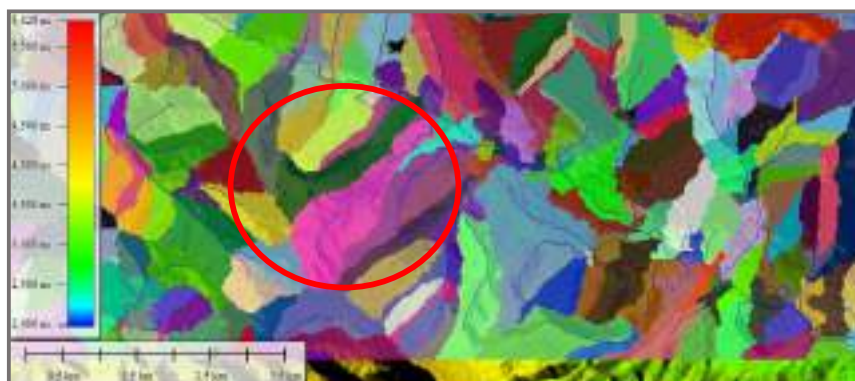
- **Description:** El nombre con el que se generara el análisis.
- **Stream Cell Count:** Es el umbral de Acumulación, dependiendo del modelo de elevación utilizado y de acuerdo al criterio que vinimos utilizando en los casos anteriores.



- **Create Watershed Areas showing Drainage to Streams:** Para generar una capa adicional del escurrimiento del drenaje de las unidades.
- **Interpolate to Fill Small Gaps in Data:** Para rellenar espacios que puedan estar presentes en la Data.
- **Smooth Streams to Improve appearance:** Para suavizar las líneas del escurrimiento.
- **ADVANCED: Show Flow Accumulation as Grid:** Para generar un nuevo ráster mostrando la acumulación de flujo.
- **Depression Fill Depth:** Nos podrá permitir seleccionar la profundidad máxima del relleno del DEM, en todos los casos encontramos un valor de 75m, caso contrario, nos muestra áreas vacías al momento de generar las cuencas.

Damos en OK y generó las cuencas en un solo paso.

*Figura 53 Cuenca generada*



*Fuente: Captura del Proceso en Global Mapper*

Una vez, delimitada la zona a sobrevolar, elaboramos un plan de vuelo que consistía en volar el Phantom 4 Pro, en tres días diferentes, dada la diferencia grande de altura, se vio por conveniente primero volar la parte más alta de la zona, luego la parte media y finalmente, la parte baja.



Tabla 14 Programación de levantamiento fotogramétrico

INTERVENCION	FECHAS	ACTIVIDAD
PRIMERA	31/08/2019	Levantamiento de la zona poblada aledaña a la quebrada Hatun Huayco. Colocación de puntos de control.
SEGUNDA	07/09/2019	Levantamiento de la parte alta de la quebrada Hatun Huayco. Colocación de puntos de control.
TERCERA	21/09/2019	Levantamiento de la parte media de la quebrada Hatun Huayco.
NÚMERO DE IMÁGENES	1226 fotografías.	
ÁREA LEVANTADA	284.57 ha	

Fuente: Elaboración propia

### c) Toma de datos

En cada sesión, se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Inspección visual
- ✓ Instalación de GPS Diferencial
- ✓ Colocación de puntos de control
- ✓ Vuelo fotogramétrico

#### i. Primer Día

##### Inspección visual

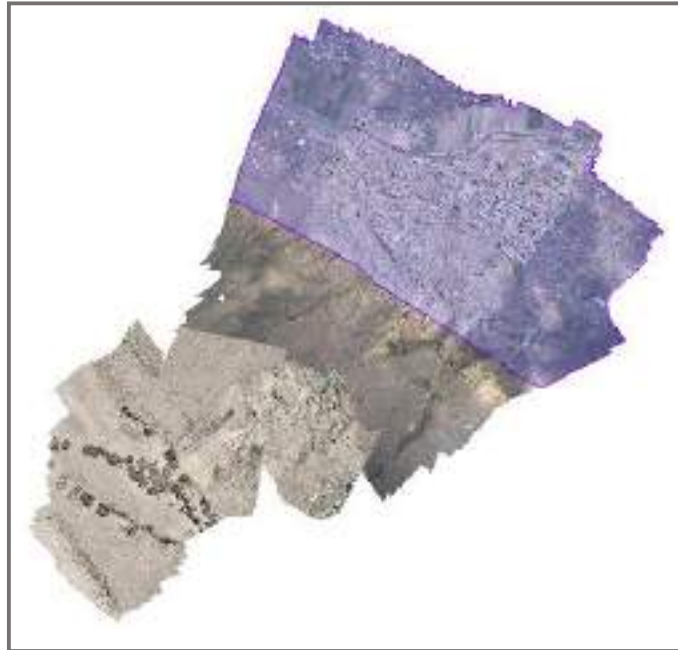
Como se explica en el cronograma de vuelo, el primer día se procedió a realizar el levantamiento en toda la parte inferior de la quebrada, esto por facilidades de accesibilidad a la zona.

Así mismo, se realizó un plan para poner los puntos de control necesarios, en el primer día se colocaron 5 puntos de control.





Figura 54 Vista del área de levantamiento



Fuente: Captura del Proceso en Arc Gis

### Instalación de GPS Diferencial

Una vez determinados los puntos de control que queremos, procederemos al posicionamiento diferencial de base, cuya precisión oscila entre 0.5mm – 0.1m, que se detalla a continuación:

- Colocamos la basada en el trípode y llevamos a cabo el estacionamiento tradicional.
- Seguidamente, pusimos la antena del GPS.
- Después de estacionar y colocar la antena, encendimos esta última y así mismo, su libreta electrónica.
- Una vez en este punto, configuramos la libreta electrónica Trimble R8.

Figura 55 Proceso de instalación del GPS Diferencial



Fuente: Propia



- e. Tras la configuración inicial de la libreta electrónica se continuó con la medida de los puntos.

*Figura 56 Proceso de instalación del GPS Diferencial*

Al ser un levantamiento cinemático, el receptor, debe estar atento a que tanto la base, como el móvil estén conectados a los mismos satélites (mínimo 4).



*Fuente: Propia*

### **Colocación de puntos de control**

Colocamos los puntos de control, bajo los siguientes criterios propuestos por (González Alcaraz & Torres Picazo):

1. Que sean representativos y que relacionen los distintos espacios de la quebrada.
2. Sean perdurables en el tiempo: Se ha tenido en cuenta el estado del pavimento, prefiriendo zonas recién reformadas para impedir que posibles obras futuras puedan hacerlos desaparecer.
3. Estén lo suficientemente alejados de edificios, árboles y todo tipo de obstáculos que nos hicieran imposible la medición con GPS, ya que necesita una amplia visión del cielo para captar el mayor número de satélites posible. Como mínimo se debe recibir la señal de cuatro satélites.





*Figura 57 Primer punto de control*



*Fuente: Propia*

*Figura 58 Segundo punto de control*



*Fuente: Propia*

*Figura 60 Tercer punto de control*



*Fuente: Propia*

*Figura 59 Cuarto punto de control*



*Fuente: Propia*

*Figura 61 Quinto punto de control*



*Fuente: Propia*



### Vuelo del Vehículo Aéreo No Tripulado V.A.N.T.

Si bien la fotogrametría nos permite realizar el levantamiento de zonas con poca accesibilidad, y además tiene un rendimiento el cual ofrece un tiempo de vuelo máximo de 30 minutos y un rango de control de 7 km, lo cual nos permitió alcanzar grandes espacios, se debe tener cuidado con las limitaciones que conlleva tener un equipo de ésta índole, por ejemplo, antes de iniciar el vuelo, se debe verificar que en campo se cuente con tres baterías, así como que ninguna de las piezas se encuentre en mal estado, y que el software que se utilice, esté emparejado con nuestro vehículo aéreo. Sin embargo, uno de los factores más importantes será verificar las condiciones climáticas de la zona a sobrevolar, y no solo nos referimos a las precipitaciones, también los vientos, como la radiación muy alta, puede hacer que el dron sea arrastrado a zonas desconocidas, lejos de la vista de la persona que lo maneja.

Para tal fin, en cada salida, se debía de corroborar los factores climáticos de todo día, ver la incidencia del viento en la zona, y cuantificar el grado de radiación, para no poner en peligro el equipo. La aplicación UAV FORECAST PARAA DJI QUADCOPTER Y UAV PILOTOS, disponible en equipos Android, nos muestra, si dichas condiciones son buenas o malas para el equipo.

Figura 62 Aplicación UAV Forecast



Fuente: Captura del proceso



Con todos los resultados dentro de los rangos permitidos, se llevó a cabo el primer levantamiento fotogramétrico, el cual, se realizó con el V.A.N.T. DJI Phantom 4 Pro, que nos permitió obtener resultados detallados y precisos. Para poder monitorear el vehículo aéreo, se hizo uso de un IPAD 2 MINI, que cuenta con la aplicación MAP PILOT.

Figura 63 Map Pilot



Fuente: Captura del proceso

En la configuración de ésta aplicación, es posible detallar la altura de vuelo, la superposición y además nos permite que el vehículo aéreo siga la topografía del terreno a la misma altura, con la opción FOLLOW TERRAIN.

Una vez en la aplicación, procedemos a editar los parámetros deseados, en éste caso serán:

- Altura de vuelo: 120m
- Overlap: 70%

Figura 64 Proceso Map Pilot



Fuente: Captura del proceso



Una vez seleccionado el polígono que vendría a ser la zona a sobrevolar, se elige el punto de partida del vehículo aéreo, además de la orientación del vuelo, la cual es en función de ahorro de la batería (evitar pendientes pronunciadas frecuentes), y de la vista del operario (el vehículo aéreo debe ser siempre visible).

*Figura 65 Proceso del sentido de vuelo*



*Fuente: Captura del proceso*

Se realizaron en total 2 vuelos, cada uno de 15 min aproximadamente, que abarcaron en total 119.3ha.

*Figura 66 Instalación del vehículo aéreo*



*Fuente: Captura del proceso*

*Figura 67 Vuelo de vehículo*



*Fuente: Captura del proceso*

En el primer levantamiento, se obtuvieron 411 fotos aéreas.



## ii. Segundo Día

### Inspección visual

El segundo día se procedió a realizar el levantamiento en toda la parte superior de la quebrada, lo cual involucró el alquiler de una camioneta para poder acercarnos más a la zona, después se tuvo una caminata de media hora aproximadamente, finalmente en la zona, pudimos colocar los puntos de control en la misma. Así mismo, se realizó un plan para poner los puntos de control necesarios, en el segundo día se colocaron 4 puntos de control.

*Figura 68 Vista del levantamiento*



*Fuente: Captura de Google Earth*

### Instalación de GPS Diferencial

Al igual que en el primer levantamiento, gracias a una inspección visual, planeamos cuáles serían los puntos de control, una vez determinados, procedimos al posicionamiento diferencial de base, cuya precisión oscila entre 0.5mm – 0.1m, que se detalla a continuación:

- a. Colocamos la basada en el trípode y llevamos a cabo el estacionamiento tradicional.
- b. A continuación, pusimos la antena del GPS.

*Figura 69 Instalación de GPS Diferencial*



*Fuente: Propia*





- c. Después de estacionar y colocar la antena, encendimos esta última y su libreta electrónica.
- d. Una vez en este punto, configuramos la libreta electrónica Trimble R8.
- e. Tras la configuración inicial de la libreta electrónica se continuó con la medida de los puntos.

*Figura 70 Equipo GPS Diferencial instalado*



*Fuente: Propia*

### **Colocación de puntos de control**

Al igual que, en el primer levantamiento, se colocaron los puntos de control, bajo los siguientes criterios:

*Figura 71 Colocación de puntos de control*

1. Que sean representativos y que relacionen los distintos espacios de la quebrada.
2. Sean perdurables en el tiempo.
3. Estar lo suficientemente alejados de edificios, árboles y todo tipo de obstáculos que nos hicieran imposible la medición con GPS.

Como mínimo se debe recibir la señal de cuatro satélites.

(González Alcaraz & Torres Picazo)



*Fuente: Propia*



*Figura 73 Primer punto de control*



*Fuente: Propia*

*Figura 72 Segundo punto de control*



*Fuente: Propia*

*Figura 74 Tercer punto de control*



*Fuente: Propia*



### Vuelo del Vehículo Aéreo No Tripulado V.A.N.T.

Al igual que en el primer levantamiento, corroboramos los factores climáticos de todo día, vimos la incidencia del viento en la zona, y cuantificamos el grado de radiación, para no poner en peligro el equipo. La aplicación UAV FORECAST PARA DJI QUADCOPTER Y UAV PILOTOS, disponible en equipos Android, nos muestra, si dichas condiciones son buenas o malas para el equipo.

Figura 75 Aplicación UAV Forecast



Fuente: Captura de datos meteorológicos

Con todos los resultados dentro de los rangos permitidos, se llevó a cabo el segundo levantamiento fotogramétrico, el cual, se realizó con el V.A.N.T. DJI Phantom 4 Pro, que nos permitió obtener resultados detallados y precisos. Para poder monitorear el vehículo aéreo, se hizo uso de un IPAD 2 MINI, que cuenta con la aplicación MAP PILOT.

La configuración de ésta aplicación se realizó al igual que el primer levantamiento,0 es posible detallar la altura de vuelo, la superposición; y además nos permite que el vehículo aéreo siga la topografía del terreno a la misma altura, con la opción FOLLOW TERRAIN.

Una vez en la aplicación, procedemos a editar los parámetros deseados, en éste caso serán:

- Altura de vuelo: 120m
- Overlap: 70%



Figura 76 Selección del punto de partida y orientación del vuelo



Fuente: Captura de datos de la aplicación.

Una vez seleccionado el polígono que vendría a ser la zona a sobrevolar, se elige el punto de partida del vehículo aéreo, además de la orientación del vuelo, la cual es en función de ahorro de la batería (evitar pendientes pronunciadas frecuentes), y de la vista del operario (el vehículo aéreo debe ser siempre visible)

Se realizaron en total 3 vuelos, cada uno de 15 min aproximadamente, que abarcaron en total 92.481ha.

Figura 77 Montaje del vehículo aéreo



Fuente: Propia

Figura 78 Aterrizaje del vehículo aéreo



Fuente: Propia

En el segundo levantamiento, se obtuvieron 646 fotos aéreas.



iii. Tercer Día

**Inspección visual**

En el tercer día, se procedió a realizar el levantamiento en toda la parte media de la quebrada. Los puntos de control usados para georeferenciar, fueron los colocados en el primer y segundo levantamiento.

*Figura 79 Levantamiento en Google Earth*



*Fuente: Google Earth*

*Figura 80 Vista de la quebrada*



*Fuente: Propia*

### Vuelo del Vehículo Aéreo No Tripulado V.A.N.T.

Como en los anteriores levantamientos, se corroboró los factores climáticos de todo día, la incidencia del viento en la zona, y cuantificó el grado de radiación, para no poner en peligro el equipo, con la aplicación UAV FORECAST PARA DJI QUADCOPTER Y UAV PILOTOS, disponible en equipos Android.

Figura 81 Aplicación UAV Forecast



Fuente: Captura de proceso en la aplicación

Con todos los resultados dentro de los rangos permitidos, se llevó a cabo el tercer levantamiento fotogramétrico, el cual, se realizó con el V.A.N.T. DJI Phantom 4 Pro, que nos permitió obtener resultados detallados y precisos. Para poder monitorear el vehículo aéreo, se hizo uso de un IPAD 2 MINI, que cuenta con la aplicación MAP PILOT.



Se realizaron en total 3 vuelos, cada uno de 12min aproximadamente, que abarcaron en total 72.789ha.

*Figura 83 Montaje del vehículo aéreo*



*Fuente: Propia*

*Figura 82 Fotografía del vuelo*



*Fuente: Propia*

*Figura 84 Pilotaje del vehículo aéreo*



*Fuente: Propia*

*Figura 85 Aterrizaje del vehículo aéreo*



*Fuente: Propia*

En el tercer levantamiento, se obtuvieron 169 fotografías aéreas.





### 3.5.1.2 Muestreo de Suelo

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- Barreno manual de 5 cm de diámetro
- Bolsas para guardar muestras
- Cinta métrica de 30 m

#### b) Procedimiento

El muestreo de suelo se realizó siguiendo el Manual de Mecánica de Suelos, basado en las normas AASHTO T86-70 y ASTM D420-69. (Bowles, 1981) Para tener una muestra representativa a lo largo de toda la quebrada, se realizaron 3 calicatas, cantidad limitada, por la Oficina de Prevención de Riesgos, de la Municipalidad Distrital de Saylla.

- Se debe perforar con un barreno un agujero de por lo menos 6 m de profundidad.
- Tomar muestras para contenido de humedad
- Colocar las muestras de contenido de humedad inmediatamente después de obtenerla, de forma que se minimice la pérdida de humedad.
- Estas bolsas deberán llevarse al laboratorio, identificarse mediante un rótulo y almacenarse para una posterior práctica de suelos

#### Calicata Número 01:

Se realizó en la zona baja y aldeaña de la quebrada, terminando la zona conocida como Ferroviarios.

*Figura 87 Realización de la calicata 01*



*Fuente: Propia*

*Figura 86 Vista de la quebrada desde la parte inferior*



*Fuente: Propia*



Figura 88 Muestra 01



Fuente: Propia

### Calicata Número 02:

Se realizó en la zona media y aledaña de la quebrada.

Figura 90 Realización de la calicata 02



Fuente: Propia

Figura 89 Vista de la calicata 02



Fuente: Propia

Figura 91 Muestra 02



Fuente: Propia



### Calicata Número 03:

Se realizó en la zona alta y aledaña de la quebrada. Ésta calicata fue la que proporcionó los datos para el modelamiento del huayco, por encontrarse en la parte superior de la quebrada, y tener grietas, que la hacen susceptible a iniciar un fenómeno de tal índole.

Figura 93 Realización de la calicata 03



Fuente: Propia

Figura 92 Vista de la quebrada, desde la parte superior



Fuente: Propia

### 3.5.1.3 Recolección de datos hidrológicos

Para recolectar los datos hidrológicos, se hizo uso de la información pública del SENAMHI, la cual se puede adquirir de forma gratuita en su página web.

Tabla 15 Datos de precipitación total (mm) Estación Kayra

<b>Estación:</b>	Kayra	<b>Latitud Sur:</b>	13°33'27.8"S	<b>Dpto.</b>	Cusco
<b>Departamento:</b>	Cusco	<b>Longitud Oeste:</b>	71°52'25.1"	<b>Prov.</b>	Cusco
<b>Provincia:</b>	Cusco			<b>Dist.</b>	San Jerónimo

#### DATOS DE : PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964	13.0	92.5	101.6	25.8	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	0.0	65.6	342.4
1965	101.8	100.5	112.4	88.0	5.8	0.0	0.4	0.0	29.6	58.3	42.5	153.0	692.3
1966	78.3	171.2	79.9	18.3	19.8	0.0	0.0	1.7	31.9	59.7	65.2	71.4	597.4
1967	59.1	118.4	140.3	19.0	1.8	0.6	11.0	19.8	32.8	70.9	57.1	124.9	655.7
1968	149.4	103.2	84.5	34.6	6.3	5.3	30.9	8.6	16.2	84.6	86.4	54.6	664.6
1969	144.2	77.8	86.6	15.3	3.2	2.6	7.2	3.9	22.8	27.1	54.7	72.7	518.1
1970	169.3	92.6	129.7	86.1	2.3	1.1	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4	802.0
1971	128.9	161.6	83.6	40.0	1.5	0.1	0.0	5.7	3.5	55.7	51.0	127.5	659.1
1972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0.0	6.5	27.3	12.2	7.9	50.2	100.2	553.5
1973	221.3	120.9	99.6	75.2	14.0	0.0	9.1	11.8	14.5	65.1	88.8	96.5	816.8
1974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1.0	34.6	5.9	43.3	60.9	108.0	681.7



<b>1975</b>	124.7	131.0	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	51.1	47.5	51.0	170.1	<b>721.6</b>
<b>1976</b>	119.6	83.1	123.1	42.9	13.0	8.7	0.7	2.5	26.8	25.3	47.8	66.8	<b>560.3</b>
<b>1977</b>	116.7	122.8	69.3	47.6	7.9	0.0	4.4	0.0	29.9	65.0	71.5	78.0	<b>613.1</b>
<b>1978</b>	175.4	106.1	88.5	48.7	11.4	0.0	3.4	0.0	13.7	12.3	86.7	117.9	<b>664.1</b>
<b>1979</b>	101.1	131.6	108.8	46.8	6.2	0.0	0.9	8.1	11.5	18.4	85.6	81.8	<b>600.8</b>
<b>1980</b>	106.2	126.4	135.0	23.2	3.7	0.0	5.3	1.0	12.6	62.9	60.2	83.1	<b>619.6</b>
<b>1981</b>	225.4	80.8	124.4	56.9	1.8	3.9	0.0	9.8	45.9	108.9	120.8	144.3	<b>922.9</b>
<b>1982</b>	178.9	115.5	143.1	58.8	0.0	9.2	3.4	4.9	14.0	37.9	122.5	98.6	<b>786.8</b>
<b>1983</b>	128.4	84.0	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26.0	44.3	100.2	<b>483.7</b>
<b>1984</b>	198.6	142.4	71.0	82.8	0.0	2.0	1.3	11.4	4.2	114.6	69.4	102.8	<b>800.5</b>
<b>1985</b>	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0.0	43.3	62.1	116.5	122.4	<b>728.3</b>
<b>1986</b>	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0.0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7	<b>569.1</b>
<b>1987</b>	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0.0	8.2	26.5	101.8	107.6	<b>630.6</b>
<b>1988</b>	163.8	84.3	166.5	108.9	4.6	0.0	0.0	0.0	9.9	36.2	47.6	103.7	<b>725.5</b>
<b>1989</b>	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0.0	6.1	30.7	15.7	60.7	88.5	<b>653.3</b>
<b>1990</b>	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0.0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5	<b>641.1</b>
<b>1991</b>	97.6	163.6	105.2	45.1	11.0	5.1	1.5	0.0	21.4	49.3	83.6	99.0	<b>682.4</b>
<b>1992</b>	114.1	102.4	104.0	14.9	0.0	19.4	0.0	21.4	8.0	50.7	117.4	57.0	<b>609.3</b>
<b>1993</b>	206.7	110.5	75.8	18.8	0.9	0.0	2.7	6.9	18.0	46.2	111.9	201.5	<b>799.9</b>
<b>1994</b>	177.0	163.9	173.9	45.5	11.8	0.0	0.0	0.0	25.7	40.2	40.5	119.9	<b>798.4</b>
<b>1995</b>	122.0	94.8	95.3	17.8	0.0	0.0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6	<b>560.0</b>
<b>1996</b>	131.9	98.0	70.5	32.3	11.0	0.0	0.0	6.3	19.6	0.0	0.0	0.0	<b>369.6</b>
<b>1997</b>	123.3	127.7	104.8	31.0	4.8	0.0	0.0	7.1	12.3	44.4	201.5	148.4	<b>805.3</b>
<b>1998</b>	116.3	156.2	22.6	31.0	1.6	1.9	0.0	1.6	4.3	49.8	34.6	58.9	<b>478.8</b>
<b>1999</b>	89.3	92.2	92.0	42.8	1.3	3.4	1.0	0.0	43.1	18.8	39.7	119.5	<b>543.1</b>
<b>2000</b>	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	49.3	29.3	82.0	<b>652.0</b>
<b>2001</b>	233.0	173.1	137.4	36.4	11.5	0.0	17.4	10.2	20.6	38.3	96.8	89.4	<b>864.1</b>
<b>2002</b>	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.7	10.3	78.7	97.8	132.4	<b>822.1</b>
<b>2003</b>	163.9	135.5	142.9	56.5	2.0	6.4	0.0	21.3	3.7	34.6	23.1	123.8	<b>713.7</b>
<b>2004</b>	173.7	125.8	66.5	21.0	2.4	20.5	17.0	9.0	21.7	25.6	60.9	87.9	<b>632.0</b>
<b>2005</b>	140.8	0.0	120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4.0	4.5	39.1	59.3	102.5	<b>508.3</b>
<b>2006</b>	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0.0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2	<b>856.3</b>
<b>2007</b>	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0.0	4.0	0.0	1.0	49.4	74.0	88.4	<b>623.0</b>
<b>2008</b>	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0.0	3.9	13.9	51.7	90.2	131.9	<b>592.4</b>
<b>2009</b>	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0.0	3.3	0.7	15.1	8.3	88.7	82.9	<b>525.5</b>
<b>2010</b>	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0.0	1.4	4.7	8.2	63.5	40.0	174.1	<b>876.0</b>
<b>2011</b>	103.4	179.3	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0.0	38.9	38.2	60.2	110.2	<b>740.5</b>
<b>2012</b>	70.5	167.7	41.7	48.1	4.5	1.2	0.0	0.1	18.4	19.5	138.2	179.5	<b>689.4</b>
<b>2013</b>	189.6	137.2	75.5	15.1	25.3	6.1	2.0	12.4	6.3	105.0	86.0	159.4	<b>819.9</b>
<b>2014</b>	161.9	116.5	40.0	35.0	10.1	0.0	3.2	5.8	5.6	0.0	29.6	156.0	<b>563.7</b>
<b>2015</b>	169.8	146.5	66.7	69.8	18.6	3.9	10.3	4.6	16.1	19.1	48.6	113.0	<b>687.0</b>



<b>2016</b>	104.0	153.1	54.3	24.4	3.0	0.0	4.5	0.5	7.0	79.5	28.0	89.8	<b>548.1</b>
<b>2017</b>	111.2	86.9	122.8	47.5	11.2	5.9	0.0	8.4	19.0	33.7	61.4	101.7	<b>609.7</b>
<b>2018</b>	154.8	162.5	146.3	20.3	0.2	16.0	11.6	7.1	9.1	84.8	80.8	0.0	<b>693.4</b>
<b>SUM A</b>	<b>7858.2</b>	<b>6603.4</b>	<b>5412.8</b>	<b>2244.0</b>	<b>359.8</b>	<b>211.1</b>	<b>217.1</b>	<b>328.0</b>	<b>958.4</b>	<b>2522.4</b>	<b>3808.0</b>	<b>5845.7</b>	<b>36368.8</b>
<b>MEDIA</b>	<b>142.9</b>	<b>120.1</b>	<b>98.4</b>	<b>40.8</b>	<b>6.5</b>	<b>3.8</b>	<b>3.9</b>	<b>6.0</b>	<b>17.4</b>	<b>45.9</b>	<b>69.2</b>	<b>106.3</b>	<b>661.3</b>

Tabla 16 Precipitación máxima en 24hrs (mm) Estación Kayra

DATOS DE: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964	7.8	<b>23.0</b>	11.0	10.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	16.3	<b>23.0</b>
1965	16.3	21.6	19.9	<b>31.4</b>	5.1	0.0	0.2	0.0	12.3	8.1	8.5	24.8	<b>31.4</b>
1966	20.1	<b>38.0</b>	19.0	8.4	10.6	0.0	0.0	1.0	9.4	9.9	11.2	11.8	<b>38.0</b>
1967	17.3	<b>42.1</b>	15.6	8.2	0.6	0.6	7.2	9.0	10.5	17.4	12.9	13.9	<b>42.1</b>
1968	<b>24.6</b>	18.5	21.6	9.1	2.0	5.3	20.9	2.7	5.0	15.2	17.9	8.7	<b>24.6</b>
1969	<b>25.1</b>	23.1	17.0	9.0	2.0	1.8	7.2	3.3	8.8	17.9	17.5	12.9	<b>25.1</b>
1970	<b>44.8</b>	17.9	17.9	13.6	0.8	0.9	1.7	1.3	19.3	10.7	10.7	32.0	<b>44.8</b>
1971	27.3	23.3	14.7	10.0	0.8	0.1	0.0	1.9	3.0	13.2	9.0	<b>36.1</b>	<b>36.1</b>
1972	<b>36.6</b>	29.0	10.5	7.0	2.0	0.0	4.6	7.1	6.7	2.2	8.2	19.2	<b>36.6</b>
1973	<b>28.4</b>	24.2	18.6	24.0	4.5	0.0	5.9	7.2	3.2	12.8	15.5	15.2	<b>28.4</b>
1974	12.6	17.6	20.2	11.2	3.4	5.3	1.0	9.4	4.6	<b>22.8</b>	12.3	22.0	<b>22.8</b>
1975	24.6	15.4	18.1	15.9	6.0	0.4	0.3	0.4	<b>25.0</b>	13.0	14.4	16.9	<b>25.0</b>
1976	13.4	15.8	<b>20.0</b>	12.7	5.9	5.2	0.5	1.0	7.6	16.2	12.8	18.8	<b>20.0</b>
1977	<b>33.9</b>	20.3	22.0	16.0	7.1	0.0	2.2	0.0	10.7	19.1	16.5	18.3	<b>33.9</b>
1978	<b>27.2</b>	16.4	21.1	20.2	7.1	0.0	3.4	0.0	6.0	7.4	21.4	19.3	<b>27.2</b>
1979	20.0	<b>39.0</b>	12.8	15.1	3.9	0.0	0.9	4.3	10.5	8.2	17.1	12.7	<b>39.0</b>
1980	23.9	<b>38.2</b>	27.1	10.4	3.7	0.0	5.1	0.4	4.8	11.0	9.6	19.5	<b>38.2</b>
1981	28.6	10.4	15.8	22.4	1.8	3.9	0.0	4.0	7.6	<b>40.2</b>	25.2	19.1	<b>40.2</b>
1982	27.4	16.0	<b>29.6</b>	17.1	0.0	5.0	3.4	1.4	3.2	13.4	21.4	18.0	<b>29.6</b>
1983	17.4	<b>21.4</b>	13.1	7.5	2.8	2.6	0.5	0.5	4.4	8.2	10.5	20.7	<b>21.4</b>
1984	<b>36.5</b>	19.4	14.3	25.9	0.0	0.9	1.0	7.0	2.1	18.6	9.6	31.4	<b>36.5</b>
1985	18.1	<b>31.2</b>	24.6	5.0	6.2	4.8	0.9	0.0	13.0	13.1	13.6	20.1	<b>31.2</b>
1986	12.5	26.2	14.5	20.8	2.8	0.0	1.8	2.6	3.4	8.0	18.0	<b>27.5</b>	<b>27.5</b>
1987	<b>42.1</b>	11.2	19.9	4.4	1.0	0.8	4.6	0.0	4.1	4.9	18.0	20.4	<b>42.1</b>
1988	28.4	14.3	<b>35.2</b>	23.8	1.8	0.0	0.0	0.0	7.7	20.2	18.4	25.2	<b>35.2</b>
1989	21.2	<b>41.9</b>	15.5	16.3	3.6	6.1	0.0	3.8	16.0	11.5	14.0	24.1	<b>41.9</b>
1990	<b>26.5</b>	20.3	11.3	8.9	3.6	9.3	0.0	3.6	5.3	14.0	14.5	19.5	<b>26.5</b>
1991	25.5	<b>37.6</b>	37.1	14.2	4.8	2.7	1.5	0.0	12.8	13.4	17.5	25.2	<b>37.6</b>
1992	13.9	18.8	21.2	6.8	0.0	19.1	0.0	14.0	5.2	16.2	<b>22.6</b>	15.4	<b>22.6</b>
1993	<b>48.5</b>	17.4	24.2	2.9	0.9	0.0	1.5	5.3	6.9	14.6	15.6	44.1	<b>48.5</b>
1994	<b>39.6</b>	30.0	20.4	12.3	8.6	0.0	0.0	0.0	10.5	17.4	7.1	28.3	<b>39.6</b>
1995	23.2	18.5	14.3	6.8	0.0	0.0	0.4	1.2	19.8	8.3	<b>34.6</b>	20.7	<b>34.6</b>
1996	24.6	17.3	<b>31.3</b>	7.4	6.0	0.0	0.0	3.0	8.3	0.0	0.0	0.0	<b>31.3</b>
1997	20.1	18.2	24.9	9.5	4.1	0.0	0.0	3.5	5.1	12.9	<b>47.0</b>	30.0	<b>47.0</b>
1998	<b>35.9</b>	23.1	4.9	11.7	1.0	1.9	0.0	1.5	3.3	11.1	18.9	14.1	<b>35.9</b>



1999	12.7	14.9	17.0	13.6	1.3	3.2	1.0	0.0	10.9	7.2	19.3	16.4	19.3
2000	25.5	24.9	22.6	5.7	0.8	4.5	1.5	2.4	4.9	9.5	17.3	11.4	25.5
2001	15.6	31.0	21.4	10.6	4.3	0.0	9.9	3.6	5.4	15.9	23.1	11.6	31.0
2002	21.2	25.1	13.5	8.1	5.7	1.0	6.9	2.4	2.6	15.2	26.7	23.5	26.7
2003	24.6	24.0	18.0	39.1	1.0	6.4	0.0	10.8	1.7	10.2	7.0	23.4	39.1
2004	24.5	30.8	12.6	6.4	1.4	12.6	8.0	4.9	7.3	14.7	11.0	25.2	30.8
2005	23.0	0.0	27.8	23.2	2.0	0.4	1.2	2.2	2.1	13.6	11.7	17.2	27.8
2006	37.3	51.6	26.4	30.2	0.2	4.0	0.0	5.4	4.1	15.0	12.6	15.3	51.6
2007	26.7	13.7	19.7	32.9	3.4	0.0	3.0	0.0	1.0	14.9	18.9	16.9	32.9
2008	25.6	27.9	11.2	5.6	2.8	1.0	0.0	2.0	8.3	11.2	24.5	16.4	27.9
2009	27.8	17.8	23.6	5.9	2.5	0.0	1.8	0.4	7.6	2.2	24.1	11.9	27.8
2010	41.2	25.7	25.7	5.1	1.3	0.0	1.4	2.6	3.0	18.6	10.9	35.9	41.2
2011	22.6	22.0	25.0	15.6	1.7	3.2	3.0	0.0	9.6	18.9	29.8	14.6	29.8
2012	14.8	47.0	8.1	28.4	3.4	1.2	0.0	0.1	10.3	9.2	30.7	24.3	47.0
2013	23.2	21.1	18.7	4.5	14.6	3.0	1.0	6.2	2.7	17.9	13.7	27.2	27.2
2014	31.1	21.9	8.8	16.9	4.4	0.0	1.4	3.0	4.7	0.0	15.8	35.6	35.6
2015	38.3	23.6	9.7	12.5	8.0	2.3	5.5	3.0	6.2	6.3	16.5	23.1	38.3
2016	19.1	24.2	9.0	5.4	3.0	0.0	4.5	0.5	2.9	22.7	12.8	14.5	24.2
2017	24.6	21.8	24.9	9.8	5.9	5.8	0.0	7.0	12.7	7.1	14.8	12.9	24.9
2018	20.1	27.7	33.9	12.5	0.2	11.6	5.1	3.3	4.5	20.0	13.6	0.0	33.9
MAX	48.5	51.6	37.1	39.1	14.6	19.1	20.9	14.0	25.0	40.2	47.0	44.1	51.6

Fuente: SENAMHI

### 3.5.1.4 Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

#### 3.5.1.4.1 Granulometría

##### a) Equipo utilizado en la prueba

- Juego de tamices
- Brocha
- Tamizador mecánico
- Bandeja
- Balanza digital

##### b) Procedimiento

El procedimiento para ésta prueba de laboratorio, se siguió el Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981) que dicta lo siguiente:

1. Se debe obtener exactamente 500 g de suelo secado al horno tomado de una bolsa de muestra obtenida en el terreno en desarrollo. Es necesario asegurarse de que la muestra sea representativa para lo cual es posible utilizar un cuarteador mecánico teniendo simplemente el cuidado de tomar la muestra de diferentes sitios dentro del recipiente. Si la muestra debe



lavarse no es necesario pulverizar el suelo; sin embargo, el proceso se agiliza considerablemente si con anterioridad se pulveriza el suelo seco y se hace pasar a través de un tamiz No. 200.

*Figura 94 Cuarteo de la muestra de suelo*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*

2. Colocar la muestra sobre el tamiz No. 200 y lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta cuando el agua que pasa a través del tamiz mantenga su transparencia.
3. Verter cuidadosamente el residuo, botar tanto como se pueda de esta agua transparente, y colocar el recipiente con la suspensión suelo y agua en el horno para secado.

*Figura 96 Muestra tomada para el ensayo de granulometría*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*

*Figura 95 Lavado de suelo Malla 200*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*



4. Al día siguiente, regresar al laboratorio y pesar el residuo secado al horno. A continuación, hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices que varíen desde los diámetros mayores arriba hasta los diámetros inferiores abajo.

Figura 97 Materiales para la ejecución del ensayo de granulometría



Fuente: Fotografía tomada en laboratorio

Para suelos arenosos con granos finos, se recomiendan dos series de tamices (en orden de arriba hacia abajo) como siguen:

Tabla 17 Serie de tamices

SERIE TÍPICA DE TAMICES		SERIE ALTERNATIVA DE TAMICES	
	Abertura	Tamiz Nro.	Abertura
Tapa		Tapa	
4	4.75	4	
10	2.00	10	
20	0.850	30	0.600
40	0.425	50	0.300
60	0.250	100	0.150
140	0.106	200	0.075
200	0.075		
Bandeja		Bandeja	

Fuente: (Bowles, 1981)





El tamaño de la muestra varía entre 1500 g, para gravas con partículas máximas de 19 mm hasta 5000 g para materiales cuya partícula máxima tenga 75 mm.

5. Colocar la serie de tamices en un agitador eléctrico automático y tamizar aproximadamente 5 a 10 minutos, dependiendo de una inspección visual sobre la dificultad probable dada la cantidad de material.

*Figura 98 Agitador eléctrico*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*

6. Quitar la serie de tamices del agitador mecánico y obtener el peso del material que quedó retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos y comparar el total con el peso total obtenido en el paso 4. Esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado mecánico. Si se tiene una pérdida de más del 2% con respecto al peso original del residuo (paso 4) se considera que el experimento no es satisfactorio y por consiguiente debe repetirse.

*Figura 100 Material retenido en respectivas mallas*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*

*Figura 99 Visualización de la textura del material*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*



7. Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original utilizado en el paso 2. Esto es válido ya que el material que haya pasado a través del tamiz 200 pasaría cualquier otro tamiz por encima del tamiz 200 en la serie.

8. Calcular el porcentaje que pasa comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz. como un proceso acumulativo.

(Bowles, 1981)

### c) Toma de datos

Tabla 18 Toma de datos Granulometría

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA				
TAMIZ N°	DIÁMETRO(mm)	P. RETENIDO C - 1 (gr)	P. RETENIDO C - 2 (gr)	P. RETENIDO C - 3 (gr)
1"	25.4	0	0	0
3/4"	19.1	0	0	0
1/2"	12.7	0	0	0
3/8"	9.52	0	0	0
1/4"	6.35	0	0	0
4	4.75	109.5	512.8	114.9
10	2	44.5	199.4	39.5
16	1.19	21.2	65.6	24.1
40	0.43	64.1	78.2	85.1
60	0.25	195.2	131.3	192
100	0.15	276.2	182.9	258.5
200	0.08	250.3	171.8	224.5
FONDO		14.4	25.8	31
<b>TOTAL</b>		<b>975.4</b>	<b>1367.8</b>	<b>969.6</b>

Fuente: Elaboración propia



### 3.5.1.4.2 Contenido de humedad

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- Recipientes para humedad (aluminio o latón)
- Horno con control de temperatura adecuado

#### b) Procedimiento

El procedimiento para ésta prueba de laboratorio, se siguió el Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981) que dicta lo siguiente:

1. Pesar una cápsula o latón, incluyendo su tapa. Identificar y revisar adecuadamente el recipiente.
2. Colocar una muestra representativa de suelo húmedo en la cápsula y determinar el peso del recipiente más el del suelo húmedo.

*Figura 101 Materiales para realización de Contenido de Humedad*



*Fuente: Fotografía tomada en laboratorio*

3. Después de pesar la muestra húmeda más el recipiente, remueva la tapa y coloque la muestra en el horno.
4. Cuando la muestra se haya secado hasta mostrar un peso constante, determine el peso del recipiente más el del suelo seco.
5. Calcule el contenido de humedad  $W$ .

(Bowles, 1981)



### c) Toma de datos

Tabla 19 Toma de datos Contenido de humedad

CALICATA N° 03			
Numero lata	1	2	3
Peso lata (g)	37.3	37.3	37.2
Peso suelo humedo + Lata (g)	47.9	53.4	53.3
Peso suelo seco + Lata (g)	46.3	51.5	51.3
Peso del agua (g)			
Peso del suelo seco (g)			
% de humedad			
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>			

Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.1.4.3 Límites de Atterberg

##### a) Equipo

- Recipiente para hacer el ensayo del límite líquido con herramienta para hacer la ranura
- Recipientes para contenido de humedad
- Placa de vidrio para hacer el límite plástico
- tamiz No. 40
- bandeja
- aparato de límite líquido con herramientas para hacer la ranura de tipo Casagrande
- botella de plástico blando para proveer cantidades controladas de agua
- plato evaporador de porcelana
- espátula para mezcla cuidadosa de suelo
- placa de vidrio para hacer el ensayo de límite plástico
- varilla de soldadura de 3 mm para visualizar por comparación el diámetro del cilindro para límite plástico

##### b) Procedimiento

El procedimiento para ésta prueba de laboratorio, se siguió el Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981) que dicta lo siguiente:



### **Limite Líquido**

1. Se debe pulverizar una cantidad suficiente de suelo secado al aire, para obtener una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz No. 40 de alrededor de  $250 \pm 10$  g. Además, se debe asegurar, la destrucción de todos los grumos presentes.
2. Se debe verificar que la altura de la máquina del límite líquido que se va a utilizar sea exactamente de 1 cm ( $\pm 0.1$  mm). Hacer la calibración con respecto a la marca de desgaste que se nota en la parte inferior de la cazuela.
3. Colocar los 250 g de suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente el suelo hasta obtener un color uniforme. Cuando el color es uniforme en toda la mezcla y ésta adquiere una apariencia cremosa, su estado es adecuado en general y la consistencia resultante permita un número de golpes para la falla en el rango de 30 a 40.
4. Remover la cazuela de bronce del aparato de límite líquido y colocar dentro de la cazuela una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, bien centrada en la cazuela con respecto al pasador. A continuación, se debe emparejar la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta ranuradora, cortar una ranura clara, recta, que separe completamente la masa de suelo en dos partes. La mayor profundidad del suelo en la pasta deberá ser aproximadamente igual a la altura de la cabeza de la herramienta patrón. Si se utiliza la herramienta de Casagrande, se debe mantener firmemente perpendicular a la tangente instantánea a la superficie de la cazuela y la herramienta, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea en toda su longitud. Después de hacer la ranura, se debe retomar rápidamente la cazuela a su sitio del aparato y hacer el conteo de golpes.
5. Tomar una muestra para medir contenido de humedad y colocarla en una lata o recipiente para humedad cuyo peso debió determinarse con anterioridad, y asegurarse que esta muestra corresponde a la zona donde se cerró la ranura. Remover los restos de suelo de la cazuela y volverlos al recipiente donde se había preparado la muestra. Lavar y limpiar perfectamente la cazuela. Añadir una pequeña cantidad de agua al recipiente de porcelana de preparación de suelo y mezclar cuidadosamente hasta obtener una coloración homogénea y consistencia



para obtener un número de golpes entre 25 y 30 aproximadamente. Repetir los pasos 4 y 5 anteriores.

6. Repetir la secuencia para dos ensayos adicionales con número de golpes entre 20 y 25 y entre 15 y 20, respectivamente para un total de cuatro determinaciones en el ensayo. Es necesario que la diferencia entre el número de golpes en cada ensayo individual sea de por lo menos dos y preferiblemente tres para obtener una dispersión adecuada en el gráfico.

7. Pesar las cuatro muestras de humedad obtenidas en los diferentes ensayos, remover las tapas, y colocar los recipientes en un horno a 110°C para que se seque durante la noche.

(Bowles, 1981)

### **Limite Plástico**

1. Dividir en varios pedazos o porciones pequeñas la muestra de 20 a 30 g de suelo que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para límite líquido.

2. Enrollar el suelo con la mano extendida sobre una placa de vidrio, colocado a su vez sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 movimientos de mano por minuto. Cuando el diámetro del hilo o cilindro de suelo llegue a 3 mm se debe romper en pequeños pedazos, y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse. El proceso de hacer bolas o masas de suelo y enrollarlas debe continuarse alternativamente hasta cuando el hilo o cilindro de suelo se rompa bajo la presión de enrollamiento y no permita que se le enrolle adicionalmente. Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a 3 mm, esta condición es satisfactoria para definir el límite plástico, si el cilindro se había enrollado con anterioridad hasta más o menos 3 mm. La falla del cilindro se puede definir de la siguiente forma:

- a. Simplemente por separación en pequeños pedazos.
- b. Por desprendimiento de escamas de forma tubular (cilindros huecos) de dentro hacia fuera del cilindro o hilo de suelo.





3. Esta secuencia debe repetirse el número de veces que se requiera para producir suficientes pedazos de cilindro que permitan llenar un recipiente de humedad.

4. Pesarse el recipiente cubierto, remover su tapa y colocarlo dentro del horno.

(Bowles, 1981)

**c) Toma de datos**

*Tabla 20 Toma de datos de Limite plástico (MTC E 111, AASHTO T 90)*

LIMITE PLASTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)			
Peso del Contenedor (gr.)	23.27	21.29	23.18
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	24.88	23.61	25.52
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	24.62	23.20	25.12
Peso del Agua (gr.)			
Peso del Suelo Seco (gr.)			
Contenido de Humedad (%)*			

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 21 Tabla 18 Toma de datos de Limite Liquido (MTC E 110, AASHTO T 89)*

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)				
Número de Golpes	19	25	26	31
Peso del Contenedor (gr.)	21.01	20.97	20.91	20.88
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	32.53	32.57	32.59	32.65
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	29.30	29.40	29.42	29.50
Peso del Agua (gr.)				
Peso del Suelo Seco (gr.)				
Contenido de Humedad (%)				

*Fuente: Elaboración propia*

**3.5.1.4.4 Gravedad específica**

**a) Equipo**

- Frasco volumétrico de 250 o 500 ml
- Bomba de vacío o aspirador para producir vacío
- Mortero y mango
- Balanza de precisión 0.1 g
- Suministro de agua desaireada con temperatura estabilizada

**b) Procedimiento**

El procedimiento para ésta prueba de laboratorio, se siguió el Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981) que dicta lo siguiente:



1. Mezclar entre 100 y 120 g de suelo secado al aire con agua en un recipiente evaporador hasta formar una pasta cremosa.
2. Transferir la pasta al vaso del mezclador y añadir agua hasta formar una mezcla de cerca de 200 ml de suelo-agua. Batir estas mezclas durante 5 a 10 minutos. Si se hace este paso, es necesario utilizar un frasco volumétrico de 500 ml
3. Pesar el frasco volumétrico vacío, a continuación, llenar el frasco hasta la marca con agua deaireada, tener mucho cuidado en no introducir aire nuevamente al agua por agitación excesiva. Cuando el nivel de agua se encuentra en la marca volumétrica y el cuello por encima de esa marca se encuentra totalmente seco, pesar el frasco y registrar el peso  $W_{bw}$ .
4. Luego de 15 a 30 minutos, transferir el suelo saturado del plato evaporador al frasco volumétrico. Tener cuidado de que no queden partículas de suelo en el recipiente evaporador.
5. Conectar el frasco a un dueto de vacío por un espacio de por lo menos 10 minutos. Durante este tiempo agitar suavemente la mezcla moviendo cuidadosamente la botella. Observar que la reducción en la presión del aire dentro del frasco produce "la ebullición" del agua.

**c) Toma de datos**

*Tabla 22 Toma de datos Gravedad específica*

<b>MUESTRA C-3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
Número de Picnómetro	2	2
Volumen del Picnómetro (ml)	500	500
Peso del Contenedor (gr.)	132.58	133.46
Peso del Contenedor + Muestra Seca (gr.)	200.30	199.01
Peso de la Muestra Seca (gr.)		
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	712.52	711.34
Temperatura del Agua (°C)	16.0	15.4
Peso del Picnómetro + Agua (gr.)	669.73	669.75
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)		
Peso del Agua Desplazada (gr.)		
Gravedad Específica a Temperatura de Ensayo (gr./cm <sup>3</sup> )		
Factor de corrección por Temperatura		
Peso Específico (gr./cm <sup>3</sup> )		

*Fuente: Elaboración propia*



### 3.5.1.4.5 Corte Directo

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- Espátula
- Tallador
- Caja de moldajes
- Máquina para corte directo

#### b) Procedimiento

El procedimiento para ésta prueba de laboratorio, se siguió el Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981) que dicta lo siguiente:

1. Moldear cuidadosamente tres muestras al mismo tamaño, tomadas de una muestra de bloque grande. Mantener las muestras en ambiente de humedad controlada mientras se hace el moldeo, la preparación de la máquina de corte y los demás detalles del ensayo.
2. Retroceder la separación y el agarre de los tomillos guía en la parte superior de la caja de corte y ensamblar las dos partes. Asegurarse de que las piedras porosas están saturadas y medir las dimensiones de la caja de corte para calcular el área de la muestra.

*Figura 102 Preparación del equipo de corte directo*



*Fuente: Fotografía tomada en el laboratorio Allpa*



3. Colocar cuidadosamente la muestra dentro de la caja de corte. La muestra debe ajustar perfectamente en la caja y llenarla hasta cerca de 5 mm de la parte superior de la caja de corte. Colocar el bloque o pistón de carga en su sitio sobre el suelo, y ajustar el deformímetro de carátula vertical. Para un ensayo consolidado es necesario controlar el deformímetro vertical igual que para el ensayo de consolidación, para determinar cuando la consolidación haya terminado.
4. Separar cuidadosamente las mitades de la caja de corte dejando una pequeña separación apenas mayor que el tamaño de la partícula más grande presente en el suelo, retroceder los tornillos de separación y empalmar la cabeza de carga en su sitio utilizando los tornillos fijos para tal propósito.
5. Acoplar el deformímetro de deformación cortante, fijar en cero tanto el deformímetro horizontal como el vertical. Para ensayos saturados, es necesario llenar la caja de corte con agua y esperar un tiempo razonable para que se produzca la saturación de la muestra.
6. Comenzar la carga. horizontal (cortante) y tomar lecturas del deformímetro de carga, desplazamiento de corte y desplazamientos verticales (de cambio de volumen).

*Figura 103 Realización del ensayo de corte directo*



*Fuente: Fotografía tomada en el laboratorio Allpa*

7. Remover el suelo y tomar una muestra para contenido de humedad.



c) Toma de datos

Tabla 23 Toma de datos generales C-3

MUESTRA C-3	M01		M02		M03	
Características Iniciales de la Muestra						
Número de anillo	1		1		1	
Altura de la Muestra (cm)	2.20	2.22	2.10	2.18	2.18	2.14
Diámetro de la Muestra (cm)	5.05	5.14	5.08	5.12	5.05	5.09
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	45.1		43.7		43.6	
Peso de la Muestra Húmeda (gr.)	86.07		81.44		80.36	
Características después de la Consolidación						
Asentamiento (mm)	-0.02		-0.17		1.27	
Altura de la Muestra (cm)	2.21		2.16		2.03	
Diámetro o lado de la Muestra (cm)	5.11		5.11		5.11	
Área de la Muestra (cm <sup>2</sup> )	20.51		20.51		20.51	
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	45.4		44.2		41.7	
Características después del Ensayo de Corte Directo						
Asentamiento (mm)	0.02		-0.66		0.26	
Altura de la Muestra (cm)	2.210		2.224		2.008	
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	45.3		45.6		41.2	
Contenido de Humedad						
Peso del Contenedor (gr.)	60.10		20.83		28.06	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	148.92		107.38		107.23	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	129.37		85.25		88.14	
Peso del Agua (gr.)						
Peso del Suelo Seco (gr.)						
Contenido de Agua Final (%)						
Relaciones Gravimétricas de la Muestra						
Densidad Húmeda Inicial (gr/cm <sup>3</sup> )						
Contenido de Agua Inicial (%)						
Densidad Seca Inicial (gr/cm <sup>3</sup> )						
Densidad Seca - consolidación (gr/cm <sup>3</sup> )						
Densidad Húmeda Final (gr/cm <sup>3</sup> )						
Densidad Seca Final (gr/cm <sup>3</sup> )						
Gravedad Específica (gr/cm <sup>3</sup> )						
Relación de Vacíos Inicial						
Grado de Saturación Inicial (%)						
Relación de Vacíos luego de consolidarse						
Relación de Vacíos Final						
Grado de Saturación Final (%)						

Fuente: Elaboración propia



Tabla 24 Toma de datos de Corte Directo C-3

ENSAYO DE CORTE DIRECTO								
Deformación Horizontal		Área Correg. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)			Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )		
(%)	(cm)		M01	M02	M03	M01	M02	M03
0.0	0.0000	20.51	0.81	2.36	3.50	0.039	0.115	0.171
0.1	0.0051	20.46	5.80	3.95	4.97	0.283	0.192	0.242
0.2	0.0102	20.40	8.86	5.43	5.80	0.432	0.265	0.283
0.3	0.0153	20.35	10.51	6.19	6.03	0.513	0.302	0.294
0.4	0.0204	20.30	11.76	6.84	5.68	0.573	0.334	0.277
0.5	0.0256	20.25	12.53	7.03	5.70	0.611	0.343	0.278
0.6	0.0307	20.20	13.74	7.58	5.94	0.670	0.369	0.290
0.7	0.0358	20.14	14.47	7.90	6.11	0.706	0.385	0.298
0.8	0.0409	20.09	15.31	7.98	6.43	0.746	0.389	0.314
0.9	0.0460	20.04	15.84	8.00	6.47	0.772	0.390	0.316
1.0	0.0511	19.99	16.35	8.49	6.52	0.797	0.414	0.318
1.2	0.0613	19.88	15.69	8.68	7.13	0.765	0.423	0.348
1.4	0.0715	19.78	17.08	8.51	6.50	0.833	0.415	0.317
1.6	0.0818	19.67	17.14	8.68	6.54	0.836	0.423	0.319
1.8	0.0920	19.57	17.77	9.43	6.62	0.867	0.460	0.323
2.0	0.1022	19.46	18.36	9.41	6.82	0.895	0.459	0.333
2.5	0.1278	19.20	18.69	9.78	7.17	0.911	0.477	0.350
3.0	0.1533	18.94	19.10	10.17	7.58	0.931	0.496	0.369
3.5	0.1789	18.68	19.30	10.19	7.56	0.941	0.497	0.368
4.0	0.2044	18.42	19.65	10.53	7.68	0.958	0.514	0.374
4.5	0.2300	18.16	19.83	10.80	7.84	0.967	0.527	0.382
5.0	0.2555	17.90	20.10	11.21	7.94	0.980	0.546	0.387
5.5	0.2811	17.64	20.24	11.15	7.88	0.987	0.543	0.384
6.0	0.3066	17.38	20.44	10.84	8.35	0.997	0.529	0.407
6.5	0.3322	17.12	20.46	11.98	8.31	0.998	0.584	0.405
7.0	0.3577	16.86	20.65	11.90	8.21	1.007	0.580	0.400
7.5	0.3833	16.61	20.87	11.72	8.35	1.018	0.571	0.407
8.0	0.4088	16.35	20.69	11.84	8.31	1.009	0.577	0.405
8.5	0.4344	16.09	21.02	11.98	8.58	1.025	0.584	0.418
9.0	0.4599	15.83	21.22	11.92	8.33	1.035	0.581	0.406
9.5	0.4855	15.58	21.28	12.29	8.35	1.038	0.599	0.407
10.0	0.5110	15.32	21.38	12.19	8.58	1.043	0.594	0.418
10.5	0.5366	15.07	21.30	12.72	8.45	1.039	0.620	0.412
11.0	0.5621	14.81	21.53	12.41	8.64	1.050	0.605	0.421
11.5	0.5877	14.56	21.28	12.39	8.49	1.038	0.604	0.414
12.0	0.6132	14.30	21.12	12.88	8.60	1.030	0.628	0.419
12.5	0.6388	14.05	22.99	12.55	8.72	1.121	0.612	0.425
13.0	0.6643	13.80	22.97	12.76	8.88	1.120	0.622	0.433
13.5	0.6899	13.54	22.67	12.90	8.86	1.105	0.629	0.432
14.0	0.7154	13.29	22.52	12.76	8.70	1.098	0.622	0.424
14.5	0.7410	13.04	22.69	12.72	8.90	1.106	0.620	0.434
15.0	0.7665	12.79	22.69	12.84	8.74	1.106	0.626	0.426
15.5	0.7921	12.55	22.67	12.80	8.94	1.105	0.624	0.436
16.0	0.8176	12.30	22.65	13.16	9.02	1.104	0.642	0.440
16.5	0.8432	12.05	22.67	13.10	9.02	1.105	0.639	0.440
17.0	0.8687	11.80	22.55	13.29	9.06	1.099	0.648	0.442
17.5	0.8943	11.56	22.46	13.08	8.86	1.095	0.638	0.432
18.0	0.9198	11.32	22.67	13.47	8.92	1.105	0.657	0.435
18.5	0.9454	11.07	22.38	13.27	8.90	1.091	0.647	0.434
19.0	0.9709	10.83	22.26	13.47	9.29	1.085	0.657	0.453



19.5	0.9965	10.59	22.36	13.55	9.06	1.090	0.661	0.442
20.0	1.0220	10.35	22.40	13.00	9.25	1.092	0.634	0.451

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Procedimiento de análisis de datos

#### 3.6.1 Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó

##### 3.6.1.1 Restitución fotogramétrica

###### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

###### Restitución Fotogramétrica

Para la restitución fotogramétrica, se utilizó el software Agisoft Metashape Professional.

Figura 104 Ícono del software Agisoft Metashape



Fuente: Captura del software

Procedimos a realizar la restitución fotogramétrica, a través del menú WorkFlow > Add photos > Align photos, donde añadiremos todas las fotografías tomadas por el vehículo aéreo, y haremos una alineación, en la que el programa se encarga de ordenar las imágenes por sus coordenadas geográficas.

Figura 105 Ventana de inicio de Agisoft Metashape



Fuente: Toma de captura del software



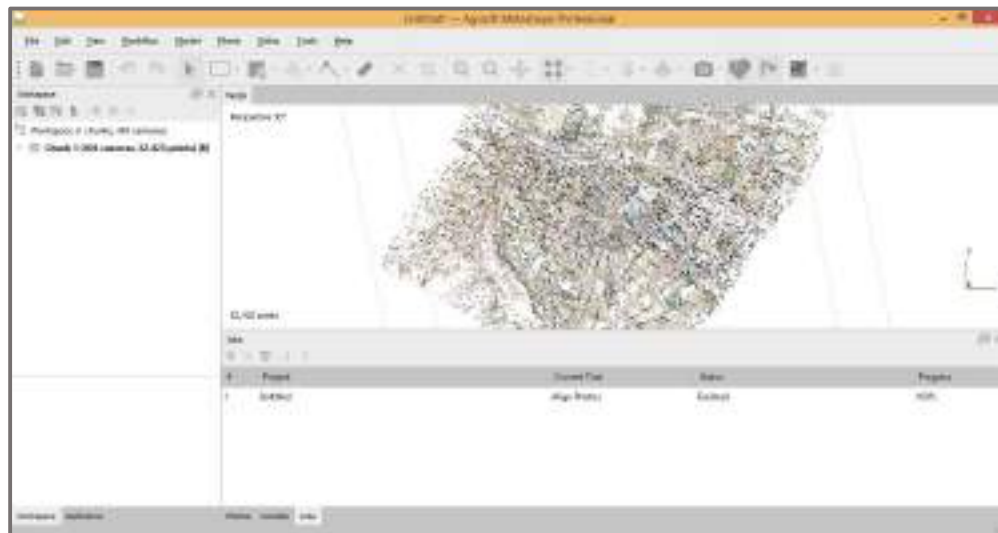
El proceso Align photos, demorará varios minutos.

*Figura 106 Proceso de alineado de fotos*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

*Figura 107 Vista de las imágenes alineadas*



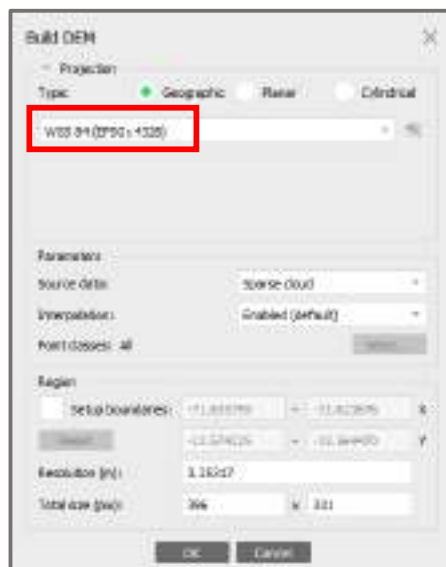
*Fuente: Captura de pantalla del software*

Procedimos a rectificar las imágenes, es decir, a verificar que los puntos de control estén bien orientados en cada una de las imágenes que los haya capturado.



Una vez hecho este paso, procedemos a crear el DEM, mediante el menú WorkFlow.

Figura 108 Creación DEM



Fuente: Captura de pantalla del software

Verificamos que el sistema de coordenadas sea WGS84 19S.

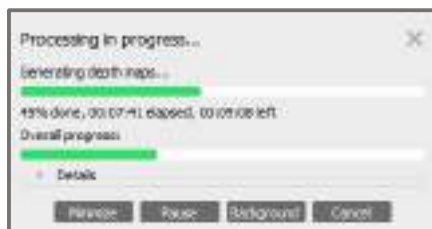
Una vez creado el DEM, procedemos a crear la Nube de Puntos Dispersa, en calidad ULTRA HIGH, con la cual, obtendremos imágenes más detalladas, éste proceso durará algunos minutos.

Figura 110 Creación de la nube de puntos dispersa



Fuente: Captura de pantalla del software

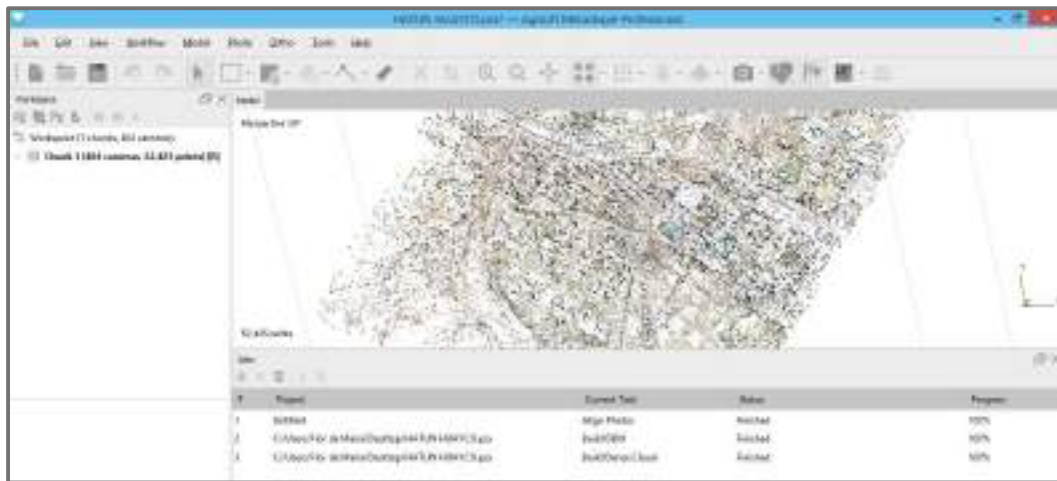
Figura 109 Procesamiento de la nube de puntos dispersa



Fuente: Captura de pantalla del software



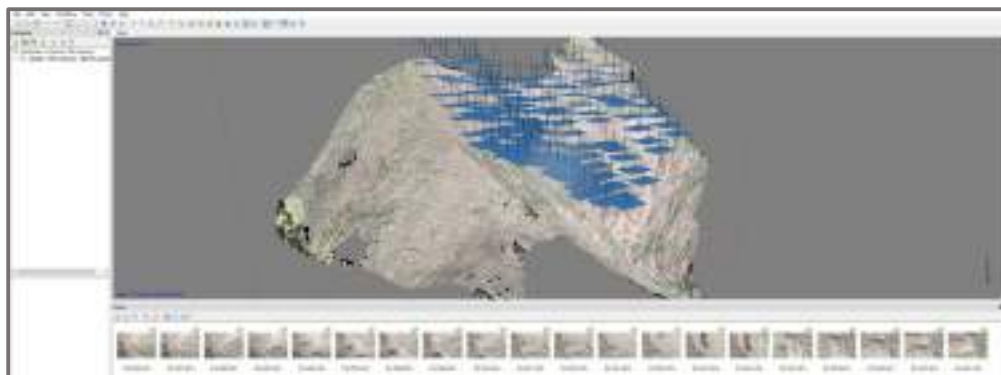
Figura 111 Nube de puntos dispersa



Fuente: Captura de pantalla del software

Por último, haremos el mismo proceso, para crear la Nube de puntos densa, la cual nos mostrará imágenes a detalle del DEM, éste proceso durará algunas horas.

Figura 112 Creación de nube de puntos densa

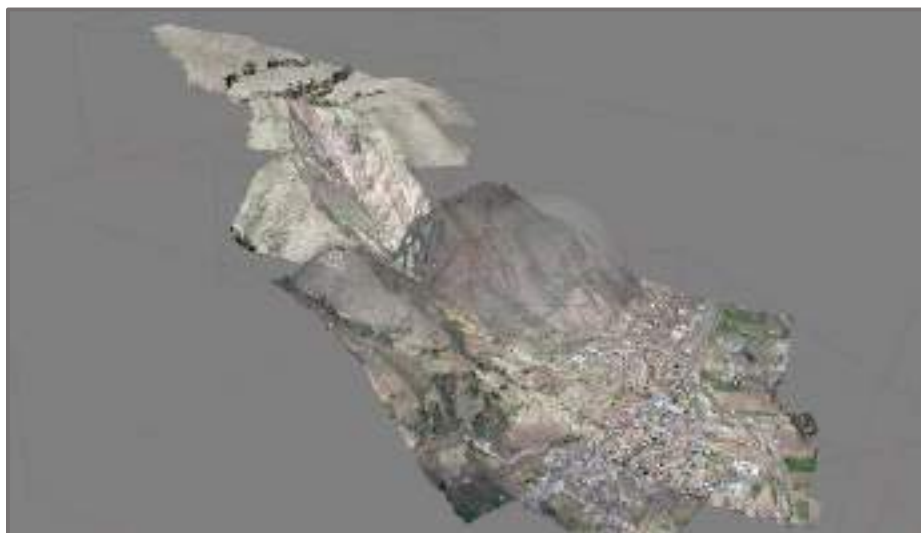


Fuente: Captura de pantalla del software

Una vez obtenida la nube de puntos Densa, procederemos a exportar el DEM.

Archivo > Exportar DEM > Exportar TIFF

Figura 113 Vista del DEM en 3D



Fuente: Captura de pantalla del software

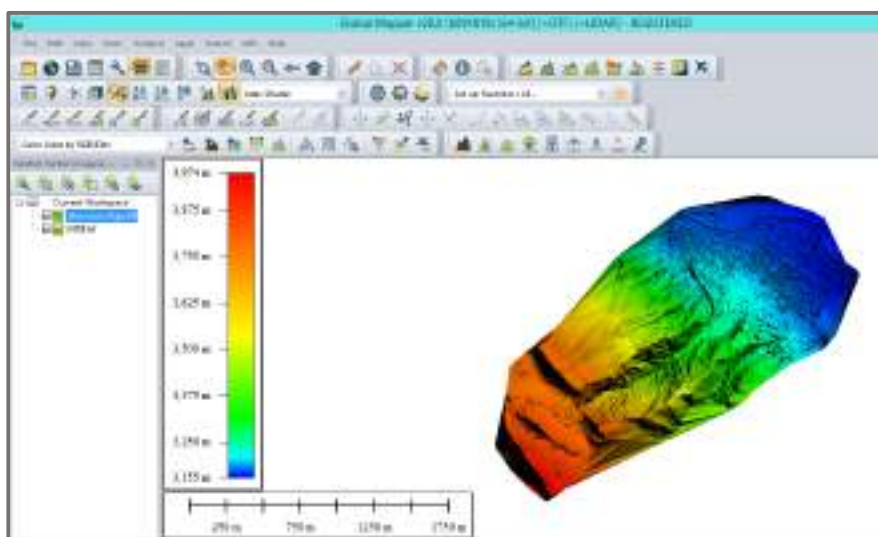
## b) Análisis de la prueba

### Análisis del DME

Primero creamos algunas herramientas que serán indispensables en el uso del software HEC-HMS, tales como los shapefiles del área de la cuenca y la red hídrica.

Para dicho fin, abriremos el DEM en el programa Global Mapper.

Figura 114 Inicio de Global Mapper con el DEM

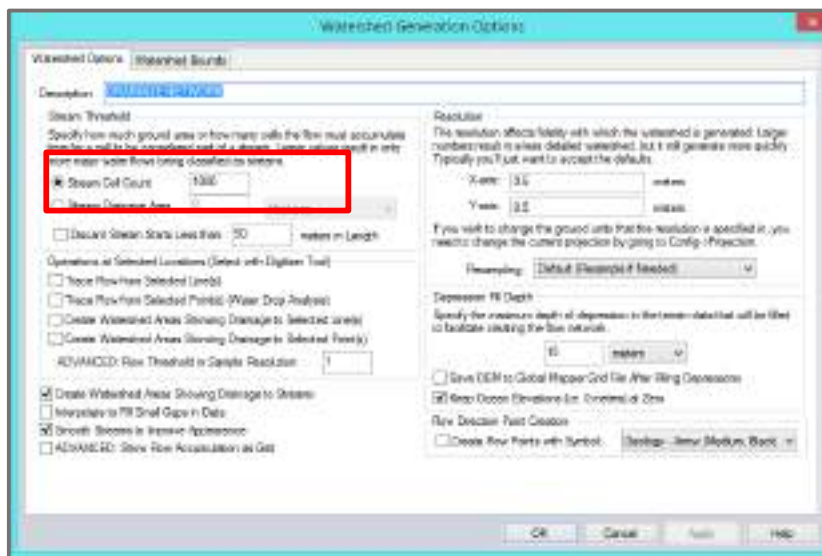


Fuente: Captura de pantalla del software



Una vez abierto en el software, procederemos a utilizar la herramienta WATERSHED, en el menú ANALYSIS. Aparecerá una ventana, donde cambiaremos el dato de STREAM CELL COUNT a 5000, que nos dará los suficientes detalles para modificar nuestra cuenca.

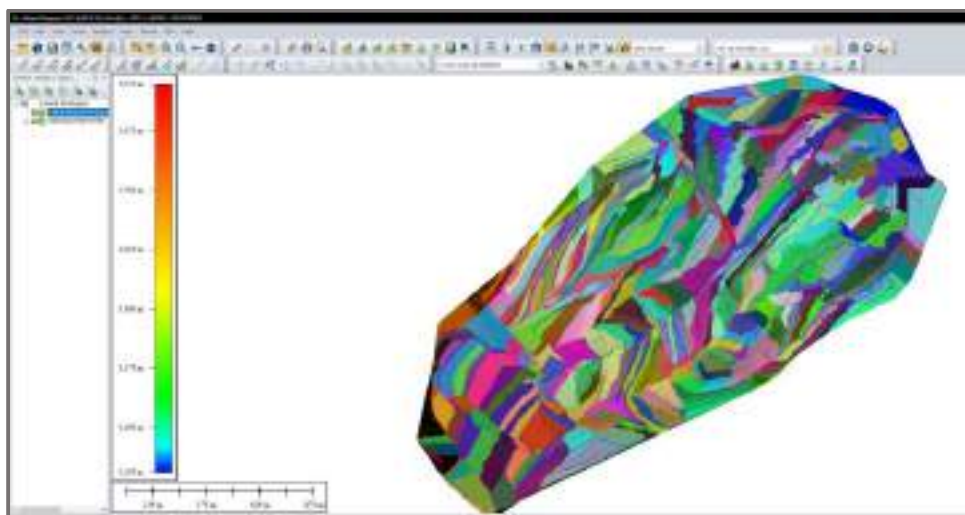
Figura 115 Generación de subcuencas



Fuente: Captura de pantalla del software

Tras esperar algunos minutos, observamos pequeños polígonos de diversos colores en nuestro DME, que conforman la delimitación de la cuenca.

Figura 116 Visualización de las subcuencas



Fuente: Captura de pantalla del software



Una vez creado, procedemos a exportar en formato SHAPEFILE, como se muestra a continuación:

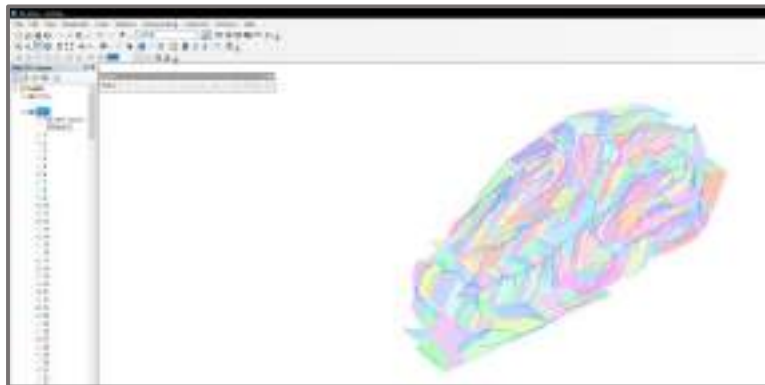
*Figura 117 Exportación del DEM a SHAPEFILE*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Una vez exportado, abrimos el programa ARC MAP, donde es más sencillo editar la figura.

*Figura 118 Visualización del SHAPEFILE en Arc GIS*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Comenzamos a editar los polígonos, borrando aquellos que no se encuentren en la red hídrica principal.

*Figura 119 Limpieza de polígonos*



*Fuente: Captura de pantalla del software*



Como se observa en la siguiente figura, queda un polígono, donde se encuentra la red principal que alimenta la cuenca.

*Figura 120 Selección de la red hídrica*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

### **Generación de planos**

Cada uno de los planos creados, fueron realizados en el software ARC-GIS, con la herramienta Spatial Analyst, el cual se encuentra incluido en la plataforma del programa Arc GIS, debe instalarse junto con el programa, y proporciona importantes recursos dedicados al análisis y modelado espacial, el paquete Spatial Analyst es el recomendado por las instituciones estatales para la definición de las unidades hidrográficas, y es el que oficialmente utiliza el ANA para la delimitación de unidades hidrográficas.

- a) Activación de la Extensión Spatial Analyst: Se activa la extensión Spatial Analyst desde la opción: Customize > Extensions..., y se activa la casilla Spatial Analyst.





Figura 121 Activación de la Extensión Spatial Analyst en Arc Map

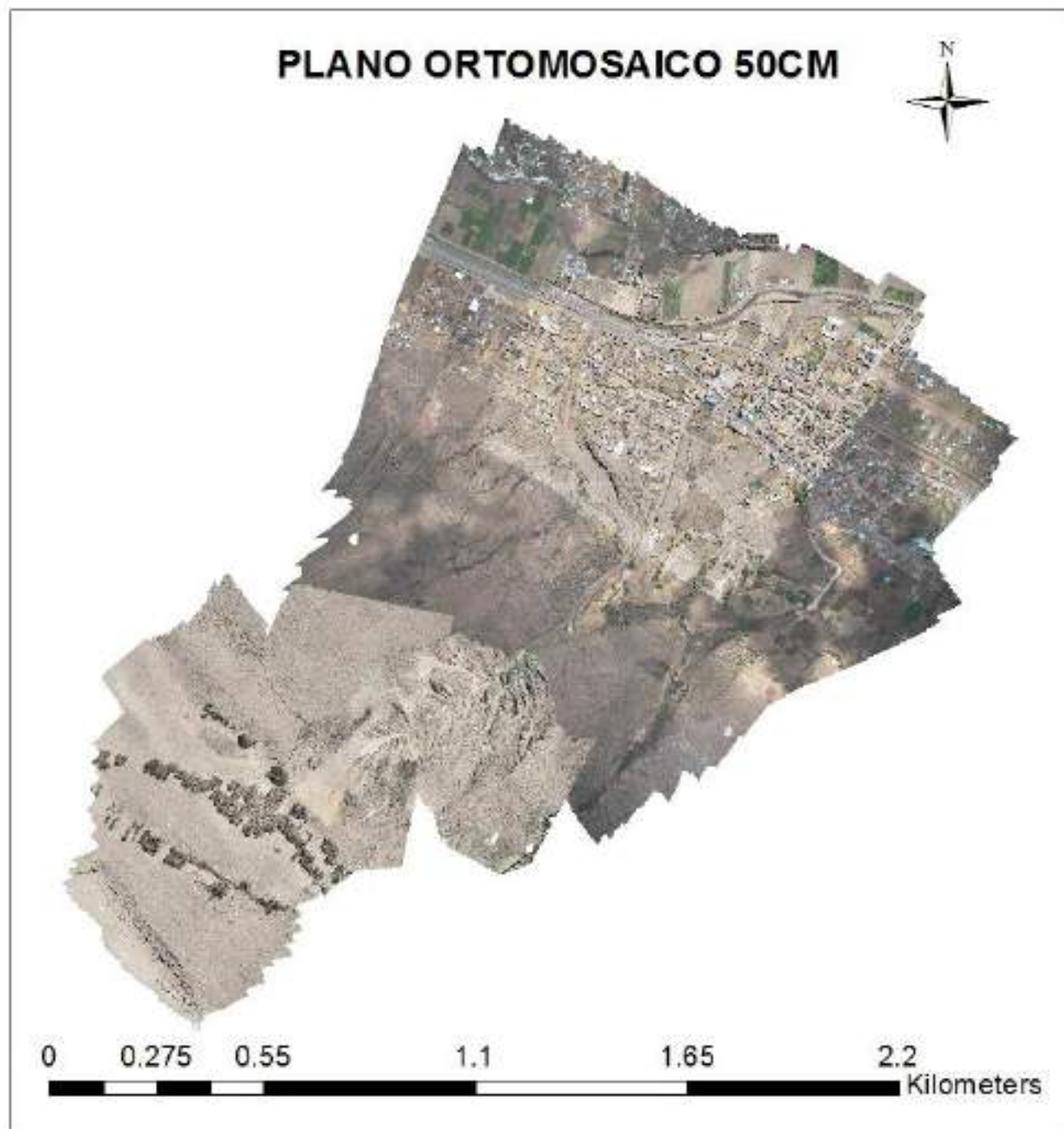


Fuente: Captura de pantalla del software

Después de activar la herramienta Spatial Analyst, procedemos a realizar los siguientes pasos: Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Topograph > Slope, se obtiene el Ráster que contiene los pixeles de Pendientes en función a la Topografía obtenida anteriormente.



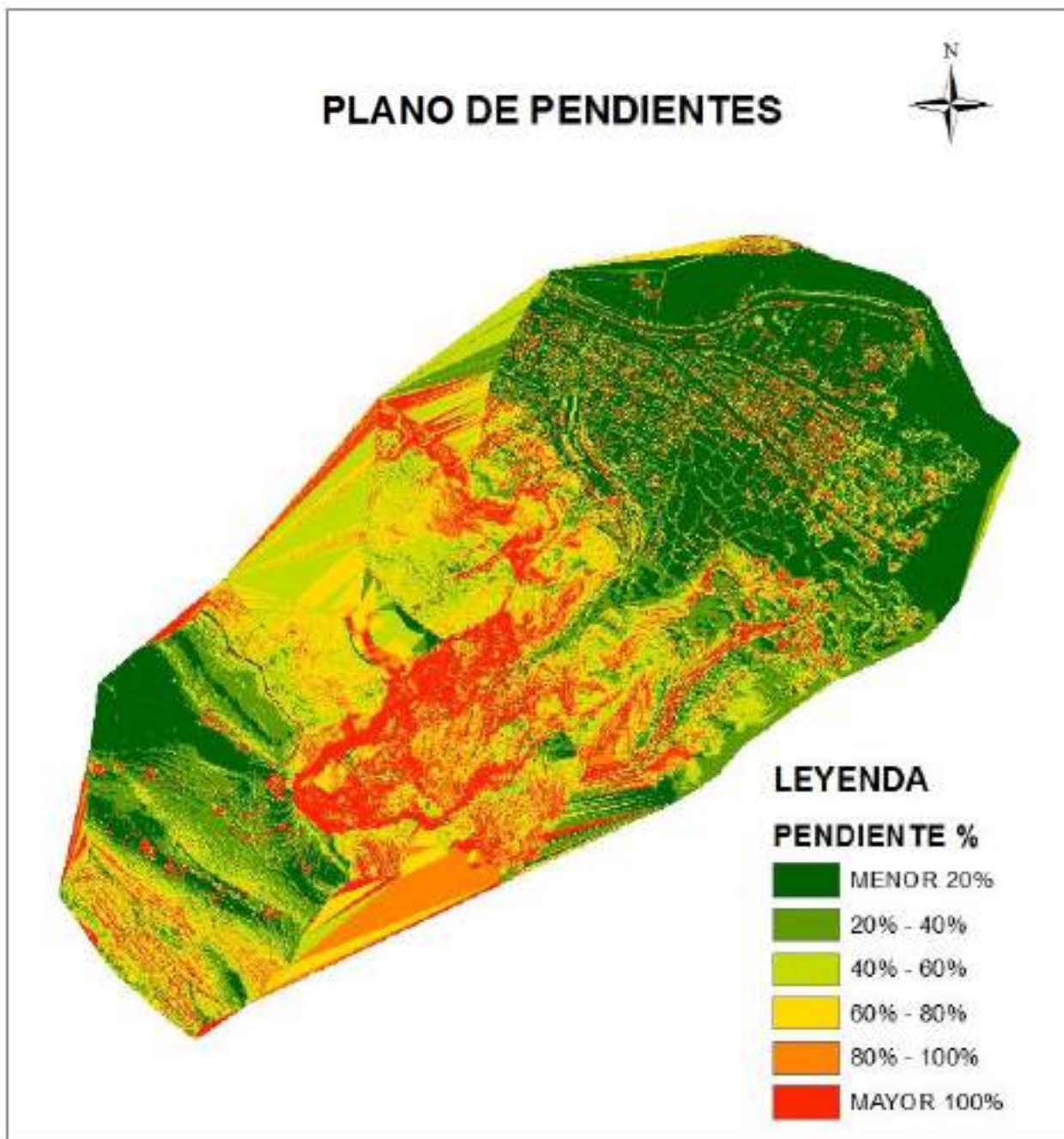
Figura 122 Plano Ortomosaico a 50cm



Fuente: Elaboración propia



Figura 123 Plano de pendientes Hatun Huayco



Fuente: Elaboración propia

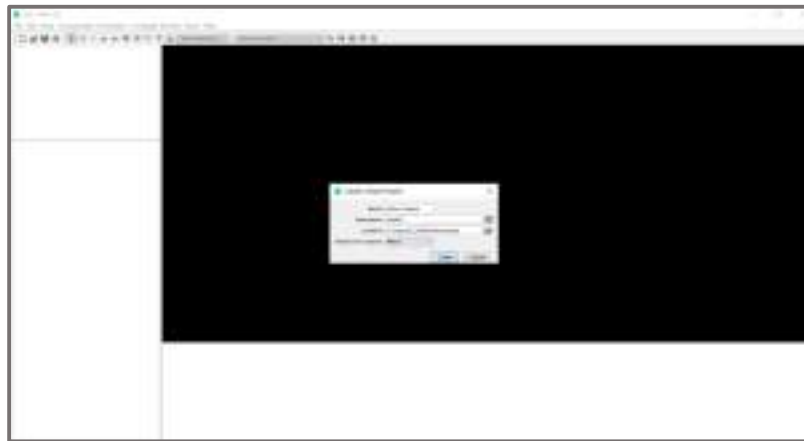
### 3.6.1.2 Creación de Hidrograma Unitario

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Se procedió a abrir el programa HEC HMS para la generación del Hidrograma unitario, donde se empezó de la siguiente forma:

File/Create a New Project/, donde se colocó como nombre Hatun Huayco y las unidades que se usaron fueron Metric y se puso Create.

*Figura 124 Inicio del software HEC HMS*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Se inició a creando los Elementos Gráficos de la cuenca, Compenents > Basin Model Manager > Create > Create A New Basin Model, se dio el nombre de la cuenca y en la descripción el Periodo de retorno que corresponde a 100 años.

*Figura 125 Creación del Modelo de Cuenca*

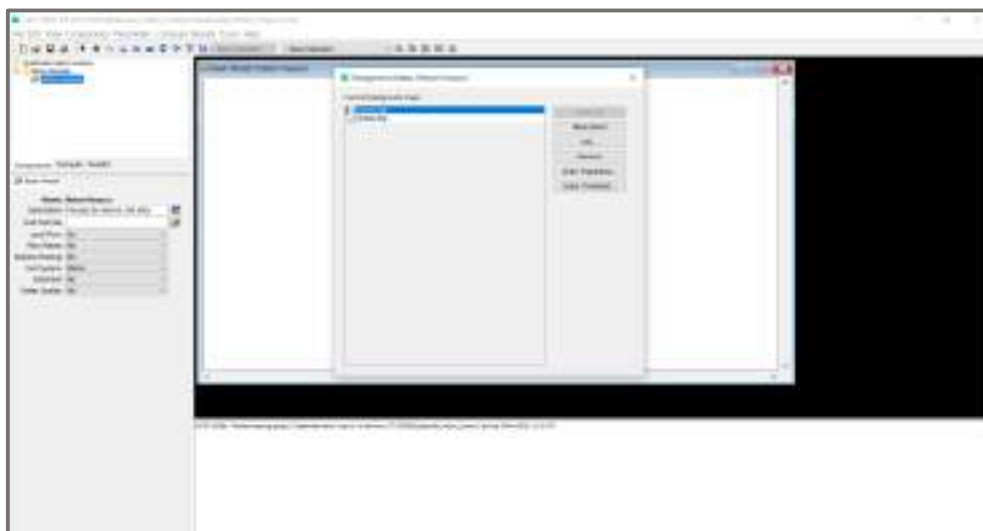


*Fuente: Captura de pantalla del software*



Dentro de los elementos Gráficos de la Cuenca, se insertó en View/Background Maps/Add. Se seleccionó los elementos antes generados, Área de la Quebrada Hatun Huayco y Líneas de la Red hídrica de la quebrada Hatun Huayco.

*Figura 126 Ingreso de los elementos gráficos de la cuenca*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Se creó la descarga, donde se realizó el análisis del caudal para el periodo retorno de 100 años.

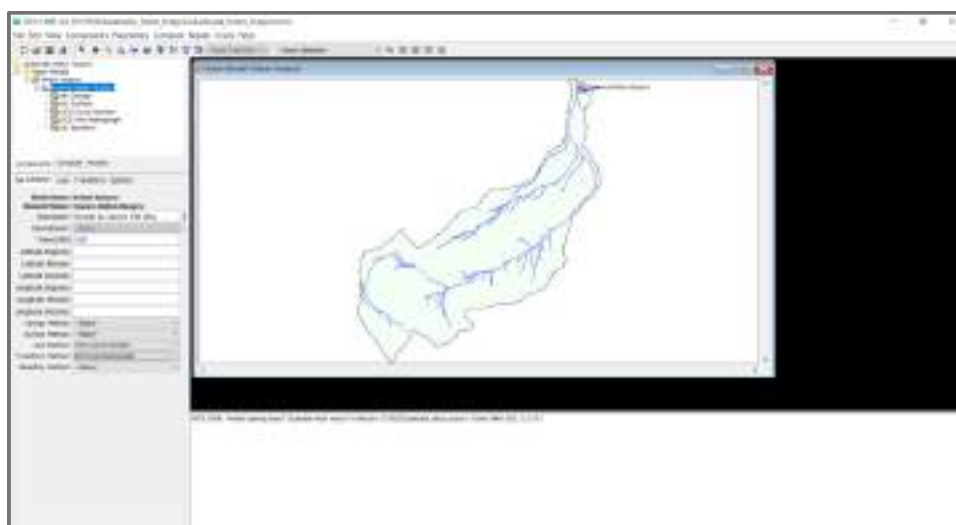
*Figura 127 Creación del punto de desfogue de la cuenca*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Se continuó con agregar los datos, como el área de la cuenca Hatun Huayco de 0.85 km<sup>2</sup>, y se modificó Loss Method a SCS Curve Number y Transform Method a SCS Unit Hydrograph y Baseflow Method a none.

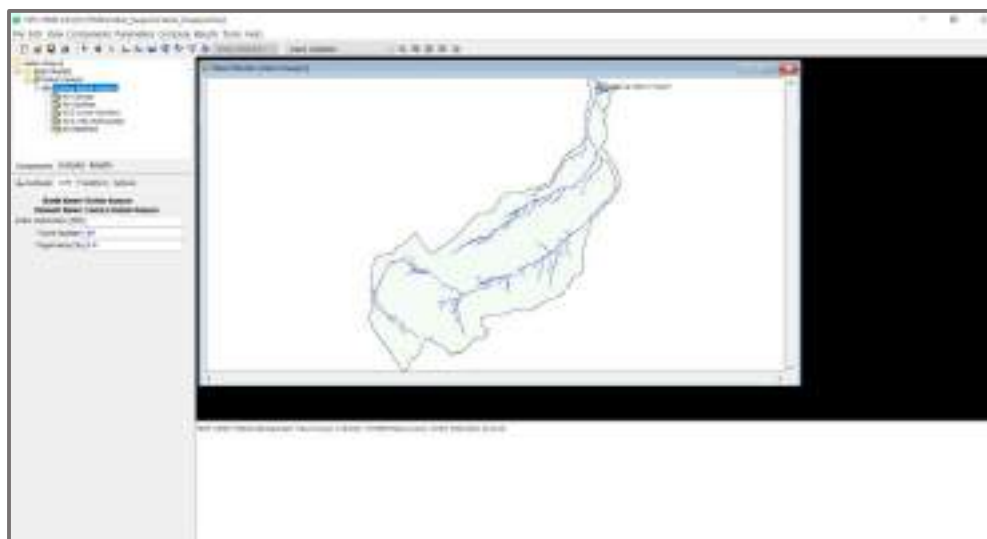
Figura 128 Ingreso del área de la cuenca



Fuente: Captura de pantalla del software

Se continuó con Loss, donde cambiamos el Numero de Curva de acuerdo al tipo de uso de suelo que nos resultó del DEM, usando el método de las Interpolaciones, resultando cueva CN = 89.

Figura 129 Ingreso del número de curva



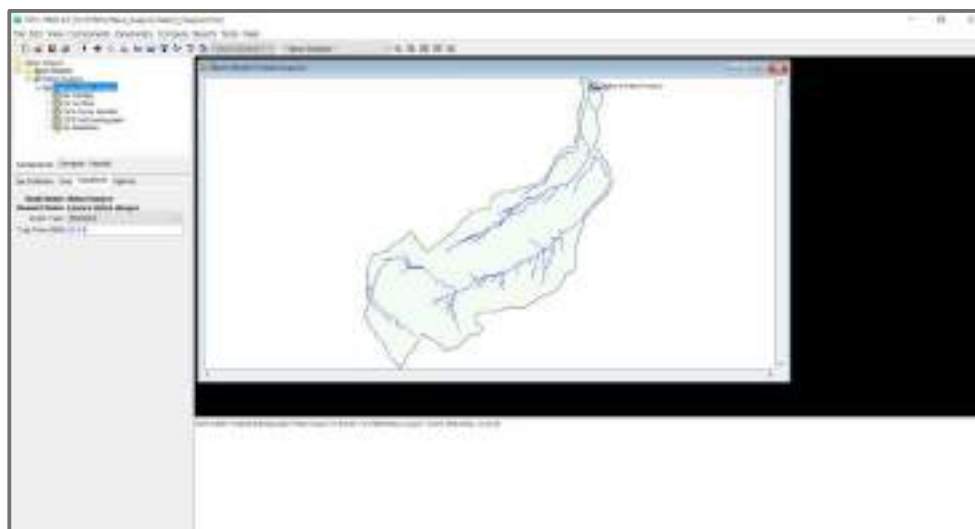
Fuente: Captura de pantalla del software





Nos dirigimos a la pestaña Transform, donde se puso el Tiempo de Retardo (LagTime) de 24.42 minutos, hallado anteriormente, el cual se calculó en función al tamaño de la cuenca y el tiempo de concentración.

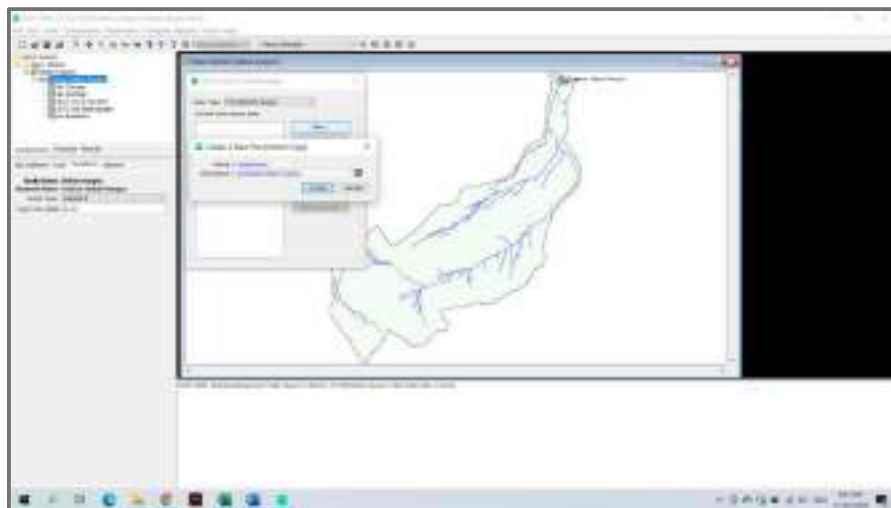
*Figura 130 Ingreso del tiempo de retardo*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Se empezó a ingresar los datos del Hietograma generado anteriormente y se ingresó a la pestaña Components/Time Series Data Manager/Create/

*Figura 131 Creación del hietograma*



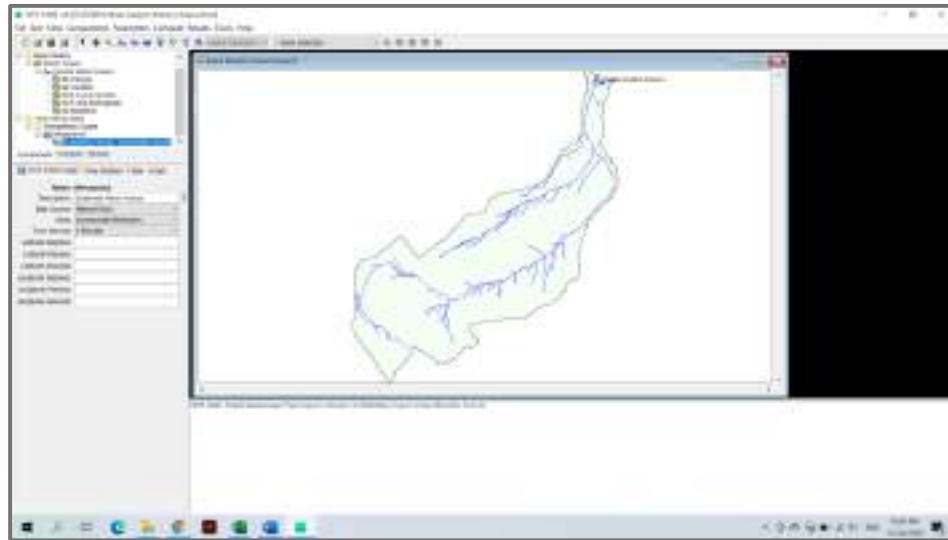
*Fuente: Captura de pantalla del software*





Vimos que se creó un nuevo ítem en la barra de la izquierda, con el nombre de Time Series Data, donde ingresamos los datos como el Intervalo de Tiempo de cada 5 minutos.

*Figura 132 Ingreso del intervalo de tiempo*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

Ingresamos a la pestaña Time Window/ e ingresamos la fecha con mayor lluvia del mes de febrero del año 2001.

*Figura 133 Ingreso de la fecha de la precipitación mayor*

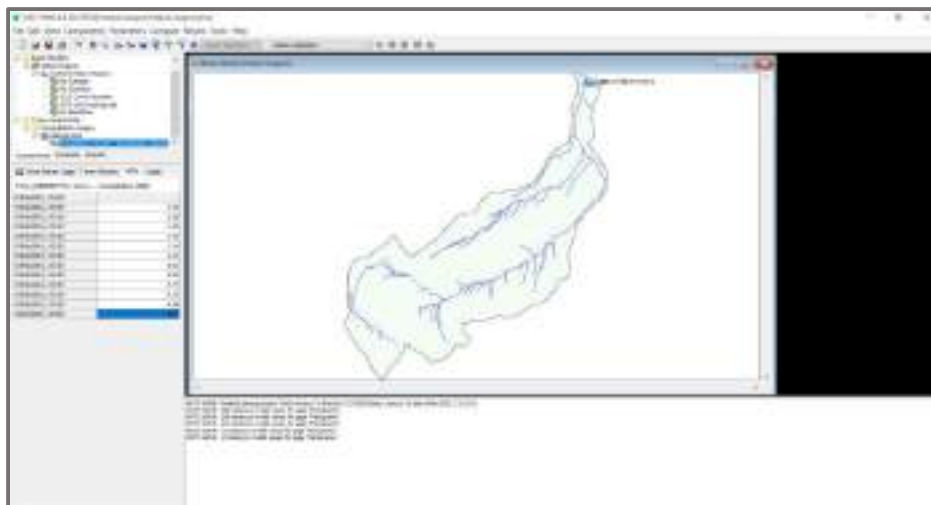


*Fuente: Captura de pantalla del software*



Ingresamos a la pestaña Table, e ingresamos los datos de Hietograma hallado de la información de la estación Kayra y su procesamiento de las Curvas IDF.

*Figura 134 Ingreso del hietograma*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

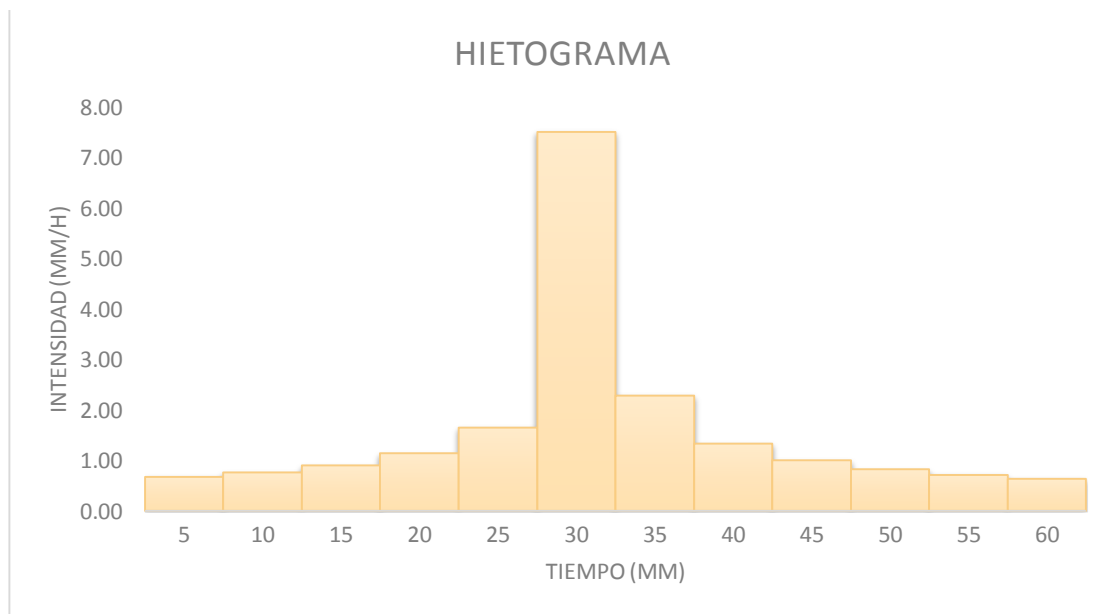


Tabla 25 Hietograma periodo de retorno 100 años

Hietograma para periodo de retorno de 100 años					
Instante (min)	Intensidad (mm/hr)	Tiempo (h)	P (mm)	AP (mm)	Precipitación (mm)
5	90.20	0.08	7.52	7.52	0.68
10	58.84	0.17	9.81	2.29	0.77
15	45.83	0.25	11.46	1.65	0.91
20	38.38	0.33	12.79	1.34	1.14
25	33.45	0.42	13.94	1.14	1.65
30	29.89	0.50	14.95	1.01	7.52
35	27.18	0.58	15.86	0.91	2.29
40	25.03	0.67	16.69	0.83	1.34
45	23.28	0.75	17.46	0.77	1.01
50	21.82	0.83	18.18	0.72	0.83
55	20.57	0.92	18.86	0.68	0.72
60	19.50	1.00	19.50	0.64	0.64

Fuente: Elaboración propia

Figura 135 Hietograma para 100 años de periodo de retorno

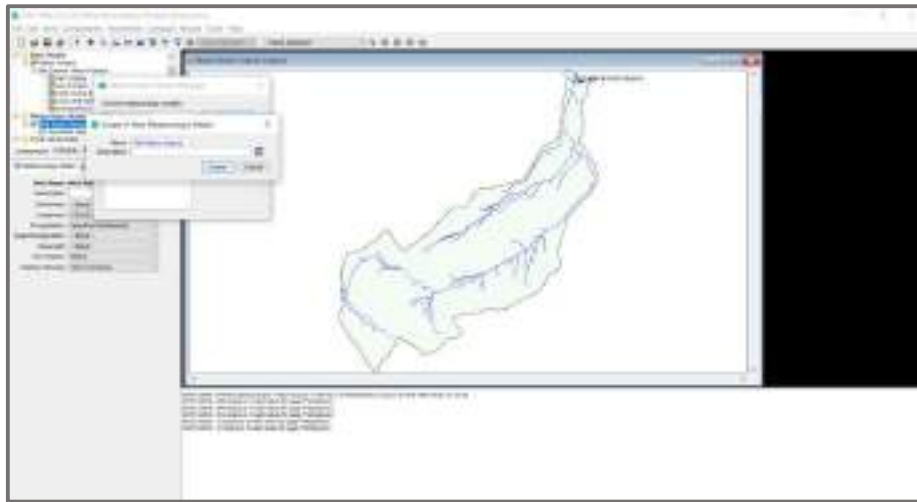


Fuente: Elaboración propia

Luego entramos a components/Metereologic Model Manager/Create a New metereological Manager/ e ingresamos MET HATUN HUAYCO.



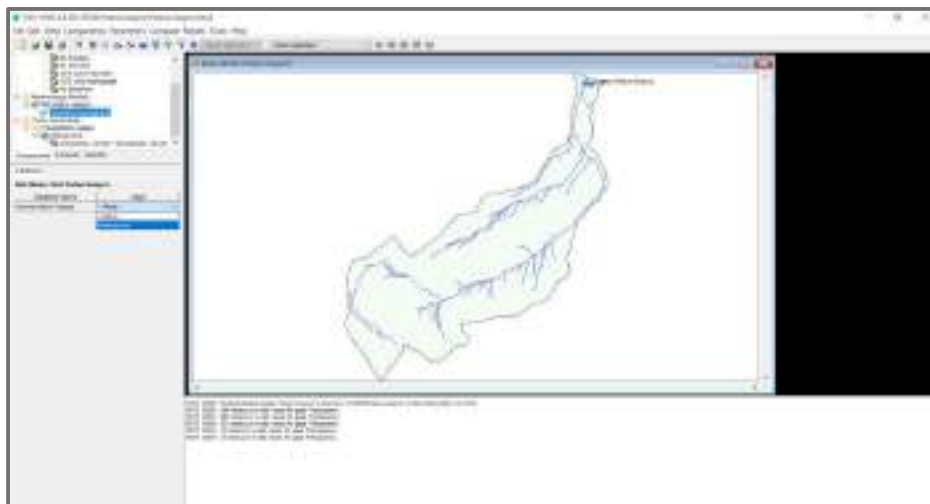
Figura 136 Creación del modelo meteorológico



Fuente: Captura de pantalla del software

Ingresamos a MET HATUN HUAYCO e ingresamos la opción Metereology Model > Set to default. Incluimos la cuenca Hatun Huayco Ingresamos a Basins > Yes y finalmente a Specified Hyetograph > Gage > Hietograma.

Figura 137 Ingreso del hietograma



Fuente: Captura de pantalla del software

Luego ingresamos a Components > Control Specifications Manager > New > Create > Close, e ingresamos la fecha y hora de la lluvia, así como el intervalo de tiempo.



Figura 138 Ingreso del intervalo de la fecha, hora e intervalo de tiempo



Fuente: Captura de pantalla del software

Luego correremos el programa, Compute > Create compute > Simulation RUN.

Ingresamos todos los datos y terminamos el modelado. Colocamos la corrida del periodo de retorno de 100 años.

Figura 139 Corrida de programa

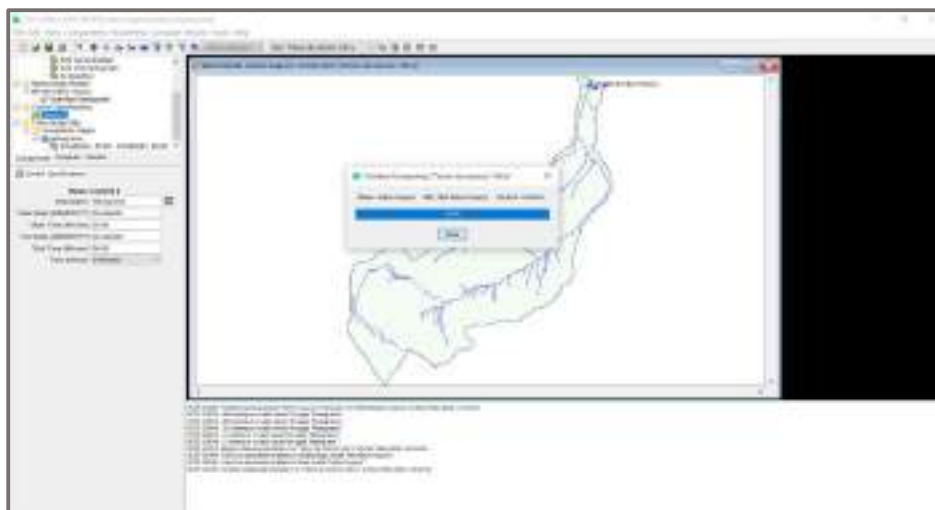


Fuente: Captura de pantalla del software

Finaliza la corrida y se procede a la revisión de los resultados.



Figura 140 Revisión de resultados



Fuente: Captura de pantalla del software

**b) Diagramas tablas**

El software HEC-HMS, nos otorga, como uno de sus resultados, la tabla de caudales de entrada y salida, que se muestra a continuación:

Tabla 26 Hidrograma Unitario periodo de retorno 100 años

FECHA	TIEMPO	CAUDAL DE ENTRADA	CAUDAL DE SALIDA
1Feb2001	18:00	0.0	0.0
1Feb2001	18:05	0.0	0.0
1Feb2001	18:10	0.1	0.1
1Feb2001	18:15	0.1	0.1
1Feb2001	18:20	0.1	0.1
1Feb2001	18:25	0.2	0.2
1Feb2001	18:30	1.5	1.5
1Feb2001	18:35	2.6	2.6
1Feb2001	18:40	2.3	2.3
1Feb2001	18:45	1.8	1.8
1Feb2001	18:50	1.5	1.5
1Feb2001	18:55	1.3	1.3
1Feb2001	19:00	1.1	1.1
1Feb2001	19:05	0.7	0.7
1Feb2001	19:10	0.3	0.3
1Feb2001	19:15	0.1	0.1
1Feb2001	19:20	0.0	0.0
1Feb2001	19:25	0.0	0.0
1Feb2001	19:30	0.0	0.0

1Feb2001	19:35	0.0	0.0
1Feb2001	19:40	0.0	0.0
1Feb2001	19:45	0.0	0.0
1Feb2001	19:50	0.0	0.0
1Feb2001	19:55	0.0	0.0
1Feb2001	20:00	0.0	0.0
1Feb2001	20:05	0.0	0.0
1Feb2001	20:10	0.0	0.0
1Feb2001	20:15	0.0	0.0
1Feb2001	20:20	0.0	0.0
1Feb2001	20:25	0.0	0.0
1Feb2001	20:30	0.0	0.0

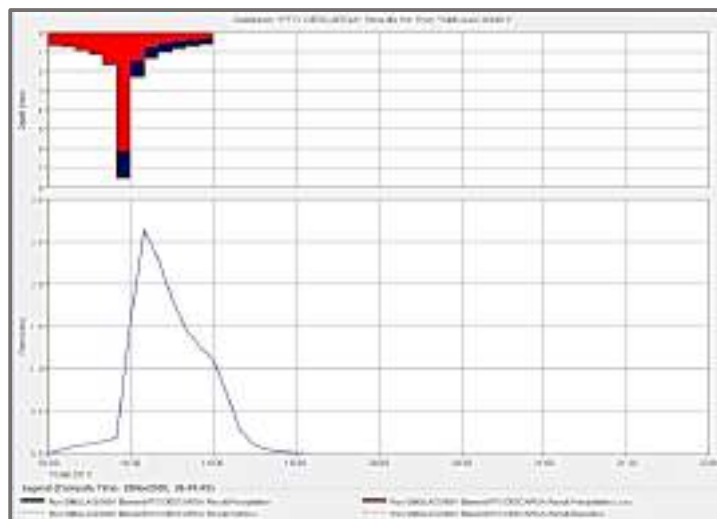
*Fuente: Elaboración propia*

La tabla observada, servirá como datos de entrada en el programa de modelamiento RAMMS.

### c) Análisis de la prueba

Como observamos en la siguiente imagen, éste software, nos muestra tanto la gráfica, como los datos más relevantes de un hidrograma unitario.

*Figura 141 Hidrograma unitario*



*Fuente: Captura de pantalla del software*

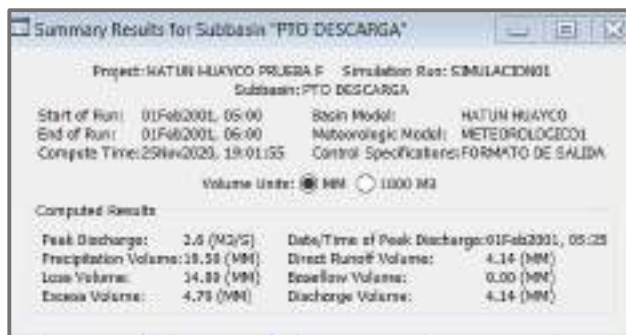
En la siguiente imagen extraída del software, observamos datos fundamentales que fueron necesarios para ingresar en el software RAMSS:

- El caudal máximo es  $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , para un periodo de retorno de 100 años
- El volumen de precipitación es 19.50mm





Figura 142 Resumen de resultados



Fuente: Captura de pantalla del software

### 3.6.1.3 Granulometría

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Los cálculos necesarios para realizar la prueba de Granulometría, son:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{P. \text{ Retenido}}{P. \text{ Total}} \times 100$$

$$\% \text{ Pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido}$$

Además, para hallar los coeficientes de uniformidad y de curvatura, siguen la siguiente fórmula:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 \times D60}$$

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad

Cc: Coeficiente de curvatura

D10: Diámetro efectivo con respecto al 10% que pasa

D30: Diámetro efectivo con respecto al 30% que pasa

D60: Diámetro efectivo con respecto al 60% que pasa



b) Diagramas tablas

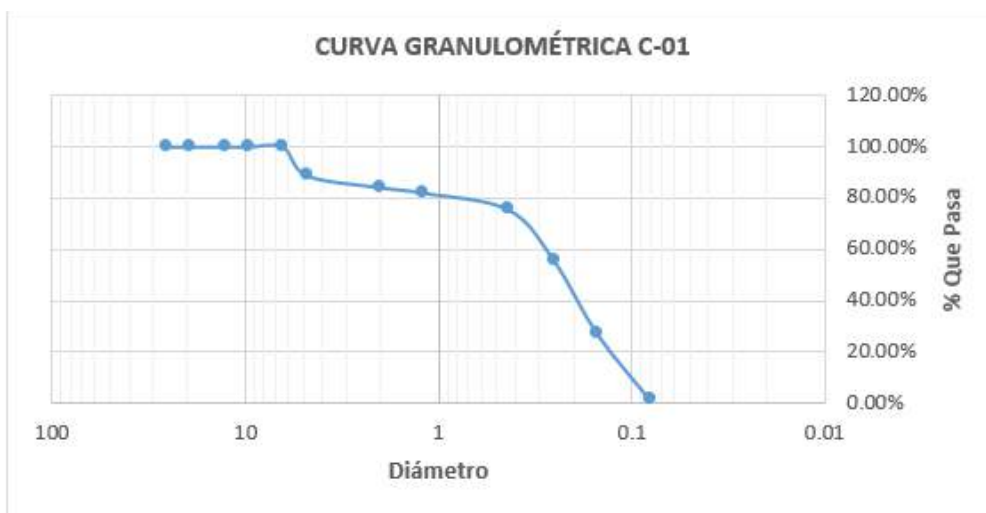
Tabla 27 Resultados ensayo de Granulometría C-1

CALICATA N° 01				
TAMIZ N°	DIÁMETRO(mm)	P. RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%PASA
1"	25.4	0	0.00%	100.00%
3/4"	19.1	0	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	0	0.00%	100.00%
3/8"	9.52	0	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0	0.00%	100.00%
4	4.75	109.5	11.23%	88.77%
10	2	44.5	4.56%	84.21%
16	1.19	21.2	2.17%	82.04%
40	0.43	64.1	6.57%	75.47%
60	0.25	195.2	20.01%	55.45%
100	0.15	276.2	28.32%	27.14%
200	0.08	250.3	25.66%	1.48%
FONDO		14.4	1.48%	0.00%
<b>TOTAL</b>		<b>975.4</b>	<b>100.00%</b>	

%GRAVAS	11.23%
%ARENA	87.30%
%FINO	1.48%

Fuente: Elaboración propia

Figura 143 Curva granulométrica 01



Fuente: Elaboración propia

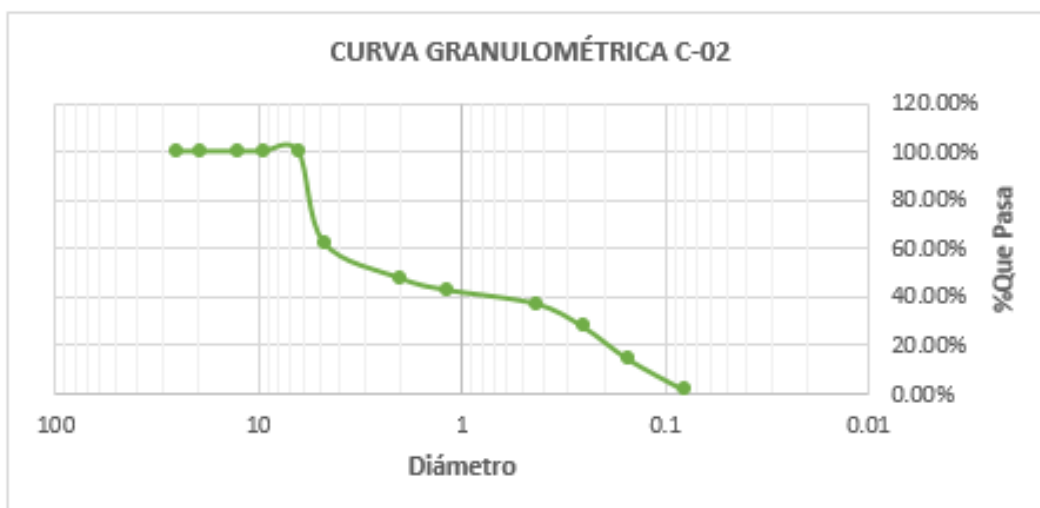


Tabla 28 Resultados ensayo de Granulometría C-2

CALICATA N° 02				
TAMIZ N°	DIÁMETRO(mm)	P. RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%PASA
1"	25.4	0	0.00%	100.00%
3/4"	19.1	0	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	0	0.00%	100.00%
3/8"	9.52	0	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0	0.00%	100.00%
4	4.75	512.8	37.49%	62.51%
10	2	199.4	14.58%	47.93%
16	1.19	65.6	4.80%	43.13%
40	0.43	78.2	5.72%	37.42%
60	0.25	131.3	9.60%	27.82%
100	0.15	182.9	13.37%	14.45%
200	0.08	171.8	12.56%	1.89%
FONDO		25.8	1.89%	
<b>TOTAL</b>		<b>1367.8</b>	<b>100.00%</b>	

Fuente: Elaboración propia

Figura 144 Curva granulométrica 02



Fuente: Elaboración propia



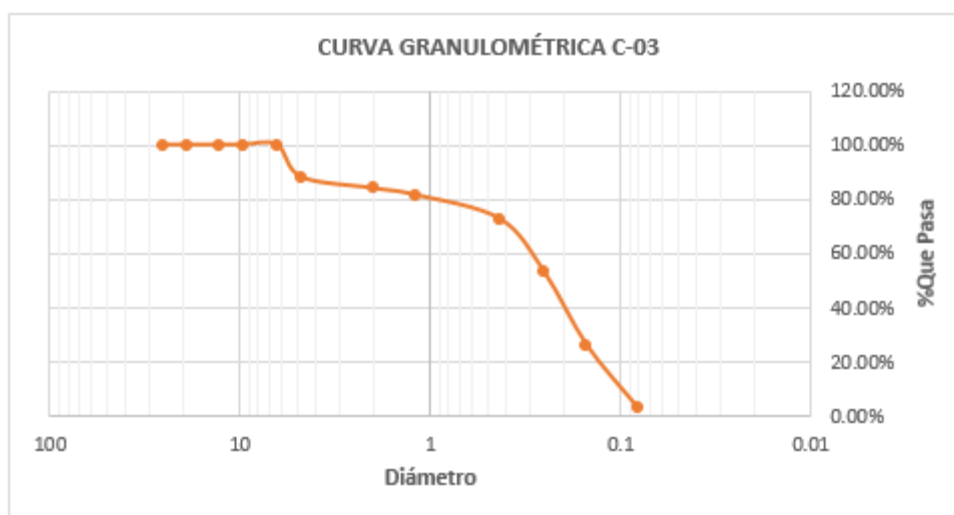
Tabla 29 Resultados ensayo de Granulometría C-3

CALICATA N° 03				
TAMIZ N°	DIÁMETRO(mm)	P. RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%PASA
1"	25.4	0	0.00%	100.00%
3/4"	19.1	0	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	0	0.00%	100.00%
3/8"	9.52	0	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0	0.00%	100.00%
4	4.75	114.9	11.85%	88.15%
10	2	39.5	4.07%	84.08%
16	1.19	24.1	2.49%	81.59%
40	0.43	85.1	8.78%	72.81%
60	0.25	192	19.80%	53.01%
100	0.15	258.5	26.66%	26.35%
200	0.08	224.5	23.15%	3.20%
FONDO		31	3.20%	
<b>TOTAL</b>		<b>969.6</b>	<b>100.00%</b>	

<b>%GRAVAS</b>	11.85%
<b>%ARENA</b>	84.95%
<b>%FINO</b>	3.20%

Fuente: Elaboración propia

Figura 145 Curva Granulométrica 03



Fuente: Elaboración propia



### c) Análisis de la prueba

Como se observa en los cálculos de granulometría, los tipos de suelo presentes en la muestra, son:

*Tabla 30 Porcentaje de contenido*

CONTENIDO	C1	C2	C3
GRAVAS	11.23%	37.49%	11.85%
ARENA	87.30%	60.62%	84.95%
FINO	1.48%	1.89%	3.20%

*Fuente: Elaboración propia*

Lo cual nos muestra que tienen mayor porcentaje de arena, y ésta característica hace que sea más drenable, por lo tanto, se puede afirmar que es susceptible a ser transportado por el flujo de detritos.

Además, según el gráfico de cada una de las pruebas granulométricas, podemos observar sus respectivos diámetros efectivos, resumidos de la siguiente forma:

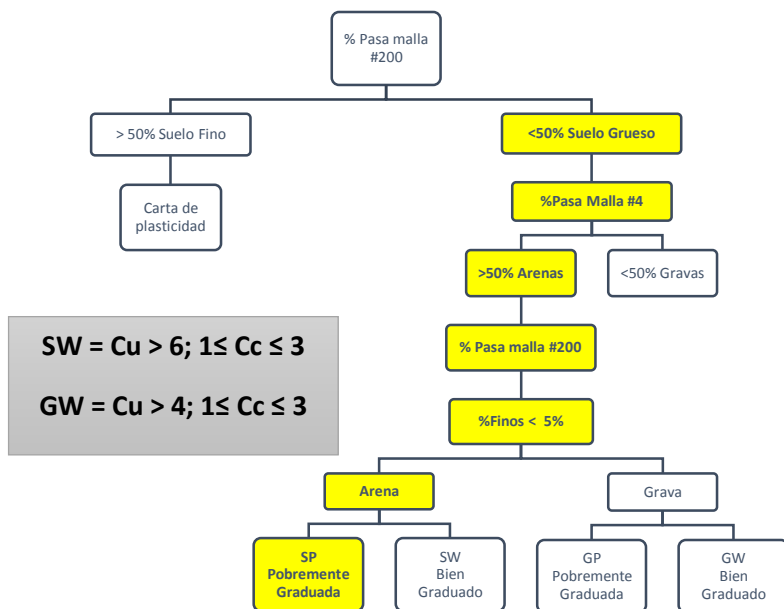
*Tabla 31 Resultado de Diámetros Efectivos*

Diámetro efectivo	C - 1	C-2	C-3
D10	0.1	0.12	0.1
D30	0.16	0.28	0.16
D60	0.29	4.3	0.3
Cc	0.88	0.15	0.85
Cu	2.9	35.83	3.0

*Fuente: Elaboración propia*

Éste ensayo se realizó, con el fin de conocer el tipo de suelo presente en la quebrada, lo cual se hizo mediante la clasificación SUCS:

Figura 146 Clasificación de suelos SUCS



Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los pasos resaltados, da como resultado, que el suelo de la quebrada es de tipo Arena Pobrementemente Graduado (SP).

### 3.6.1.4 Contenido de Humedad

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W1 - W2}{W2 - Wt} \times 100 = \frac{Ww}{Ws} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad (%)

Ww = Peso del agua (gr)

Ws = Peso seco del material (gr)

W1 = Peso de la tara más el suelo húmedo (gr)

W2 = Peso de la tara más el suelo secado en horno (gr)

Wt = Peso de tara (gr)



b) Diagramas tablas

Tabla 32 Resultados de Contenido de Humedad C-1

<b>CALICATA N° 01</b>			
Numero lata	1	2	3
Peso lata (g)	37.3	37.3	37.2
Peso suelo húmedo + Lata (g)	47.9	53.4	53.3
Peso suelo seco + Lata (g)	46.3	51.5	51.3
Peso del agua (g)	1.6	1.9	2
Peso del suelo seco (g)	9	14.2	14.1
% de humedad	17.78%	13.38%	14.18%
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>	15.11%		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Resultados de Contenido de Humedad C-2

<b>CALICATA N° 02</b>			
Numero lata	4	5	6
Peso lata (g)	37.2	37.1	37.1
Peso suelo húmedo + Lata (g)	54.2	53.2	56.3
Peso suelo seco + Lata (g)	52	50.5	53.7
Peso del agua (g)	2.2	2.7	2.6
Peso del suelo seco (g)	14.8	13.4	16.6
% de humedad	14.86%	20.15%	15.66%
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>	16.89%		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Resultados de Contenido de Humedad C-3

<b>CALICATA N° 03</b>			
Numero lata	7	8	9
Peso lata (g)	37.3	37.3	37.2
Peso suelo húmedo + Lata (g)	57.2	55	54.1
Peso suelo seco + Lata (g)	54.3	53	50.7
Peso del agua (g)	2.9	2	3.4
Peso del suelo seco (g)	17	15.7	13.5
% de humedad	17.06%	12.74%	25.19%
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>	18.33%		

Fuente: Elaboración propia





### c) Análisis de la prueba

Los resultados que arrojan los ensayos de contenido de humedad, muestran un porcentaje de humedad de 15.11, 16.89 y 18.33% respectivamente presente en la muestra de suelo.

#### 3.6.1.5 Límites de Atteberg

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Se calcularon los límites líquido y plástico, siguiendo el proceso normalizado por el Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos, y se calculó el índice de plasticidad, el cual nos dice que es necesario dibujar la gráfica de contenido de humedad contra número de golpes resultantes del ensayo de límite líquido en un papel semi logarítmico. De la misma forma, calcular el índice plástico y posteriormente el índice de plasticidad, con la siguiente fórmula:

$$Ip = Wl - Wp$$

Donde:

Ip: Índice de plasticidad

Wl: Límite líquido

Wp: Límite plástico

##### b) Diagramas tablas

Tabla 35 Resultados Limite plástico C-3

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)				
Peso del Contenedor (gr.)	23.27	21.29	23.18	X
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	24.88	23.61	25.52	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	24.62	23.20	25.12	
Peso del Agua (gr.)	0.26	0.41	0.40	
Peso del Suelo Seco (gr.)	1.35	1.91	1.94	Rango*
Contenido de Humedad (%)*	19.3	21.5	20.6	2.21

Fuente: Laboratorio Allpa

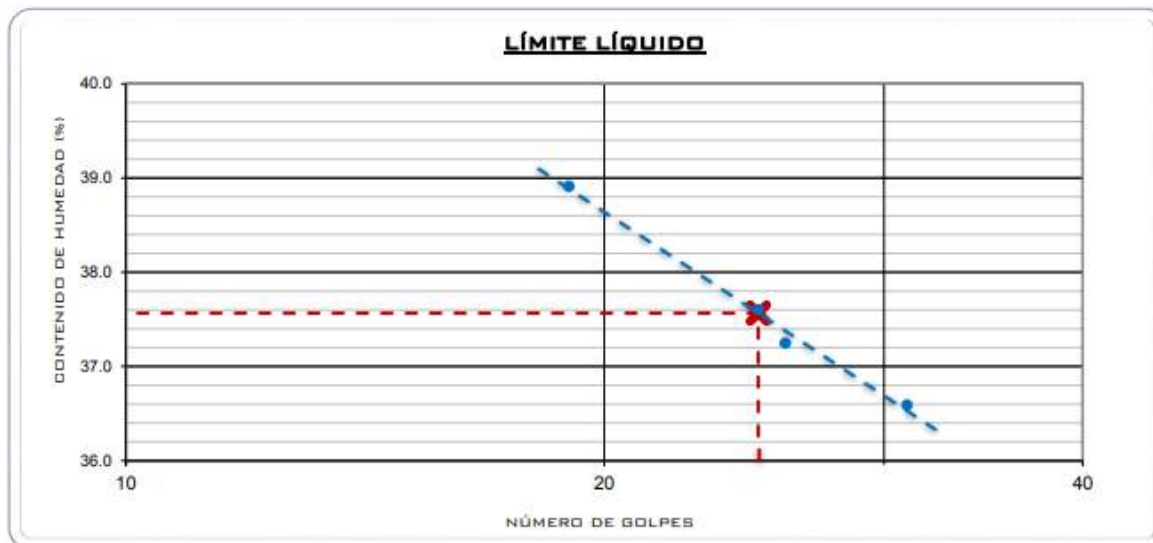


Tabla 37 Resultados Limite líquido C-3

<b>LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)</b>				
Número de Golpes	19	25	26	31
Peso del Contenedor (gr.)	21.01	20.97	20.91	20.88
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	32.53	32.57	32.59	32.65
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	29.30	29.40	29.42	29.50
Peso del Agua (gr.)	3.23	3.17	3.17	3.15
Peso del Suelo Seco (gr.)	8.29	8.43	8.51	8.62
Contenido de Humedad (%)	<b>38.9</b>	<b>37.6</b>	<b>37.3</b>	<b>36.6</b>

Fuente: Laboratorio Allpa

Figura 147 Límite líquido C-3



Fuente: Laboratorio Allpa

Tabla 36 Resumen de Límites de Atteberg C-3

<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA</b>			
Límite Plástico (%)	20	Índice de Plasticidad (%)	18
Límite Líquido (%)	38	Límite de Contracción (estimado) (%)	15

Fuente: Laboratorio Allpa



### c) Análisis de la prueba

Los resultados de las pruebas referentes a los Límites de Atteberg, nos muestran que el Índice de plasticidad de la muestra es del 18%.

### 3.6.1.6 Gravedad Específica

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

La gravedad específica es el peso unitario del material, dividido por el peso unitario del agua destilada a 4° e. Así, si se consideran solamente los granos del suelo, se obtiene G, como:

$$G_s = \frac{\gamma_{\text{material}}}{\gamma_{\text{agua a } 4^{\circ}\text{C}}}$$

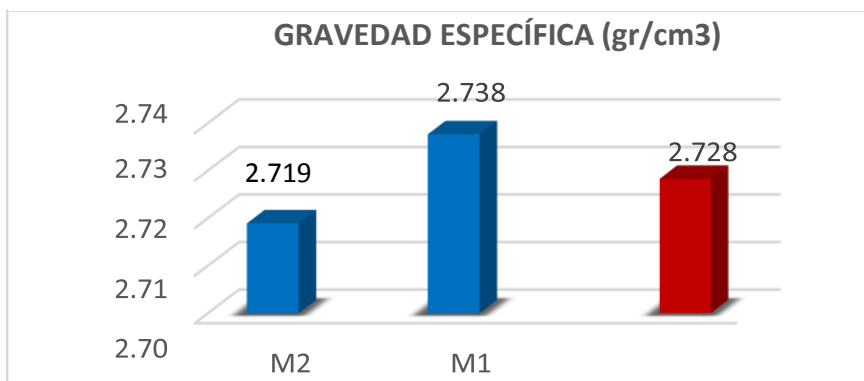
#### b) Diagramas

Tabla 38 Resultados de Gravedad específica C-3

MUESTRA C-3	M1	M2
Número de Picnómetro	2	2
Volumen del Picnómetro (ml)	500	500
Peso del Contenedor (gr.)	132.58	133.46
Peso del Contenedor + Muestra Seca (gr.)	200.30	199.01
Peso de la Muestra Seca (gr.)	67.72	65.55
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	712.52	711.34
Temperatura del Agua (°C)	16.0	15.4
Peso del Picnómetro + Agua (gr.)	669.73	669.75
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	42.79	41.59
Peso del Agua Desplazada (gr.)	24.93	23.96
Gravedad Específica a Temperatura de Ensayo (gr./cm <sup>3</sup> )	2.717	2.735
Factor de corrección por Temperatura	1.00074	1.00084
Peso Específico (gr./cm <sup>3</sup> )	2.719	2.738
Rango de los resultados* (gr./cm <sup>3</sup> )	0.019	

Fuente: Laboratorio Allpa

Figura 148 Gravedad específica C-3



Fuente: Laboratorio Allpa

Gravedad Específica Promedio (gr./cm<sup>3</sup>)

2.728

### c) Análisis de la prueba

La gravedad específica del suelo proveniente de la quebrada, es de 2.728 gr/cm<sup>3</sup>

A continuación, se presentan valores típicos de G<sub>s</sub> que pueden ser utilizados como guía para calibrar los resultados de ensayos de laboratorio:

Tabla 39 Valores típicos de gravedad específica

TIPO DE SUELO	G <sub>s</sub>
Arena	2.65-2.67
Arena limosa	2.67-2.70
Arcilla inorgánica	2.70-2.80
Suelos con micas o hierro	2.75-3.00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2.00

Fuente: (Bowles, 1981)

#### 3.6.1.7 Corte Directo

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para el ensayo de corte directo consolidado drenado, tenemos que calcular los esfuerzos, el primero debido a una carga vertical P<sub>v</sub>, y un esfuerzo cortante por la aplicación de una carga horizontal P<sub>h</sub>, los cuales se calculan de la siguiente forma:

$$\sigma_n = P_y/A$$



$$\tau = Ph/A$$

Donde:

**A:** Área nominal de la muestra

Estos esfuerzos satisfacen la ecuación de Coulomb:

$$r = c + \sigma n \tan \phi$$

El ensayo de corte directo simula el área de falla de un talud, para un esfuerzo normal dado.

Cuya fórmula, para una resistencia residual, es:

$$S = \sigma \tan \varphi$$

Que puede expresarse así:

$$S = \sigma \mu \vee Fr = \mu N$$

Siendo:

$S$  : Resistencia al corte

$\sigma$  : Esfuerzo normal

$\varphi$  : Ángulo de fricción

$\mu$  : Coeficiente de fricción

$Fr$  : Fuerza de fricción

$N$  : Fuerza normal

Por tanto, el coeficiente de fricción se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\mu = \tan \varphi$$



b) Diagramas tablas

Tabla 40 Resultados Generales Corte Directo C-3

MUESTRA	M01		M02		M03	
<b>Características Iniciales de la Muestra</b>						
Número de anillo	1		1		1	
Altura de la Muestra (cm)	2.20	2.22	2.10	2.18	2.18	2.14
Diámetro de la Muestra (cm)	5.05	5.14	5.08	5.12	5.05	5.09
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	45.1		43.7		43.6	
Peso de la Muestra Húmeda (gr.)	86.07		81.44		80.36	
<b>Características después de la Consolidación</b>						
Asentamiento (mm)	-0.02		-0.17		1.27	
Altura de la Muestra (cm)	2.21		2.16		2.03	
Diámetro o lado de la Muestra (cm)	5.11		5.11		5.11	
Área de la Muestra (cm <sup>2</sup> )	20.51		20.51		20.51	
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	45.4		44.2		41.7	
<b>Características después del Ensayo de Corte Directo</b>						
Asentamiento (mm)	0.02		-0.66		0.26	
Altura de la Muestra (cm)	2.210		2.224		2.008	
Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	45.3		45.6		41.2	
<b>Contenido de Humedad</b>						
Peso del Contenedor (gr.)	60.10		20.83		28.06	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	148.92		107.38		107.23	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	129.37		85.25		88.14	
Peso del Agua (gr.)	19.55		22.13		19.09	
Peso del Suelo Seco (gr.)	69.27		64.42		60.08	
Contenido de Agua Final (%)	28.2		34.4		31.8	
<b>Relaciones Gravimétricas de la Muestra</b>						
Densidad Húmeda Inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.910		1.863		1.843	
Contenido de Agua Inicial (%)	24.3		26.4		33.8	
Densidad Seca Inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.537		1.474		1.378	
Densidad Seca - consolidación (gr/cm <sup>3</sup> )	1.527		1.456		1.441	
Densidad Húmeda Final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.960		1.898		1.923	
Densidad Seca Final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.528		1.413		1.459	
Gravedad Específica (gr/cm <sup>3</sup> )	2.728					
Relación de Vacíos Inicial	0.774		0.851		0.980	
Grado de Saturación Inicial (%)	85.4		84.7		94.0	
Relación de Vacíos luego de consolidarse	0.786		0.874		0.894	
Relación de Vacíos Final	0.785		0.931		0.870	
Grado de Saturación Final (%)	98.1		100.6		99.7	

Fuente: Laboratorio Allpa



Tabla 41 Resultados corte directo C-3

ENSAYO DE CORTE DIRECTO								
Deformación Horizontal		Área Correg. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)			Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )		
(%)	(cm)		M01	M02	M03	M01	M02	M03
0.0	0.0000	20.51	0.81	2.36	3.50	0.039	0.115	0.171
0.1	0.0051	20.46	5.80	3.95	4.97	0.283	0.192	0.242
0.2	0.0102	20.40	8.86	5.43	5.80	0.432	0.265	0.283
0.3	0.0153	20.35	10.51	6.19	6.03	0.513	0.302	0.294
0.4	0.0204	20.30	11.76	6.84	5.68	0.573	0.334	0.277
0.5	0.0256	20.25	12.53	7.03	5.70	0.611	0.343	0.278
0.6	0.0307	20.20	13.74	7.58	5.94	0.670	0.369	0.290
0.7	0.0358	20.14	14.47	7.90	6.11	0.706	0.385	0.298
0.8	0.0409	20.09	15.31	7.98	6.43	0.746	0.389	0.314
0.9	0.0460	20.04	15.84	8.00	6.47	0.772	0.390	0.316
1.0	0.0511	19.99	16.35	8.49	6.52	0.797	0.414	0.318
1.2	0.0613	19.88	15.69	8.68	7.13	0.765	0.423	0.348
1.4	0.0715	19.78	17.08	8.51	6.50	0.833	0.415	0.317
1.6	0.0818	19.67	17.14	8.68	6.54	0.836	0.423	0.319
1.8	0.0920	19.57	17.77	9.43	6.62	0.867	0.460	0.323
2.0	0.1022	19.46	18.36	9.41	6.82	0.895	0.459	0.333
2.5	0.1278	19.20	18.69	9.78	7.17	0.911	0.477	0.350
3.0	0.1533	18.94	19.10	10.17	7.58	0.931	0.496	0.369
3.5	0.1789	18.68	19.30	10.19	7.56	0.941	0.497	0.368
4.0	0.2044	18.42	19.65	10.53	7.68	0.958	0.514	0.374
4.5	0.2300	18.16	19.83	10.80	7.84	0.967	0.527	0.382
5.0	0.2555	17.90	20.10	11.21	7.94	0.980	0.546	0.387
5.5	0.2811	17.64	20.24	11.15	7.88	0.987	0.543	0.384
6.0	0.3066	17.38	20.44	10.84	8.35	0.997	0.529	0.407
6.5	0.3322	17.12	20.46	11.98	8.31	0.998	0.584	0.405
7.0	0.3577	16.86	20.65	11.90	8.21	1.007	0.580	0.400
7.5	0.3833	16.61	20.87	11.72	8.35	1.018	0.571	0.407
8.0	0.4088	16.35	20.69	11.84	8.31	1.009	0.577	0.405
8.5	0.4344	16.09	21.02	11.98	8.58	1.025	0.584	0.418
9.0	0.4599	15.83	21.22	11.92	8.33	1.035	0.581	0.406
9.5	0.4855	15.58	21.28	12.29	8.35	1.038	0.599	0.407
10.0	0.5110	15.32	21.38	12.19	8.58	1.043	0.594	0.418
10.5	0.5366	15.07	21.30	12.72	8.45	1.039	0.620	0.412
11.0	0.5621	14.81	21.53	12.41	8.64	1.050	0.605	0.421
11.5	0.5877	14.56	21.28	12.39	8.49	1.038	0.604	0.414
12.0	0.6132	14.30	21.12	12.88	8.60	1.030	0.628	0.419
12.5	0.6388	14.05	22.99	12.55	8.72	1.121	0.612	0.425
13.0	0.6643	13.80	22.97	12.76	8.88	1.120	0.622	0.433
13.5	0.6899	13.54	22.67	12.90	8.86	1.105	0.629	0.432
14.0	0.7154	13.29	22.52	12.76	8.70	1.098	0.622	0.424
14.5	0.7410	13.04	22.69	12.72	8.90	1.106	0.620	0.434
15.0	0.7665	12.79	22.69	12.84	8.74	1.106	0.626	0.426
15.5	0.7921	12.55	22.67	12.80	8.94	1.105	0.624	0.436
16.0	0.8176	12.30	22.65	13.16	9.02	1.104	0.642	0.440
16.5	0.8432	12.05	22.67	13.10	9.02	1.105	0.639	0.440
17.0	0.8687	11.80	22.55	13.29	9.06	1.099	0.648	0.442
17.5	0.8943	11.56	22.46	13.08	8.86	1.095	0.638	0.432
18.0	0.9198	11.32	22.67	13.47	8.92	1.105	0.657	0.435
18.5	0.9454	11.07	22.38	13.27	8.90	1.091	0.647	0.434
19.0	0.9709	10.83	22.26	13.47	9.29	1.085	0.657	0.453



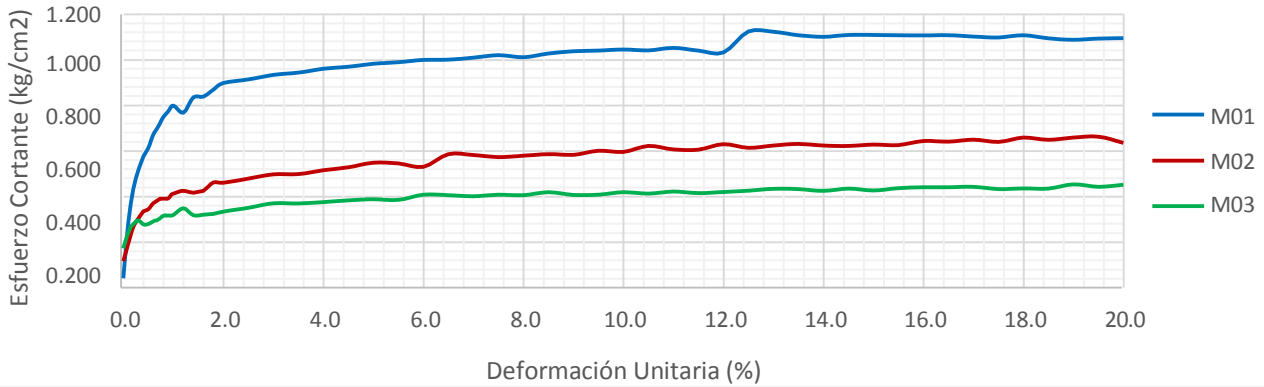


19.5	0.9965	10.59	22.36	13.55	9.06	1.090	0.661	0.442
20.0	1.0220	10.35	22.40	13.00	9.25	1.092	0.634	0.451

*Fuente: Laboratorio Alpa*



Figura 149 Esfuerzos cortantes vs deformación



Fuente: Laboratorio Allpa

Tabla 42 Esfuerzo Cortante Crítico

Muestra	M01	M02	M03
Carga inicial en la muestra (kg)	4.073	4.073	4.073
Carga adicional - Pesas (kg)	8	4	2
Múltiplo (5/10)	5	5	5
Carga Axial	44.07	24.07	14.07
Esfuerzo Normal (kg/cm <sup>2</sup> )	2.149	1.174	0.686
Esfuerzo Cortante Pico (kg/cm <sup>2</sup> )	1.12	0.66	0.44
Esfuerzo Cortante Crítico (kg/cm <sup>2</sup> )	1.09	0.65	0.45

Fuente: Laboratorio Allpa

Figura 150 Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal

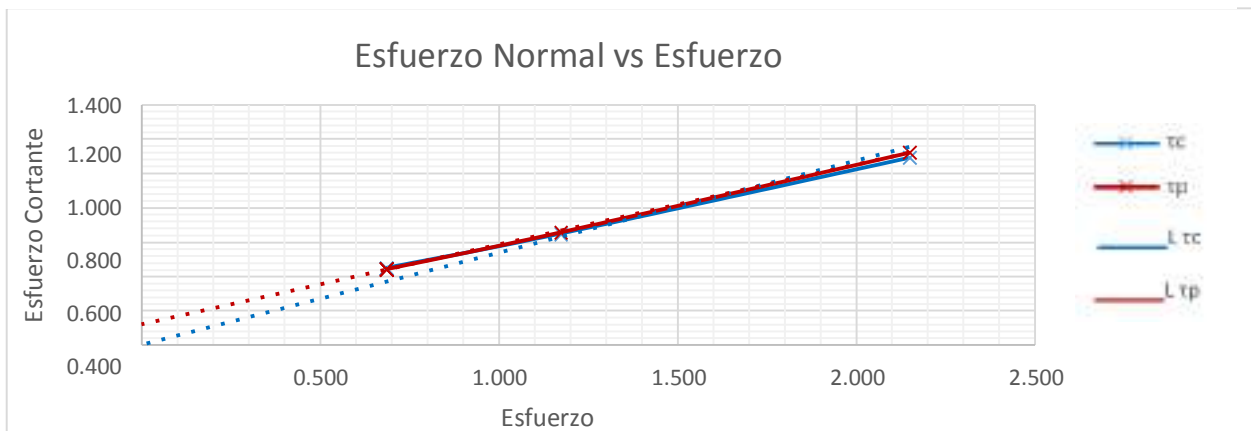


Tabla 43 Resumen valores Corte Directo C-3

Valores Pico	
Pendiente $\sigma$ vs $\tau_c$ Pico	0.464
Ángulo de Fricción Pico (°)	24.9
Cohesión Pico (kg/cm <sup>2</sup> )	0.121
Valores Críticos	
Pendiente $\sigma$ vs $\tau_c$ Crítica	0.536
<b>Ángulo de Fricción Crítica (°)</b>	<b>28.2</b>
Cohesión Crítica (kg/cm <sup>2</sup> )	0.000

Fuente: Laboratorio Allpa



### c) Análisis de la prueba

Con los resultados de la prueba de Corte Directo, podemos apreciar el ángulo de fricción crítico  $28.2^\circ$ , por lo tanto, su respectivo coeficiente de fricción es 0.536, que corresponde a la calicata número 3 y será el dato utilizado en el software RAMMS.

### 3.6.1.8 Procesamiento con el software RAMMS: Debris Flow

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Procedimos a procesar todos los datos obtenidos anteriormente, en el software RAMMS Debris Flow, los cuales se presentan a continuación en forma ordenada:

1. Abrimos el programa Ramms Debris Flow, el cual tiene el siguiente ícono de inicio:

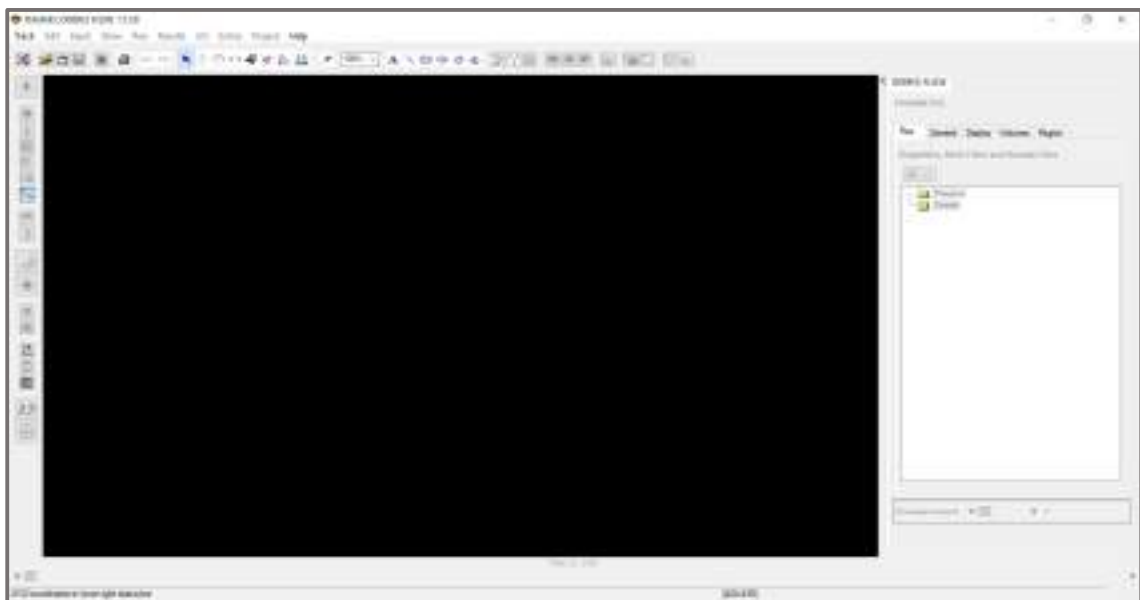
Figura 151 Ícono de inicio RAMMS



Fuente: Captura de pantalla del software

La siguiente imagen nos muestra la interface que tiene el programa una vez abierto.

Figura 152 Interface del software RAMMS



Fuente: Captura de pantalla del software







Las herramientas más importantes son las siguientes:



## Menú Principal









Track Edit Input Show Run Results GIS Extras Project Help

-  En este comando, se puede ingresar el DEM, y archivo ya creados, si fuese el caso.
-  Esta opción, se utiliza para cambiar la interface del programa.
-  Aquí podemos editar la altura de caída que puede tener la quebrada.
-  Este comando es el más importante, aquí se colocan todos los datos hidrológicos y de suelo antes estudiados.
-  Nos brinda los resultados del modelado, tal como volumen, velocidad, momento, etc.
-  Este comando nos permite exportar el modelo a Shapefiles y poder interactuar con él, en diferentes softwares.

## Menú de herramientas

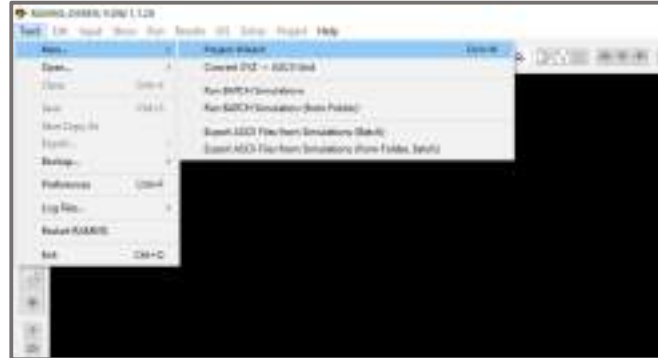


-  Esta herramienta, nos sirve para rotar el DEM, según nuestra conveniencia.
-  Esta herramienta, permite desplazarnos en el DEM.
-  Dibujar el release área, o área de donde se originará el flujo de detritos.
-  Dibujar el área de dominio, delimita el área donde sucederá todo el fenómeno natural.
-  Dibuja un perfil longitudinal, una vez modelado el fenómeno natural, en un punto determinado.
-  Edita el release área.



2. Comenzamos ingresando el DEM, en formato ASCII, al programa siguiendo los pasos: TRACK > NEW... > PROJECT WIZARD

Figura 153 Ejecución del software RAMMS



Fuente: Captura de pantalla del software

En la ventana que se ve a continuación, colocamos el nombre y el lugar con el que se guardará el proyecto.

Figura 154 Ventana de entrada de datos



Fuente: Captura de pantalla del software



Al presionar NEXT, debemos seleccionar el DEM, en formato ASCII, e indicamos la resolución a la cual queremos trabajar, en nuestro caso, fue de 0.5m.

Figura 155 Entrada de archivo ASCII



Fuente: Captura de pantalla del software

Finalmente, el programa calculó las coordenadas del levantamiento, y crea el proyecto, en nuestro caso denominado “Flujo de detritos”.

Figura 156 Calculo de coordenadas

Figura 157 Modelo de flujo de detritos creado



Fuente: Captura de pantalla del software

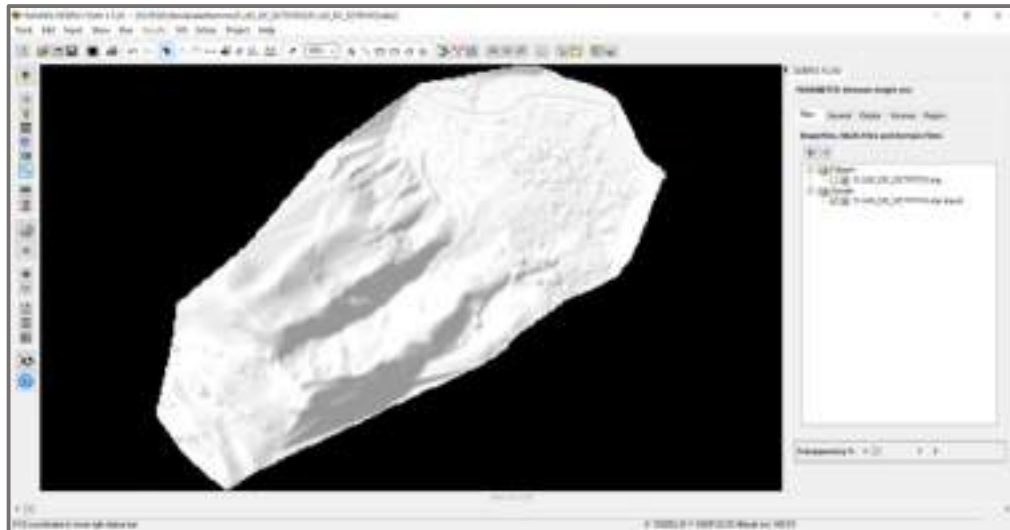


Fuente: Captura de pantalla del software




- Observamos que el DEM, se creó en el programa, y empezamos a dibujar los parámetros.

Figura 158 Creación del Release Area



Fuente: Captura de pantalla del software

- El primer paso que se realizó, fue dibujar el “AREA RELEASE”  , la cual fue trazada según la inspección visual en campo, y guiada mediante las grietas que se encuentran en todo el perímetro señalado.

Presionamos el clic secundario para terminar el trazado, y nos aparece una ventana, donde se guardó, bajo el nombre “RELEASE AREA HATUNHUAYCO”.


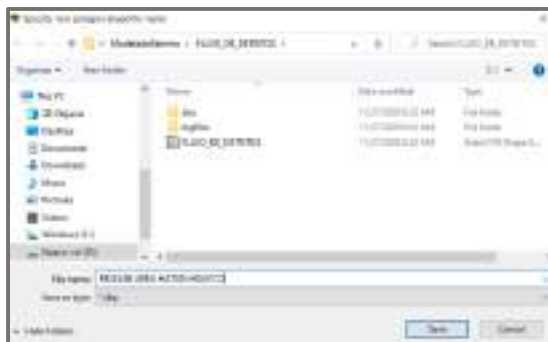
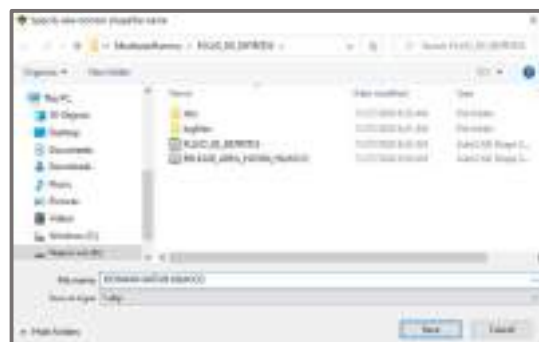
Se siguió el mismo procedimiento para crear el DOMINIO del modelamiento, mediante la herramienta  y se creó el dominio con el nombre “DOMINIO HATUNHUAYCO”.

Figura 160 Ventana creación de release area



Fuente: Captura de pantalla del software

Figura 159 Ventana creación de dominio



Fuente: Captura de pantalla del software






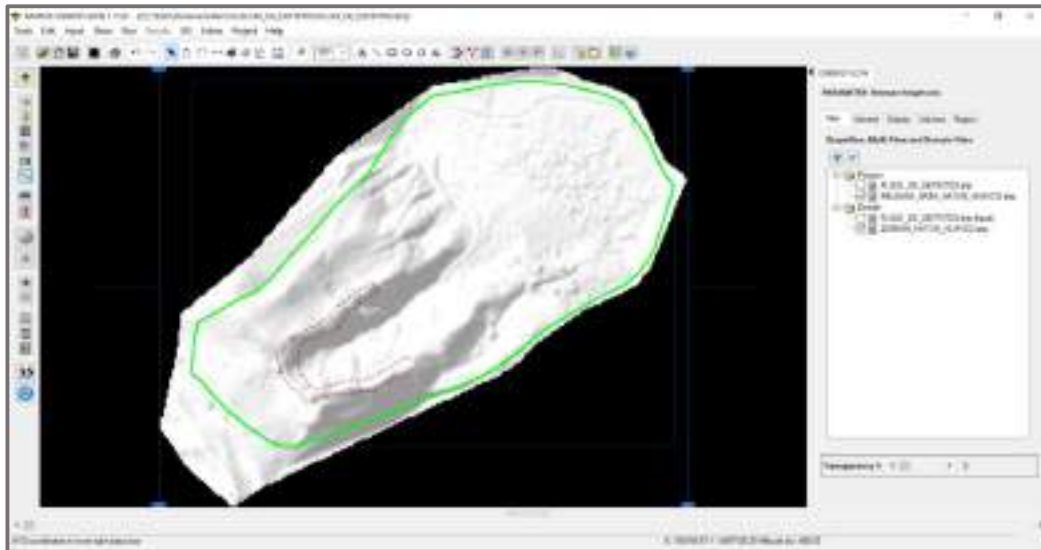
5. En la siguiente figura se observa, el dominio y el Release Area creados, y comenzamos a editar algunos parámetros necesarios para el modelamiento. Primero iniciamos con la herramienta  EDIT RELEASE AREA.

Figura 161 Visualización de release area y dominio



Fuente: Captura de pantalla del software

En el siguiente cuadro, un dato importante a ser tomado en cuenta es la altura del área de la quebrada, en el punto de las grietas observadas en campo, el cual es de 2m.

Figura 162 Parámetros de release area

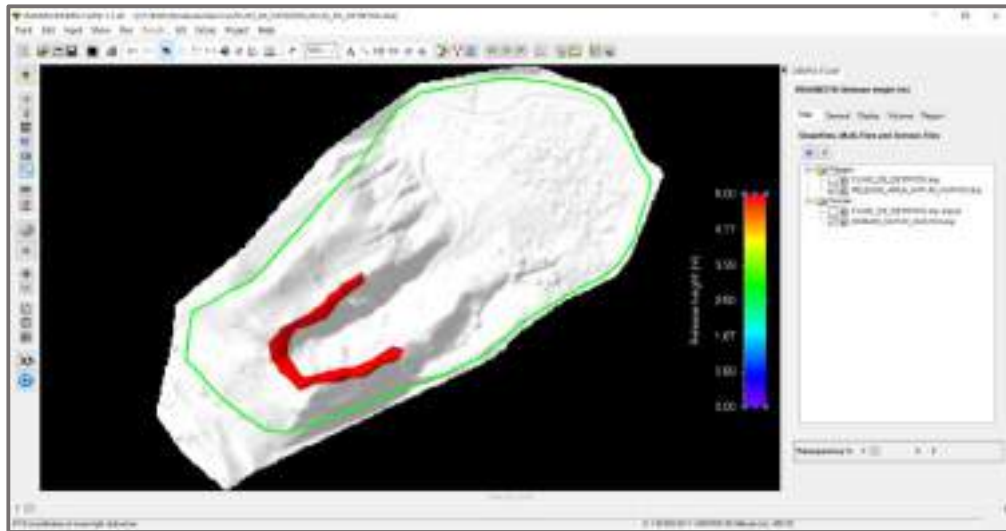


Fuente: Captura de pantalla del software

6. Observamos que se creó de forma correcta el RELEASE AREA, ya que la zona se rellenó de un color rojo sólido.



Figura 163 Visualización con los parámetros creados



Fuente: Captura de pantalla del software

7. Procedemos a usar la opción del Menú Principal “RUN”



Enseguida aparece un cuadro de dialogo, donde daremos datos de entrada, obtenidos en todos los ensayos de laboratorio.

Figura 164 Pestaña de datos Generales



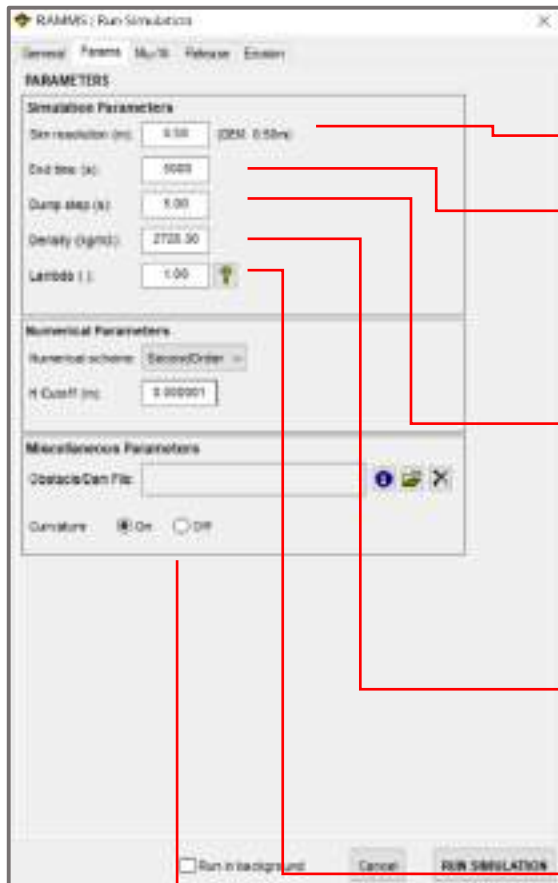
Fuente: Captura de pantalla del software



La primera pestaña GENERAL, nos aseguramos que aparezca la información de nuestro archivo, tanto del DEM, RELEASE AREA y DOMINIO.

En la segunda pestaña PARAMS, se especifican los datos de entrada:

Figura 165 Parámetros de modelación



Resolución (m): 0.5m

Tiempo final de simulación (s): 5000s. (Debe ser mayor que el tiempo final t2 del hidrograma)

Paso de descarga (s): Define la resolución de la animación del modelamiento, no tiene ningún efecto en los resultados.

Densidad (kg/m<sup>3</sup>): Densidad del suelo de la quebrada, en nuestro caso 2728.00 kg/m<sup>3</sup>

Lambda: El software recomienda mantener el valor predeterminado para el coeficiente de presión de la tierra Lambda (1.0). El parámetro Lambda modifica la conducción de gradientes de presión el flujo. Los resultados con un Lambda distinto de 1.0 deben comprobarse cuidadosamente y no se recomiendan.

Fuente: Captura de pantalla del software

H Cutoff (m): El programa recomienda mantener el valor predeterminado para el límite H de altura nula (0,000001 m). Se eliminan las alturas de la simulación para minimizar los errores numéricos.



Figura 166 Factores Mu y Xi



Table 5.3: Suggestions for setting the viscous-turbulent friction parameter $\xi$ .		
	Granular flow (solid-dominated)	Mud flow (fluid-like)
Viscous turbulent friction, $\xi$ [ $m/s^2$ ]	100-200 (*)	200-1000 (*)

Xi (m/s<sup>2</sup>): Bartelt et al. (2017) indican que la calibración de la fricción turbulenta Xi debe comenzar como Xi: 200m/s<sup>2</sup>. Éste valor se modifica según el tipo de fluido: Si el fluido se comporta más como fangos, el modelo sugiere subir su valor entre 200 – 1000; si se comporta como flujo granular, el cual es el caso de la zona de investigación, el modelo sugiere modificar este valor entre 200 y 100.

Mu: Tangente del ángulo interno de corte: 0.54°

Fuente: Captura de pantalla del software

Figura 167 Datos hidrológicos



Dirección del flujo (°): Dirección del flujo de detritos en función a la horizontal: 39°

Gráfica del hidrograma unitario introducido en la tabla inferior.

Introducir los datos del hidrograma unitario, calculados anteriormente

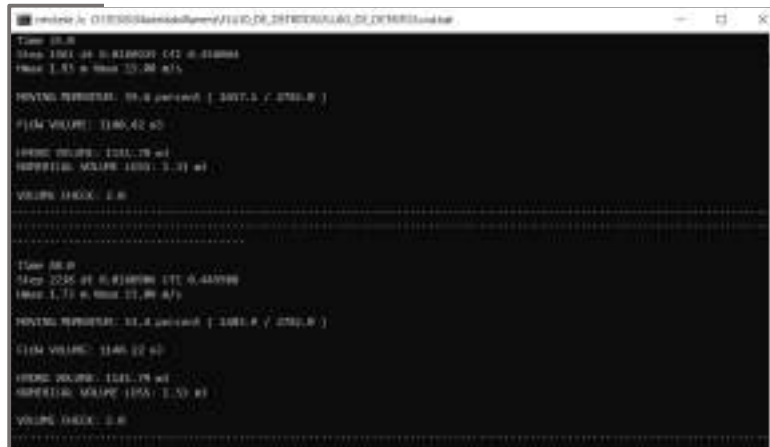
Correr modelo

Fuente: Captura de pantalla del software



8. El proceso de cálculo del modelo, demorará algunas horas, esto dependiendo de la resolución otorgada en el programa, en nuestro caso, 0.5m. Aparece una ventana emergente de color negro, indicando el proceso.

Figura 168 Ventana de procesamiento del modelo



Fuente: Captura de pantalla del software

9. Una vez terminado el proceso computacional, aparece otra ventana emergente de color blanco indicando el resumen del proceso que siguió el programa para modelar los datos de entrada.

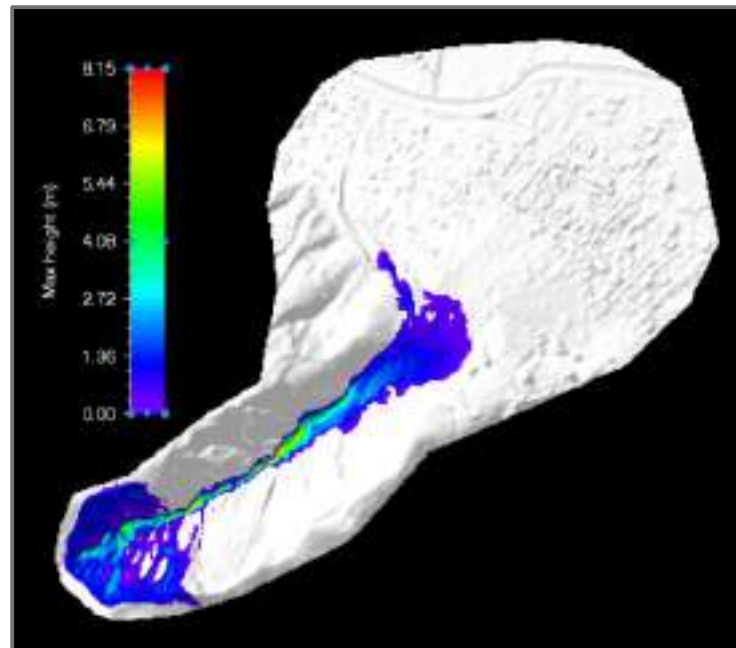
Figura 169 Ventana de resumen del modelamiento



Fuente: Captura de pantalla del software

## 10. Obtención del modelo de flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco.

Figura 170 Modelo de flujo de detritos culminado



Fuente: Captura de pantalla del software

### c) Análisis de la prueba

El modelo de flujo de detritos que nos ofrece el software RAMMS Debris Flow, nos da como alcance varios resultados a través de imágenes en la simulación, que son mostradas a continuación:

#### 3.6.1.8.1 Volumen del flujo de detritos

Figura 171 Ventana de volúmenes totales



Fuente: Captura de pantalla del software

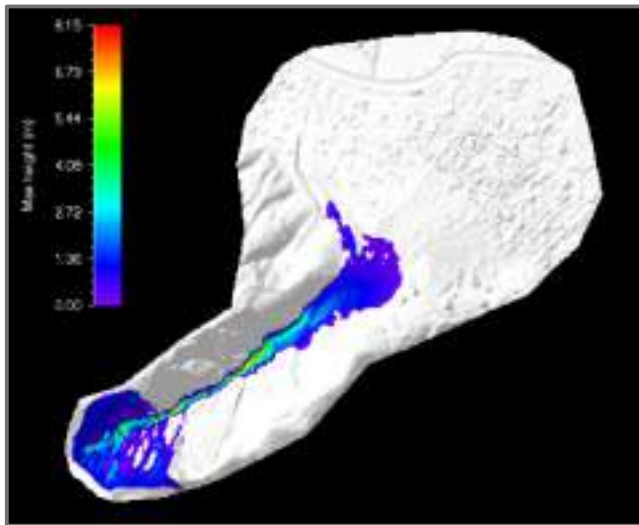
El dato resaltado, nos muestra el volumen de flujo de detritos, el cual es  $28\,060.5\text{m}^3$





### 3.6.1.8.2 Alturas Máximas

Figura 172 Gráfico de alturas máximas



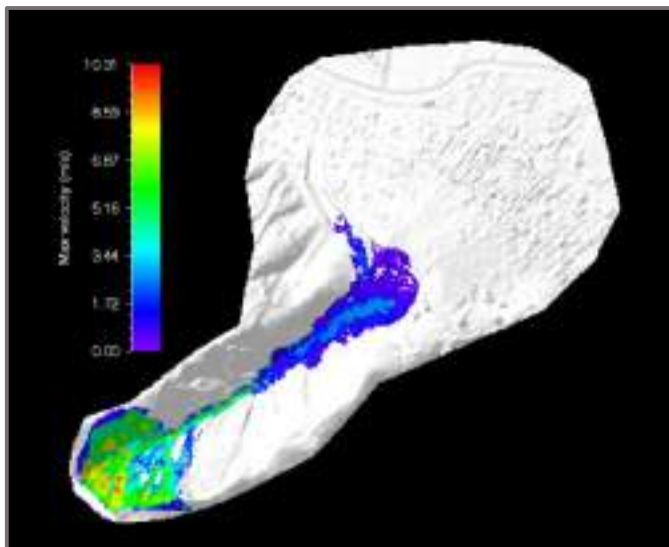
Fuente: Captura de pantalla del software

La altura máxima alcanzada por el flujo de detritos es uno de los resultados arrojados por el programa, lo cual es muy importante, ya que podemos ver el posible daño que va a ocasionar a la A.P.V Ferroviarios, ubicada en la parte superior derecha de la imagen. Como podemos observar, el flujo de detritos alcanza una

pequeña parte de las viviendas de la zona, sin embargo, sí puede ocasionar daños materiales importantes a éstas viviendas. La altura máxima que muestra el programa, es de 8.15m.

### 3.6.1.8.3 Velocidad Máxima

Figura 173 Gráfica de velocidades máximas



Fuente: Captura de pantalla del software

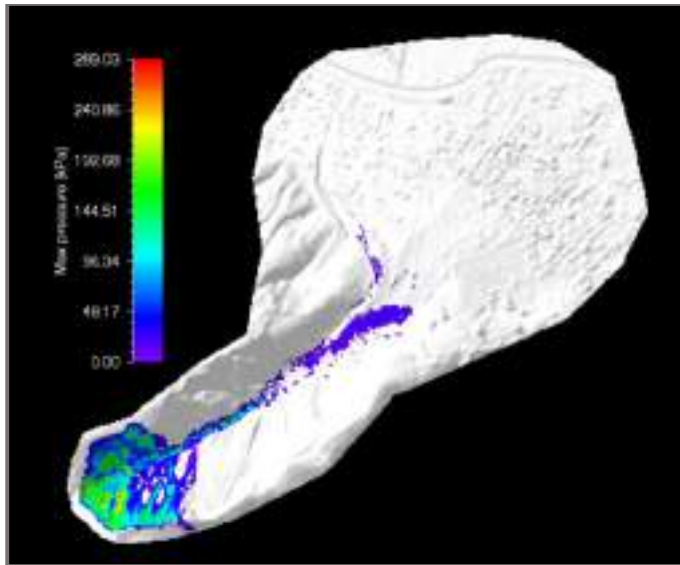
Como vemos en la imagen, se muestra diferentes velocidades que alcanza el flujo de detritos, las máximas velocidades corresponden al momento en el que se originaría el fenómeno, con velocidades que oscilan entre 5.16 m/s hasta alcanzar, en su punto más crítico a velocidades de 10.31 m/s, sin embargo, en la parte

inferior de la quebrada, observamos que el flujo baja su velocidad, alcanzando valores aproximados de 1.72 m/s.



### 3.6.1.8.4 Máxima Presión

Figura 174 Gráfica de máxima presión



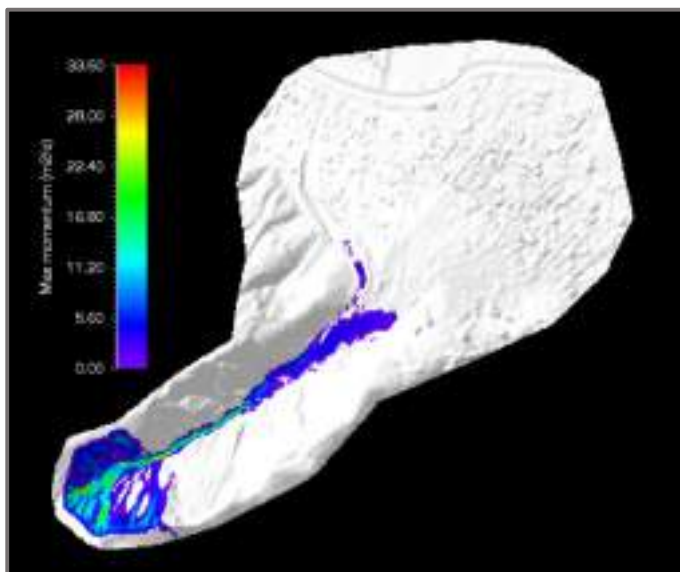
Fuente: Captura de pantalla del software

Como vemos en la imagen, se muestra diferentes presiones que alcanza el flujo de detritos, las máximas presiones corresponden al momento en el que se originaría el fenómeno al igual que ocurre con las velocidades, estos primeros valores de presiones, oscilan entre 192kPa hasta alcanzar, en su punto más crítico presiones de 289.03kPa, sin embargo, en la parte inferior de la quebrada, observamos que el flujo baja tanto

su presión como la velocidad, alcanzando valores aproximados de 48.17kPa.

### 3.6.1.8.5 Máximo Momento

Figura 175 Gráfica de momento máximos momentos

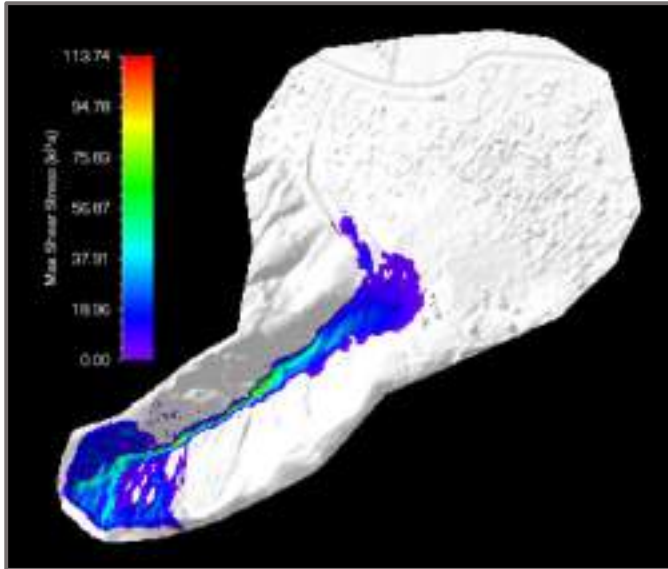


Fuente: Captura de pantalla del software

Esta figura nos muestra el momento máximo en cada punto del recorrido del flujo de detritos, el cual alcanza en dos puntos críticos, un valor de 33.60 m<sup>2</sup>/s.

### 3.6.1.8.6 Máximo Corte

Figura 176 Gráfica de máximo corte

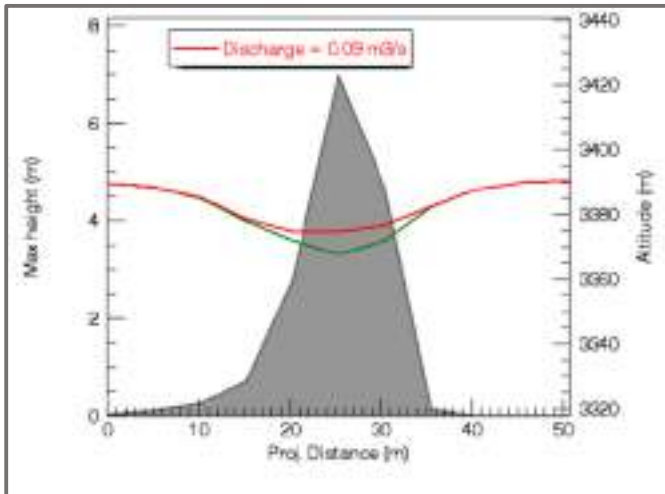


Fuente: Captura de pantalla del software

Esta figura nos muestra el corte máximo en cada punto del recorrido del flujo de detritos, el cual alcanza en dos puntos críticos, un valor de 113.74kPa.

### 3.6.1.8.7 Corte transversal del flujo modelado

Figura 177 Corte transversal del flujo

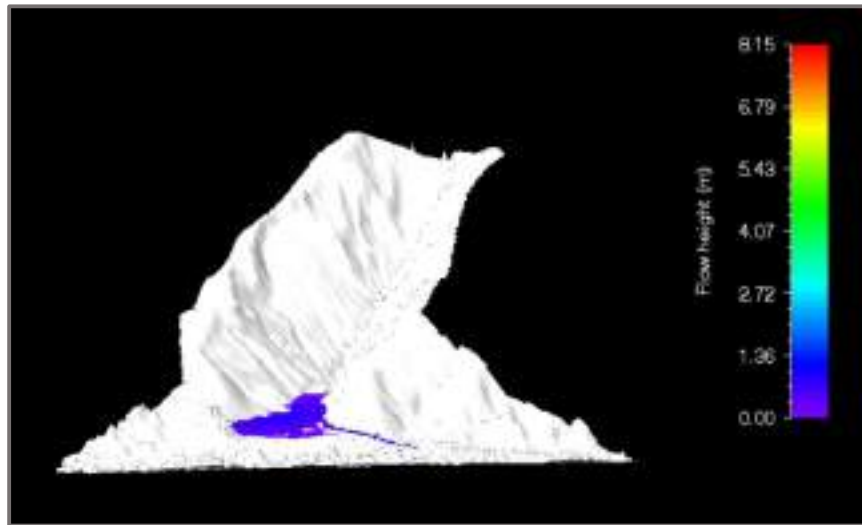


Fuente: Captura de pantalla del software

La figura nos muestra una sección transversal del flujo de detritos, el área gris representa la altura del flujo, mediante la línea roja la altura del flujo multiplicado por 50, para mejorar su visibilidad, y mediante la línea verde, la topografía del terreno.



Figura 178 Vista en 3D del flujo modelado



Fuente: Captura de pantalla del software

Figura 179 Área ocupada por el flujo de detritos



Fuente: Elaboración propia



Tabla 44 Resumen de resultados RAMMS

<b>Resumen de resultados obtenidos en RAMMS</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Valores máximos</b>	<b>Unidad</b>
<b>Área</b>	9.46	Ha.
<b>Volumen</b>	28060.5	m <sup>3</sup>
<b>Altura</b>	8.15	Metro
<b>Velocidad</b>	10.31	m/s
<b>Presión</b>	289.03	kPa
<b>Momento</b>	33.6	m <sup>2</sup> /s
<b>Corte</b>	113.74	kPa

*Fuente: Elaboración propia*



## Capítulo IV: Resultados

Los resultados encontrados, necesarios para analizar los objetivos de la investigación, son los siguientes:

- R1:** Según la matriz aplicada por INDECI, la intensidad del flujo de detritos en la zona afectada es Alta, mostrando un volumen de flujo de detritos de  $28\ 060.5\text{m}^3$ . (Ver tabla 05 Intensidad de deslizamientos).
- R2:** La precipitación máxima que genera un flujo de detritos, se halló para 100 años de periodo de retorno, la cual según el hietograma insertado es de 7.52 mm (Ver Tabla 25: Hietograma para periodo de retorno de 100 años), y según el proceso en el software HEC-HMS nos da como caudal máximo de  $2.6\text{m}^3/\text{s}$  (Ver Tabla 26: Hidrograma Unitario para periodo de retorno de 100 años).
- R3:** El estudio de suelos, nos da como resultado, un suelo de tipo SP: Arena pobremente graduada (Ver Figura 146: Clasificación de suelos SUCS), lo cual indica que existe una graduación uniforme en los tamaños de las partículas.
- R4:** En los factores topográficos, según nuestro mapa de pendientes, la quebrada tiene pendientes del orden 80% - 100% (Ver Figura 123: Plano de Pendientes Hatun Huayco)

## Capítulo V: Discusión

### a) Contraste de resultados con referentes del marco teórico

- En el marco teórico, enfocamos la descripción del problema basándonos en la clasificación de peligros altos de ocurrencia de huaycos, propuesta por la Municipalidad del Cusco, las cuales corresponden a las cabeceras de las diferentes quebradas; señalando que las intensas precipitaciones pluviales, con valores por encima de lo normal, producen pequeños deslizamientos de dimensiones métricas, mencionando así, a las quebradas de Saphy, Huamancharpa, Saqramayo, Hatunhuayco y Atochuachana.

En la investigación podemos afirmar que lo expuesto anteriormente, es cierto, y es demostrado mediante los resultados obtenidos, tanto los factores topográficos, hidrológicos como geológicos de la quebrada Hatun Huayco,



hacen que ésta se encuentre es un medio natural susceptible a sufrir huaycos y afectar de ésta manera a la zona aledaña de la A.P.V. Ferroviarios.

- Según Oldrich Hungr, el flujo de detritos, como su nombre lo indica es un flujo muy rápido y extremadamente rápido de detritos saturados que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada y pueden alcanzar velocidades de 20 m/s.

En nuestra investigación, el flujo de detritos que se daría, tiene una velocidad máxima de 10.31m/s, estando dentro de los parámetros que definen a un flujo de detritos.

- Según (Takahashi, 1991), los flujos de detritos corresponden a una masa de agua o mayormente arcillosa, siendo capaces de recorrer distancias de 200m a 10 km.

En nuestra investigación, la clasificación de suelos según el método SUCS, lo clasifica como Arena Pobremente Graduada; además recorre una distancia de 1500m, lo cual está dentro de los parámetros que definen al flujo de detritos.

- Algunos de los factores principales para la ocurrencia de flujo de detritos, son las pendientes iguales o superiores a 25%, la escasez de vegetación, hoyas compatibles con la posibilidad de producir la saturación de los detritos y rocas expuestas a un equilibrio limite, mientras que la lluvia sería un factor detonante.

En la investigación podemos afirmar dicha exposición, puesto que hemos estudiado los factores condicionantes del flujo de detritos y hemos observado que la pendiente es un factor muy relevante, en nuestro caso es del orden de 80% - 100%, también observamos escasez de vegetación, y la presencia de precipitaciones recurrentes; todos estos efectos señalados hacen factible la ocurrencia de tal desastre natural.

- La depositación ocurre por la disminución de la pendiente, aumento del ancho del canal o la presencia de obstáculos que aumenten la resistencia al flujo. Generalmente, los flujos de residuos corren a lo largo de quebradas estrechas y cuando encuentran un área más amplia, tratan de detenerse, formando abanicos de depositación, los cuales pueden sepultar áreas relativamente extensas.



En los resultados del modelamiento, se puede observar que ésta teoría es comprobada, ya que, a lo largo de la quebrada, la velocidad del flujo es alta de 10.31m/s, mientras que cuando el flujo encuentra un área más grande, disminuye a valores de 1.72 m/s – 0 m/s.

## b) Interpretación de resultados encontrados en la investigación

Para llegar a las conclusiones expuestas en la investigación, se realizaron varias pruebas de laboratorio de mecánica de suelos, además del uso de vehículos aéreos no tripulados, y numerosos softwares, cuyo funcionamiento, nos dieron parámetros, que serán expuestos a continuación:

**PRIMERO:** En el levantamiento fotogramétrico, se levantaron 284.57 hectáreas, con un total de 1226 fotografías aéreas, en 10 horas de trabajo en campo, lo cual nos da un buen rendimiento en comparación de otros métodos más tradicionales de topografía.

La pendiente encontrada según el proceso explicado, favorece la ocurrencia de un evento de tal magnitud, y ésta varía entre el 80% al 100%, clasificándola como pendiente muy escarpada ( $>45^\circ$ , abrupta)

**SEGUNDO:** El caudal máximo hallado en el software HEC - HMS es de 2.6 m<sup>3</sup>/s bajo un periodo de retorno de 100 años.

**TERCERO:** Los límites de Atteberg, nos dan como resultado Límite líquido 38%, Límite plástico 20% y por lo tanto un Índice de Plasticidad del 18%. Ésta prueba fue inicialmente realizada para servir como complemento a la clasificación de suelos, sin embargo, no fue necesaria su aplicación, debido al tipo de suelo encontrado.

El contenido de humedad de la muestra fue de 18.33%; la gravedad específica, nos da un resultado de 2.728, la cual, según Bowles, es un tipo de Arcilla Inorgánica; el ángulo de fricción es de 28.2°. En la prueba de granulometría, según la clasificación de suelos SUCS, se obtuvo un suelo de tipo SP (Arena pobremente graduada). El tipo de suelo, puede tener variaciones a lo largo de la quebrada, por tratarse de la formación geológica Kayra, la cual está geológicamente constituida por areniscas





feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas, según el estudio en el componente de gestión de riesgos de la Municipalidad Provincial del Cusco, la parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y micro conglomerados con clastos volcánicos y cardíticos de un medio fluvial altamente entrelazado.

**CUARTO:** Los resultados del software RAMMS DebrisFlow, modelan un flujo de detritos que ocupa 9.46 hectáreas, alcanzando valores máximos de altura de 8.15m, velocidad 10.31m/s, presión 289.03kPa, momento 33.60 m<sup>2</sup>/s y corte 113.74 kPa.

En la quebrada Hatun Huayco, se puede originar un huayco, con un caudal de 2.6 m<sup>3</sup>/s, bajo un periodo de retorno de 100 años; que aproximadamente cubriría un área de 9.46 hectáreas, alcanzando valores máximos de altura 8.15m, velocidad 10.31m/s, presión 289.03kPa.

El software RAMMS actualmente es utilizado por el IMA para calcular posibles eventos futuros en fenómenos naturales, tipo aluviones, huaycos, inundaciones, etc; sin embargo, no se cuenta con un número suficiente de equipos para poder evaluar más zonas vulnerables.

### c) **Comentario de la demostración de la hipótesis**

Nuestra hipótesis general afirma que: “El análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, muestra que es susceptible a la ocurrencia de un flujo de detritos de intensidad alta”, lo cual, mediante nuestra investigación fue estudiado mediante la caracterización de tres factores relevantes: Hidrológicos, topográficos y geológicos; los cuales a su vez nos dieron diversos parámetros de estudio, enfocados en la influencia de éstos en el flujo de detritos, para posteriormente servir de datos de entrada en un software computacional conocido y modelar el flujo de detritos, identificando la zona que es susceptible a ser afectada por el deslizamiento, dándonos como respuesta el volumen en el modelamiento, siendo éste de gran escala, pudiendo afectar de manera sustancial a las estructuras vecinas de la zona, así como a la estructura vial presente.



**d) Aporte de la investigación**

Alrededor del mundo, se han desarrollado metodologías que permiten prevenir fenómenos naturales; sin embargo, en nuestro medio, éste tipo de prácticas es aún deficiente, por éste motivo, queremos dar relevancia a la metodología usada en nuestra investigación, que fue inspirada en diversos estudios de la misma índole en nuestro medio, y que, gracias a la experiencia de diversos profesionales, pudo ser concluida. Por otro lado, otra contribución de la investigación, radica en la problemática de la carencia de equipos de última generación y el desconocimiento de nuevos softwares, es así que, queremos incentivar el uso más tecnología digital para realizar trabajos, que antiguamente se hacían de manera tradicional, permitiéndonos alcanzar valores elevados de precisión y rendimiento; además resaltando la importancia en el constante aprendizaje que nos otorga la globalización y la libre búsqueda de conocimiento.

Nuestra labor, como ingenieros civiles, es convertir nuestro medio, en un ambiente seguro, donde la comunidad pueda desarrollarse integralmente, cuyas estructuras, ante cualquier evento extremo, eviten pérdidas de vidas, aseguren la continuidad de los servicios y minimicen los daños en las estructuras aledañas. Es bajo ésta filosofía, que nosotros encontramos la importancia de realizar éste tipo de proyectos donde se analizan diferentes parámetros pertenecientes a nuestro medio, que en nuestro caso es una quebrada que está susceptible a activarse, con el fin de prevenir las consecuencias fatales que esto traería consigo. Si nuestra ciudad contara con los medios suficientes para adquirir y brindar mayor tecnología al sector público, esto conseguiría que las autoridades competentes tomen las decisiones gerenciales más convenientes para salvaguardar la vida de las personas e incluso mejorar el plan urbano futuro.

**e) Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación**

En nuestra investigación, tuvimos un largo proceso en la búsqueda de información que nos ayude a llegar a nuestra meta, para lo cual, consultamos gran variedad de



softwares, que sean capaces de modelar un flujo de detritos en nuestro medio, a continuación, enlistamos la serie de softwares y temas nuevos adquiridos:

**PRIMERO:** El flujo de detritos, fue un tema nuevo para nosotros, ya que, en la formación académica universitaria, no está determinada la inclusión de algún curso exclusivo que sea referente a desastres naturales, consideramos que éste es un gran campo de investigación en la ingeniería civil.

**SEGUNDO:** El vuelo de vehículos aéreos no tripulados, sin lugar a duda, fue un gran reto, desde el hecho de entender cómo funciona la fotogrametría aérea, así mismo lo que conlleva hacer este tipo de trabajos, es decir, el proceso de restitución y todos los softwares que lo involucra (Agisoft Metashape, Arc GIS, Global Mapper, etc).

**TERCERO:** La utilización de software involucrado en el área hidrológico, que nos amplíe los conocimientos y otorgue resultados confiables. El software HEC HMS, es utilizado en el sector público de nuestra ciudad, y es considerado como un aliado a la hora de conseguir datos de caudales de forma eficiente y exacta.

**CUARTO:** El software más importante en nuestra investigación, sin lugar a duda es RAMMS DEBRIS FLOW, el cual nos dio un gran reto en entender su mecanismo, con muchas pruebas y fallas en los modelamientos anteriores; sin embargo, una vez conseguidos todos los parámetros y procesos respectivos, nos da resultados pertinentes.



## Glosario

**AASHTO:** Es la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.

**A.P.V.:** Son vecindarios nuevos que no cumplen con todos los servicios de saneamiento básico y las siglas significan Asociación pro vivienda.

**ARCGIS:** ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

**ASTM:** American Society of Testing Materials.

**Avenidas:** Movimientos de material que tienen un flujo definido que ocurren eventualmente.

**CENEPRED:** Es el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, que se encarga de salvaguardar a las personas y cosas materiales de riesgos naturales y antrópicos.

**CURVAS IDF:** Una curva IDF o de Intensidad-Duración-Frecuencia es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa.

**DEM:** Modelo digital de elevación, archivo en formato ráster que contiene información de altitud.

**Divortium aquarum:** Divisoria de aguas que define los límites de una cuenca hidrográfica.

**ENOS:** El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural que implica temperaturas oceánicas fluctuantes en el Pacífico ecuatorial.

**GIS:** Siglas, que en inglés significan “Geographic Information System” o sistemas de información geográfica.

**GPS:** Siglas que en inglés significan “Global Positioning System” o Sistemas de información Geográfica en español.

**Hietograma:** Gráfico, de la precipitación caída en intervalos de tiempo durante cierto período, que se establece según el tamaño de la cuenca; puede abarcar un día completo, o incluso un año, pero generalmente se limita a la duración de una tormenta, donde el



área comprendida entre el hietograma y los dos ejes de coordenadas representa la precipitación total recibida en el período.

**INDECI:** Siglas, que significan Instituto Nacional de Defensa Civil.

**INEI:** Siglas, que significan Instituto Nacional de Estadística e Informática.

**INGEMMET:** Organismo Público Técnico Especializado del Sector Energía y Minas del Perú.

**Imagen Satelital Google Earth:** Imágenes satelitales de distribución gratuita proveniente del servicio Landsat, que se encuentran georreferenciadas y disponibles principalmente en la plataforma del programa Google Earth o Google Earth Pro.

**Jarillones:** Obras civiles, en las cuales se construye una barrera con materiales propios de la rivera del río para encausar y proteger las riberas de los ríos. También son llamados diques.

**Polígonos de Thiessen:** Método de interpolación basado en distancia euclidiana, que genera áreas equidistantes entre puntos que contienen información de precipitación.

**RAMMS:** Es un programa computacional en el cual se puede modelar flujos de detritos y las siglas significan Rapid Mass Movements.

**SAATY:** Es una escala de valores de peligrosidad de una zona.

**SNAMHI:** Siglas correspondientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, entidad dependiente del Ministerio del ambiente.

**Sistema geodésico WGS84:** Siglas en inglés de “World Geodetic System 84”, que permite localizar cualquier punto de la tierra por medio de tres unidades dadas, sin necesitar ningún otro punto de referencia, proveniente de una ecuación que reconstruye la forma de la tierra o Geoide.

**Software:** Contenido digital con una serie de instrucciones y datos que sirve para aprovechar los recursos de procesamiento del computador.

**UTM:** Siglas de “Universal Transversal Mercator” es el sistema de coordenadas basado en la proyección geográfica transversa de mercator, que construye una proyección que, en vez de hacerla tangente a la línea del ecuador, la hace tangente a un meridiano, y que utiliza como unidad de medida el metro.



## Conclusiones

### Conclusión número 01

Según la Hipótesis General que dice: “El análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, muestra que es susceptible a la ocurrencia de un flujo de detritos de Intensidad Alta.”. Nótese, mediante el modelamiento en el software RAMMS: Debris Flow, otorga como resultado un volumen de flujo de detritos 28 060.5m<sup>3</sup>, lo cual, según la escala de Intensidad de deslizamientos para distintos procesos, genera un flujo de detritos de intensidad Alta, por lo cual se afirma la Hipótesis General.

### Conclusión número 02

Según la Sub Hipótesis 1, que dice: “La precipitación máxima cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco es mayor a 5.6 mm.”. Nótese que según el cálculo mediante el uso de Hietogramas con diferentes periodos de retorno, siendo el más crítico, el de 100 años, que nos muestra una precipitación máxima de 7.52 mm, que posteriormente gracias al uso del software HEC HMS, nos otorga un caudal máximo de 2.6 m<sup>3</sup>/s; por lo cual se afirma la Sub Hipótesis 1.

### Conclusión número 03

Según la Sub Hipótesis 2, que indica: “Las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, nos muestran que se trataría de un suelo Gravoso con bajo contenido de Arcillas”. Nótese que, según la clasificación de suelos SUCS, nos da como resultado un suelo de tipo Arena Pobremente Graduada o por sus siglas, conocida como SP; sin embargo, puede sufrir variaciones debido a la formación geológica Kayra, a la cual pertenece; demostrando que el suelo, en un flujo de detritos es un factor condicionante, que no necesariamente desencadena un fenómeno de éstas características; por consiguiente, no se afirma la Sub Hipótesis 2.

### Conclusión número 04

Según la Sub Hipótesis 3, que indica: “Los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito



de Saylla, Provincia de Cusco, serían principalmente una pendiente mayor a 50% y topografía irregular de la zona”. Nótese que según el plano de pendientes obtenido en el software ARC-Gis, nos muestra que la quebrada se compone de pendientes del orden del 80% al 100%, lo que la define como Muy Escarpada y una topografía muy irregular, por consiguiente, podemos afirmar la Sub Hipótesis 3, que verifica que los factores topográficos, también condicionan el flujo de detritos.





## Recomendaciones

### Recomendación número 01

Recomendamos analizar el flujo de detritos, de alguna quebrada que cuente con registros históricos confiables de venidas de huaycos, con el uso del software RAMMS, pudiendo calibrar el factor Xi, y obtener resultados mucho más precisos.

### Recomendación número 02

Se recomienda analizar la magnitud del riesgo del flujo de detritos en la Quebrada Hatun Huayco mediante la metodología que maneja Defensa Civil.

### Recomendación número 03

Demarcar faja marginal de quebrada Hatun Huayco y así evitar la construcción de viviendas u otras obras en el cauce de la quebrada, en la A.P.V Ferroviarios, Distrito de Saylla.

### Recomendación número 04

Para éste tipo de desastres naturales, se recomienda el diseño de distintos tipos de estructuras de mitigación tipo cunetas de coronación revestidas de concreto o disipadores de energía en la parte alta –media, para evacuar el agua y evitar la filtración al suelo, así mismo la reforestación es importante en las partes altas de la quebrada con plantas nativas, asegurando la continuidad del flujo hasta el abanico de depositación que se encuentra en la parte baja y evitando el desborde hacia la población de Saylla.

### Recomendación número 05

Se debería instalar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) a fin de que la población pueda conocer anticipadamente en que tiempo ha de suscitarse un probable evento adverso. Después de un Flujo de Detritos.



## Referencias

- 15 de marzo, el día en que Lima sufrió la devastación de los huaicos. (17 de Abril de 2017). *El Comercio*, págs. 2-3.
- American Geological Institute. (1950). *Dictionary of geological terms: American Geological Institute*. Estados Unidos: American Geological Institute.
- Autoridad Nacional del Agua. (Octubre de 2010). *Plan de Prevención ante la presencia de fenómenos naturales por inundaciones, deslizamientos, huaycos y sequías*.
- Balderrama, D. (02 de Agosto de 2018). Bolivia en estado de emergencia por lluvias y huaicos. *El Comercio*, págs. 4-5.
- Bowles, J. E. (1981). *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL*. Mexico: Poligráfica, S.A.
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Burga, J. D. (2011). *Diccionario Geológico*. Lima: INGEMMET.
- Caillaux, V. C., & Cardenas Roque, J. (2011). *Geología del Cuadrángulo de Cusco*. Lima: INGEMMET.
- Caillaux, V. C., & Cárdenas Roque, J. (2011). *Geología del Cuadrángulo del Cusco*. Lima: INGEMMET.
- CANEDO ROJAS, K. X., LAZCANO LAREDO, E. R., & ZABALAGA MONTAÑO, O. A. (DICIEMBRE de 2006). Modernización de la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "Geodesia y Fotogrametría CIV 215". Cochabamba.
- Chereque Morán, W. (s.f.). *Hidrología*. Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Colegio de ingenieros del Perú. (1998). *"Informe del fenómeno del niño 1997 - 1998"*. Lima.
- Cusco: huaycos arrasaron con cultivos y carreteras en la provincia de Calca. (12 de Marzo de 2014). *La República*, págs. 2-3.
- Dueñas, J. M. (2010). *Topografía: Técnicas Modernas*. Lima.
- Gamion, F. &. (2014). "MODELO DE FLUJO DE ESCOMBROS Y LODO APLICANDO FLOR-2D, CASO SUB CUENCA DEL RIOS SHULLCAS". HUANCAYO, Universidad Nacional del Centro del Perú, PERÚ.
- GARCIA CHACA, R. L. (2016). *ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS*. LIMA, PERÚ.
- GEMMA. (29 de Octubre de 2007). Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Canadá.
- GEMMA. (2007). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas*.
- González Alcaraz, P., & Torres Picazo, M. (s.f.). *Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas*. Cartagena.



- Hauser, A. (1985). Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales. *Revista geologica de Chile*, 25-26: 125-133.
- Ingemmet. (2016). [www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe). Obtenido de <https://www.ingemmet.gob.pe/carta-geologica-nacional>
- INGEMMET. (2005). *MOVIMIENTOS EN MASA: DESLIZAMIENTOS Y HUAYCOS EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA PAIHUA*. Lima: INGEMMET.
- ipunto. (2019). [ipend.es](http://ipend.es). Obtenido de <http://ipend.es/ensayos-no-destructivos/inspeccion-visual-vt>
- Jiménez, A. R. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Escuela de Administración de Negocios*, 8 - 21.
- Jordán López, A. (2005-2006). *Manual de Edafología*. Sevilla.
- Lehmann, G. (1975). *Fotogrametría*. Barcelona: Editores Asociados S.A.
- Loayza, C. L., Almanza Ascue, M., & Nina Mamani, R. (18 de Diciembre de 2018). *Evaluación del peligro de inundación ocasionado por el río Vilcanota en el Centro Poblado de Písac, Cusco 2018*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Martines, S. (5 de julio de 2019). [cursosteledeteccion.com](http://cursosteledeteccion.com). Obtenido de [cursosteledeteccion.com/como-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/](http://cursosteledeteccion.com/como-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/)
- Montoya, S. (17 de Septiembre de 2013). *Gidahatari*. Obtenido de [www.gidahatari.com](http://www.gidahatari.com)
- Moura, D. F. (2005). *Desafíos del Derecho Humano al Agua en el Perú*. Lima: Alternativa: Centro de Investigación Social y Educación Popular.
- [okdiario.com](http://okdiario.com). (25 de febrero de 2020). Obtenido de <https://okdiario.com/curiosidades/3-tipos-cuencas-4289552>
- Paez, M. S. (2013). FLUJOS DE DETRITOS Y ALUVIONES HISTORICOS EN LA CUENCA DEL RIO BLANCO (32°55'-33°10' Y 69°10'-69°25'), MENDOZA. *Revista de la Asociacion Geologica Argentina*, 488 - 498.
- Pérez Álvarez, J. A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III*. Mérida: Universidad de Extremadura.
- Ponce, V. M. (s.f.). *ESCORRENTIA SOSTENIBLE PARA EL BALANCE DE SALES*. SAN DIEGO, CALIFORNIA, E.E.U.U.: Universidad Estatal de San Diego.
- Romero, A. C. (1990). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Técnico Científica S.A.
- Sampieri, R. H. (1997). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Sánchez Sobrino, J. A. (2006 - 2007). *E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos - Cátedra de Topografía*.
- Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos.
- Suarez, J. (s.f.). *Deslizamientos*.
- Suarez, J. (s.f.). *Deslizamientos Tomo I : Análisis Geotécnico*.



Suarez, J. (s.f.). *Deslizamientos, Analisis Geotecnico*. Obtenido de erosion.com.co:  
<http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>

SUB GERENCIA DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. (2016). *CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAYCOS) EN LAS URBANIZACIONES Y SECTORES DE VALLECITO EL OLIVO ETAPA I Y II, CHINCHICHACA, VIRGEN DEL CARMEN, MICAELA BASTIDAS, PATIBAMBA ALTA, CERCADO, LA VICTORIA, MAGISTERIAL, MANUEL ESCORZA, VALLECIT*. Abancay.

Takahashi, T. (1991). *Debris Flows. International Association for Hydraulic Research*. Rotterdam: Balkema.

USDA. (2006). *Claves para la taxonomía del suelo*. USDA.

Valdieso, F. O. (2005). *Hidrología Apuntes de Clase*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.

Vásquez Acuña, J., & Guzmán M., A. (Agosto de 2009). *Movimientos en masa en la quebrada Canto Grande, Lima*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Vásquez Villanueva, A. (2000). *Manejo de Cuencas Altoandinas Tomo I*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.

Velasquez, R. B., Fernandez Baca Vidal, C., & Gomez Noblega, A. (2004). *Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco*. Cusco: INDECI.

Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.

World Vision Canada. (s.f.). *Manual de Manejo de Cuencas*. Canada.



ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

<b>“ ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA EN EL FLUJO DE DETRITOS, DE LA QUEBRADA HATUN HUAYCO – A.P.V. FERROVIARIOS EN EL DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA DE CUSCO”</b>				
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cuál será el análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> 1. ¿Cuál será la precipitación máxima cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> 1. Determinar la precipitación máxima cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> El análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, muestra que es susceptible a la ocurrencia de un flujo de detritos de Intensidad alta.</p> <p><b>SUB-HIPÓTESIS</b> 1. La precipitación cuya intensidad genere flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco es mayor a 5.6 mm.</p>	<p><b>DEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujo de detritos</li> </ul> <p><b>INDEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Características del suelo</li> <li>• Parámetros topográficos</li> </ul>	<p><b>DEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad</li> </ul> <p><b>INDEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad</li> <li>• Tipo de suelo</li> <li>• Densidad</li> <li>• Límite Líquido</li> <li>• Límite Plástico</li> <li>• Ángulo de fricción</li> <li>• Topografía</li> </ul>



<p>en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?</p> <p>2. ¿Cuáles serán las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?</p> <p>3. ¿Cuáles son los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco?</p>	<p>2. Determinar las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco.</p> <p>3. Evaluar los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco .</p>	<p>2. Las características del suelo en el flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, nos muestran que se trataría de un suelo gravoso con bajo contenido de arcillas.</p> <p>3. Los parámetros topográficos que ocasionan un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco de la A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla, Provincia de Cusco, serían principalmente una pendiente mayor a 50% y topografía irregular de la zona.</p>		<p>Pendiente Área</p>
---	--	--	--	---------------------------